



AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE CONTROLE DE
QUALIDADE PARA SISTEMAS DE PLANEJAMENTO DE
TRATAMENTO COMPUTADORIZADOS DE ACORDO COM
O TRS 430**

PRISCILLA ROBERTA TAVARES LEITE CAMARGO

**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau
de Mestre em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear - Aplicações.**

**Orientadora:
Dra. Laura Natal Rodrigues**

**São Paulo
2006**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

**IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE CONTROLE DE QUALIDADE
PARA SISTEMAS DE PLANEJAMENTO DE TRATAMENTO
COMPUTADORIZADOS DE ACORDO COM O TRS 430**

PRISCILLA ROBERTA TAVARES LEITE CAMARGO



Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Aplicações

Orientadora:
Dra. Laura Natal Rodrigues

SÃO PAULO
2006

Dedico este trabalho aos meus avós: José Maria T. Leite, Alzira Velozo, Blandina de Camargo (*In Memoriam*); Mario Camargo; e a querida tia Augusta Velozo (*In Memoriam*); que com toda a dedicação proporcionaram condições afetuosas para o meu desenvolvimento em uma etapa essencial de minha formação cultural.

AGRADECIMENTOS

De maneira especial à minha orientadora Dra. Laura Natal Rodrigues, pela oportunidade e orientação presente, e pela sua disposição, atenção e paciência. Sua firmeza e clareza me auxiliaram a retomar a organização nos momentos de embarço e desânimo e a concluir com êxito este trabalho.

À equipe do Instituto de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo – Inrad – HC/FMUSP, na pessoa da Dra Rosângela Corrêa Villar, pelo acesso aos equipamentos e pessoas.

À física Laura Furnari pelo seu incentivo, dedicação e companheirismo; este trabalho com sua ajuda e préstimo tornou-se ainda mais enriquecedor e possível. As informações e discussões por ela concedidos foram de essencial importância no desenvolvimento deste trabalho e de minha formação profissional. Sou grata também por sua amizade, afeto e socorro nos momentos mais difíceis.

À equipe do Centro de Metrologia das Radiações do IPEN, na pessoa da Dra. Linda Caldas, pelo acesso e disponibilização das instalações e recursos.

À CAPES pelo recurso concedido que possibilitou a minha dedicação em tempo exclusivo a esse projeto.

Ao meu pai Wilson R. Camargo, a minha mãe Vera L. V. Tavares Leite e a minha mãe Antonia Maria Sueli Gil, pelo carinho incondicional, pela minha formação individual, pelo patrocínio e acima de tudo por sempre acreditarem no meu potencial profissional. Com muito amor agradeço-os por tudo.

Ao meu irmão Bruno Augusto T. L. Camargo pela amizade e conversas produtivas e animadoras, sua presença reconfortante foi de fundamental importância nessa etapa da minha formação acadêmica.

Ao meu querido companheiro, pai da minha filha, Julio C. Hegedus pelo imenso apoio pessoal e prático nos momentos mais cruciais desse trabalho. Agradeço-o pela incansável paciência nos ensinamentos computacionais, pela solução de todos os problemas de procedimentos, e acima de tudo pelo carinho, presença, e alegrias a mim concedidos, tornando a etapa final menos árdua.

Aos físicos Rodrigo Rubo, Rodrigo Migoto, Marco Antônio da Silva e Gisela Menegussi pelo apoio e aprendizado. Agradeço a convivência muito agradável dessa equipe.

Aos físicos Camila e Anderson, companheiros de trabalho pessoas que se tornaram amigas e colaboradores, agradeço pelo tempo de estudo realizados em conjunto, pelo auxílio nas medições, e pelas adoráveis conversas e risadas.

Aos companheiros e grandes amigos da pós-graduação André, Cristiane, Eduardo, Flávio, Juan, Marcio, Patrícia e Maira por inúmeras razões, tantos foram os assuntos e emoções por nós compartilhados que seria injusto eu relacionar alguns poucos tópicos. Sem dúvida nossas encontros foram muito produtivos e muito contribuíram para a realização desse trabalho.

Aos meus amigos Regina, Renata, Monica, Urbano, Gabriel, Gustavo, Eduardo, Daniel, Ricardo e Igor que estiveram presentes durante toda a minha formação física sempre me incentivando e motivando.

Ao meu prof. de ballet Salvador pela compreensão e por ser o responsável por me aliviar os momentos de maior tensão.

Ao Dr. Vito Vanin, Dra. Nora Lia, Dra. Mazé Bechara e Dra. Silvia Rossi pelo conhecimento compartilhado e por serem fontes de inspiração.

Aos amigos Mauricio, Ana Paula, Eli, Henrique, Angela, Sara, Raphael, entre outros, que me proporcionam sinceridade e apoio em todas as etapas da minha vida, e esta não foi uma exceção. Agradeço-os pela imensa amizade.

À Heloisa Lo e Alexia, aquelas pessoas que surgem nos momentos finais para auxiliar na resolução de problemas inusitados, sou-lhes grata pelo apoio na finalização desse trabalho.

Ao companheiro Rob pelo imenso apoio na finalização da dissertação, e pelos ensinamentos doados.

À tia Cecília, Tati, Jari, Keyla e Tânia pelo carinho e palavras motivadoras sempre presentes.

Aos queridos Luiz Gil e Elza Gil avós de coração que sempre estiveram ao

meu lado.

Ao Luiz Carlos Gil, Paulo Gil, Marcelo Gil, Bruna Gil e Ramon Gil, pelo grande afeto e por serem solícitos e companheiros nos diversos momentos.

À equipe de desenvolvimento do software livre Openoffice 2.0, ferramenta utilizada para o desenvolvimento desse trabalho.

IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA SISTEMAS DE PLANEJAMENTO DE TRATAMENTO COMPUTADORIZADOS DE ACORDO COM O TRS 430

PRISCILLA ROBERTA TAVARES LEITE CAMARGO

RESUMO

No presente trabalho serão apresentadas as diretrizes e os testes necessários para a implantação de um programa de controle de qualidade para o Eclipse 7.3.10 da Varian no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP, de acordo com a mais recente publicação da AIEA o TRS 430. Os testes recomendados pelo TRS 430 são basicamente divididos em testes de aceitação, comissionamento (testes dosimétricos e não dosimétricos), e testes rotineiros. O documento da AIEA está sendo implementado para o Eclipse no HC para os feixes de fótons de dois aceleradores lineares da Varian, Clinac 600C e Clinac 2100C. Os testes de aceitação verificaram parâmetros de "hardware"; integração do sistema "network"; transferência de dados, e "softwares". Os resultados obtidos mostraram boa concordância com as especificações do fabricante. Para os testes dosimétricos de comissionamento, foram realizadas medidas de dose absoluta para diversos arranjos experimentais. Esses valores foram comparados com os valores de dose gerados pelo SPTC. A grande maioria dos testes apresentou cerca de 90% a 80% dos pontos comparados, dentro dos níveis de tolerância, ou seja, uma boa concordância entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC. Somente arranjos de campos assimétricos apresentaram discordâncias grosseiras, mostrando a necessidade de uma investigação mais apurada para esses casos. Os testes de comissionamento não dosimétricos também apresentaram resultados excelentes, com praticamente todas as ferramentas e desempenho geral do sistema de acordo com as recomendações estipuladas no TRS 430. Foram aplicados também critérios de aceitabilidade para a comparação entre os valores de UMs gerados pelo sistema e os valores de UMs calculados manualmente. Os feixes no Eclipse foram caracterizados com dados transferidos do CadPlan e com dados provenientes do recomissionamento dos aceleradores, assim sendo, para esses testes encontrou-se uma diferença de até 3% para campos conformacionados para os dados de feixe provenientes do recomissionamento dos aceleradores, e de até 4% para os dados de feixe transferidos do CadPlan, sendo que o nível de tolerância estabelecido pelo TRS 430 para o arranjo era de 3%.

IMPLEMENTATION OF A QUALITY ASSURANCE PROGRAM FOR COMPUTERIZED TREATMENT PLANNING SYSTEMS ACCORDING TO TRS 430

PRISCILLA ROBERTA TAVARES LEITE CAMARGO

ABSTRACT

This work presents the guidelines and necessary tests to implement a quality assurance program for Eclipse 7.3.10 from Varian at Hospital das Clínicas, São Paulo University School of Medicine – Brazil, in accordance with the new IAEA publication TRS 430. The recommended tests for the TRS 430 are mainly classified into acceptance tests, commissioning (dosimetrics and non-dosimetrics tests) and routine tests. The IAEA document's recommendations are being implemented at the hospital for two Varian linear accelerators – Clinac 600C and Clinac 2100C. The acceptance tests verified hardware, integration of network systems, data transfer and softwares parameters. The results obtained are in a good agreement with the manufacturer's specifications. Measurements of absolute dose in several set-ups were made for the commissioning dosimetric tests. These data were compared to the absolute doses determined by the TPS. The great majority of the tests showed 90% to 80% of the analyzed data in acceptance levels, with a good agreement between the experimental data and the data determined by TPS. Only settings with asymmetric fields presented significant discords, showing the need for a more detailed inquiry for these settings. The non-dosimetric commissioning tests have also presented excellent results, with virtually all the system tools and general performance in compliance with TRS 430. The acceptance criteria have been applied for a comparison between the values of MUs generated by TPS and the calculated manually ones. The beams have been characterized for Eclipse with data transferred from CadPlan and with data from recommissioning of accelerators, so for these tests it was found a difference of at least 3% for the conformal field shape for the data originated in the beams of recommissioning and at least 4% for the data proceeding from CadPlan. The tolerance level established by TRS 430 for this setting was 3%.

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

SPTC - Sistema de Planejamento de Tratamento Computadorizado
IMRT - “Intensity- Modulated Radiation Therapy”
PDP - Porcentagem de Dose Profunda
TC - Tomografia Computadorizada
RM - Ressonância Magnética
PET - “Positron Emission Tomography”
SPCT - “Single Photon Emission Computed Tomography”
DICOM - “Digital Imaging and Communication in Medicine”
BEV - “Beam's Eye View”
RDR - Radiografias Digitalmente Reconstruídas
HDV - Histogramas Dose-Volume
MLC - “Multileaf Collimation”
SSD - Distância Foco - Pele
SAD - Distância Foco - Alvo
TMR - Relação Tecido – Máximo
D - Dose absorvida no ponto de medição (esse valor de dose é absoluto)
 D_z - Dose absorvida em uma profundidade z
 D_{zref} - Dose em uma profundidade de referência z_{ref} do objeto simulador
 D_o - Dose absorvida na profundidade de dose máxima
 D'_o - Dose no ar na mesma profundidade de D_o
 D_h - Dose na profundidade h no eixo central do paciente
 D'_h - Dose na mesma profundidade de D_h no eixo central do feixe
 $D_{abs.}$ - Dose absoluta medida experimentalmente
 D_{SPTC} - Dose absoluta determinada pelo sistema de planejamento
FSP - Fator Pico Espalhamento
f - Distância Isocêntrica
TAR - Relação Tecido - Ar
TPR - Relação Tecido - Objeto Simulador
UM - Unidade Monitorados
 $UM_{calc.}$ - Unidade Monitora calculada manualmente
 UM_{SPTC} - Unidade Monitora calculada pelo sistema de planejamento
 F_N - Fator de normalização

Iso - Curva de Isodose

F_{cal} - Fator de calibração

F_c - Fator espalhamento do colimador

F_p - Fator de espalhamento do objeto simulador

F_b - Fator bandeja

F_f - Fator filtro

FOA - Fator "off- axis"

$h\nu$ - Energia do feixe

TLD - Dosímetro Termo - Luminescente

CQ - Controle de Qualidade

δ - Diferença Percentual

σ - Desvio Padrão

DLL - Distância Latero - Lateral

PTV - Volume Alvo

nC - 10^{-9} Coulomb (unidade de carga elétrica)

cGy - 10^{-2} Gy (unidade usual de taxa de dose)

L - Média das leituras das medidas experimentais

$\Phi_{p,T}$ - Fator de correção para temperatura e pressão

p - pressão

T - Temperatura

k_{q,q_0} - Fator que corrige a diferença para as qualidades dos feixes

$N_{D,W}$ - Fator de calibração da Câmara de Ionização

$d_{off-axis}$ - Distância "off- axis"

$d_{m\acute{a}x}$ - Profundidade de dose máxima

LISTA DE FIGURAS

Figuras 1- Exemplo de distribuições de dose obtidas manualmente a partir de cartas de isodose padrões	3
Figura 2- Exemplo de distribuições de dose obtidas manualmente a partir de cartas de isodose padrões	3
Figura 3 - Exemplo do BEV em um Planejamento Conformacional.....	4
Figura 4 - Estação 1 do Eclipse 7.3.10® da Varian no HC.....	22
Figura 5 - “Blue Phantom”	23
Figura 6 - Regiões Constituintes do Feixe.....	25
Figura 7 - Definição de δ_1 e δ_2 na curva de PDP.....	26
Figura 8 - Definição de δ_2 , δ_3 , δ_4 , δ_5 , $\delta_{50\%}$ e RW_{50} , na curva de Perfil de Dose.....	26
Figura 9 - Objeto Simulador da Oxford de 30 cm x 30 cm x30 cm.....	33
Figura 10 - Câmara de Ionização tipo Farmer da Victoreen	33
Figura 11- Eletrômetro Inovision.....	34
Figura 12 - Eletrômetro PTW.....	34
Figura 13 - Bloco corda no eixo central.....	36
Figura 14 - 4 Núcleos de blocos e bloco corda no eixo central não cobrindo o raio central.....	36
Figura 15 - Bloco com formato côncavo.	36
Figura 16 - Bloco com formato convexo.....	36
Figura Anexa I - Esquema de tratamento SSD.....	120
Figura Anexa II - Esquema CSSD, tratamento SSD corrigido para a curvatura do paciente.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Dados experimentais requeridos pelo algoritmo de cálculo de dose	22
Tabela 2-2: Critério de Aceitabilidade para Cálculos de Dose Absoluta de acordo com o TRS430.....	25
Tabela 2-3: Testes de Aceitação de acordo com o TRS430.....	27
Tabela 2-4: Testes de Controle de Qualidade Periódico.....	37
Tabela 3-5: Testes de Aceitação, Descrição e Resultados.....	39
Tabela 3-6: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	55
Tabela 3-7: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	56
Tabela 3-8: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados "off- axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	57
Tabela 3-9: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares "off- axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	58
Tabela 3-10(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	58
Tabela 3-10(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C, considerando a transmissão do colimador.....	59
Tabela 3-11(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	59
Tabela 3-11(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C, considerando a transmissão do colimador.....	59
Tabela 3-12(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais e "off- axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	60
Tabela 3-12(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais e "off- axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C, considerando a transmissão do colimador.....	60
Tabela 3-13(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais e "off- axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	61
Tabela 3-13(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares	

diagonais e "off- axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C, considerando a transmissão do colimador.....	61
Tabela 3- 14: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	62
Tabela 3- 15: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos com filtros para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	62
Tabela 3- 16: Resultados dos testes dosimétricos para campos complexos para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	63
Tabela 3- 17: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	64
Tabela 3- 18: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	64
Tabela 3- 19: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R e "off- axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	64
Tabela 3- 20: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L e "off- axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	65
Tabela 3- 21: Resultados dos testes dosimétricos para uma SSD de 80 cm com filtro 60°R e "off- axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	66
Tabela 3- 22: Resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	67
Tabela 3- 23: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de "build- up" na ausência de bloco e de filtro para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	67
Tabela 3- 24: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de "build- up" com 4 blocos laterais para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	67
Tabela 3- 25: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de "build- up" com 4 blocos laterais e filtro 60° R para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C.....	68
Tabela 3- 26: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	68
Tabela 3- 27: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	69
Tabela 3- 28: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados "off- axis" para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	69
Tabela 3- 29: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares "off- axis" para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	70
Tabela 3- 30(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados	

diagonais para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	70
Tabela 3-30(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador.....	71
Tabela 3-31(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	71
Tabela 3-31(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador.....	71
Tabela 3-32(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais e “off- axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	72
Tabela 3-32(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais e “off- axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador.....	72
Tabela 3-33(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais e “off- axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	73
Tabela 3-33(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais e “off- axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador.....	73
Tabela 3-34: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	74
Tabela 3-35: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos com filtros para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	74
Tabela 3-36: Resultados dos testes dosimétricos para campos complexos para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	75
Tabela 3-37: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R para a Máquina Antiga – 15MV - 2100C.....	75
Tabela 3-38: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	76
Tabela 3-39: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	76
Tabela 3-40: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L e “off- axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	77
Tabela 3-41: Resultados dos testes dosimétricos para uma SSD de 80 cm com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	78

Tabela 3-42: Resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	78
Tabela 3-43: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na ausência de bloco e de filtro para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	79
Tabela 3-44: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” com 4 blocos laterais para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	79
Tabela 3-45: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” com de 4 blocos laterais e filtro 60° R para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C.....	79
Tabela 3-46: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	80
Tabela 3-47: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	80
Tabela 3-48: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados “off-axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	81
Tabela 3-49: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares “off-axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	81
Tabela 3-50(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	82
Tabela 3-50(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais para a Máquina Nova: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador.....	82
Tabela 3-51(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	83
Tabela 3-51(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais para a Máquina Nova: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador.....	83
Tabela 3-52(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais e “off-axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	83
Tabela 3-52(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais e “off-axis” para a Máquina Nova– 15MV -2100C, considerando a transmissão do colimador.....	84
Tabela 3-53(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais e “off-axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	84
Tabela 3-53(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais e “off-axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C, considerando a	

transmissão do colimador	85
Tabela 3-54: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	85
Tabela 3-55: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos com filtros para a Máquina Nova: 6MV - 2100C.....	85
Tabela 3-56: Resultados dos testes dosimétricos para campos complexos para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	86
Tabela 3-57: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	87
Tabela 3-58: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	87
Tabela 3-59: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	88
Tabela 3-60: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L e “off- axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	88
Tabela 3-61: Resultados dos testes dosimétricos para uma SSD de 80 cm com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	89
Tabela 3-62: Resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	90
Tabela 3-63: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build- up” na ausência de bloco e de filtro para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	90
Tabela 3-64: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build- up” com 4 blocos laterais para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	90
Tabela 3-65: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build- up” com de 4 blocos laterais e filtro 60° R para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.....	91
Tabela 3-66: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados para a Máquina Nova: 6MV - 2100C.....	91
Tabela 3-67: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares para a Máquina Nova: 6MV - 2100C.....	92
Tabela 3-68: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 2100C.....	92
Tabela 3-69: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 2100C.....	93
Tabela 3-70(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais para a Máquina Nova: 6MV - 2100C.....	93

Tabela 3-70(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais para a Máquina Nova: 6MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador	94
Tabela 3-71(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais para a Máquina Nova: 6MV - 2100C.....	94
Tabela 3-71(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais para a Máquina Nova: 6MV – 2100C considerando a transmissão do colimador	94
Tabela 3-72(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais e “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 2100C.....	95
Tabela 3-72(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais e “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 2100C.....	95
Tabela 3-73(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais e “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 2100C.....	96
Tabela 3-73(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais e “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador.....	96
Tabela 3-74: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos para a Máquina Nova : 6MV - 2100C.....	97
Tabela 3-75: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos com filtro 60° R para a Máquina Nova: 6MV - 2100C.....	97
Tabela 3-76: Resultados dos testes dosimétricos para campos complexos para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C.....	98
Tabela 3-77: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C.....	98
Tabela 3-78: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C.....	99
Tabela 3-79: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C.....	99
Tabela 3-80: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L e “off- axis” para a Máquina Nova – 6 MV - 2100C.....	100
Tabela 3-81: Resultados dos testes dosimétricos para uma SSD de 80 cm com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C.....	100
Tabela 3-82: Resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C.....	101

Tabela 3-83: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na ausência de bloco e de filtro para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C.....	102
Tabela 3-84: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na presença de bloco: 6 MV - 2100C	102
Tabela 3-85: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na presença de bloco e filtro 60°R: 6 MV - 2100C	102
Tabela 3-86: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados para a Máquina Nova: 6MV - 600C.....	103
Tabela 3-87: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares para a Máquina Nova: 6MV - 600C.....	103
Tabela 3-88: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 600C.....	103
Tabela 3-89: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 600C.....	104
Tabela 3-90(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais para a Máquina Nova: 6MV - 600C.....	104
Tabela 3-90(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais para a Máquina Nova: 6MV - 600C, considerando a transmissão do colimador	105
Tabela 3-91(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais para a Máquina Nova: 6MV - 600C.....	105
Tabela 3-91(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais para a Máquina Nova: 6MV - 600C, considerando a transmissão do colimador.....	105
Tabela 3-92(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais e “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 600C.....	106
Tabela 3-92(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados diagonais e “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 600C, considerando a transmissão do colimador	106
Tabela 3-93(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais e “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 600C.....	107
Tabela 3-93(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares diagonais e “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 600C, considerando a transmissão do colimador	107
Tabela 3-94: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos para a	

Máquina Nova: 6MV - 600C.....	108
Tabela 3-95: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos com filtro 60° R para a Máquina Nova: 6MV - 600C.....	108
Tabela 3-96: Resultados dos testes dosimétricos para campos complexos para a Máquina Nova: 6 MV - 600C.....	109
Tabela 3-97: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R para a Máquina Nova: 6 MV - 600C.....	109
Tabela 3-98: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L para a Máquina Nova: 6 MV - 600C.....	110
Tabela 3-99: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Nova – 6 MV - 600C.....	110
Tabela 3- 100: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L e “off- axis” para a Máquina Nova: 6 MV - 600C.....	111
Tabela 3- 101: Resultados dos testes dosimétricos para uma SSD de 80 cm com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Nova: 6 MV - 600C.....	111
Tabela 3- 102: Resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento para a Máquina Nova: 6 MV - 600C.....	112
Tabela 3- 103: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build- up” na ausência de bloco e de filtro para a Máquina Nova: 6 MV - 600C.....	113
Tabela 3- 104: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build- up” na presença de bloco para a Máquina Nova: 6 MV - 600C.....	113
Tabela 3- 105: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build- up” na presença de bloco e filtro 60°R para a Máquina Nova: 6 MV - 600C.....	113
Tabela 3- 106: Resumo dos Resultados dos Testes Dosimétricos.....	114

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	HISTORICO.....	2
1.1.1	A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PLANEJAMENTO DE TRATAMENTO.	2
1.1.2	A EVOLUÇÃO DOS PROGRAMAS DE CONTROLE DE QUALIDADE EM SISTEMAS DE PLANEJAMENTO DE TRATAMENTO COMPUTADORIZADOS.....	5
1.2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
1.2.1	PROCESSO DO PLANEJAMENTO DE TRATAMENTO RADIOTERÁPICO - ACURÁCIA DA DISTRIBUIÇÃO DO TRATAMENTO.....	7
1.2.2	PROCESSO DO PLANEJAMENTO DE TRATAMENTO RADIOTERÁPICO - PRINCÍPIOS FÍSICOS PARA A DETERMINAÇÃO DO PLANO DE TRATAMENTO.....	9
1.3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	13
1.4	OBJETIVOS.	20
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
2.1	O ECLIPSE7.3.10® DA VARIAN.	21
2.1.1	DADOS EXPERIMENTAIS REQUERIDOS PELO ALGORITMO “PENCIL BEAM CONVOLUTION”.....	22
2.2	INCERTEZAS E CRITÉRIOS DE ACEITABILIDADE.....	24
2.3	TESTES DE ACEITAÇÃO DE ACORDO COM O TRS 430.....	27
2.4	TESTES DE COMISSONAMENTO DE ACORDO COM O TRS 430.....	27
2.4.1	TESTES PARA A REPRESENTAÇÃO ANATÔMICA DO PACIENTE.....	28
a)	Testes de Comissionamento para Aquisição das Informações dos Pacientes.....	28
b)	Testes de Comissionamento para a Entrada ou Transferência dos Dados Anatômicos.....	28
2.4.2	TESTES DE COMISSONAMENTO PARA MODELO ANATÔMICO DO PACIENTE.....	29

2.4.3	TESTES DE COMISSONAMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DAS CAPACIDADES DA MÁQUINA E DO FEIXE.....	31
2.4.4	TESTES DE COMISSONAMENTO PARA FEIXES DE FÓTONS.....	33
2.4.5	TESTES DE COMISSONAMENTO – UNIDADES MONITORAS.....	36
2.5	TESTES DE CONTROLE PERIÓDICO DE ACORDO COM O TRS 430	37
2.6	ROTEIRO PARA CONTROLE INDIVIDUAL DO PACIENTE.....	37
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
3.1	RESULTADOS DOS TESTES DE ACEITAÇÃO DE ACORDO COM O TRS 430	39
3.2	RESULTADOS DOS TESTES DE COMISSONAMENTO DE ACORDO COM O TRS 430	40
3.2.1	RESULTADOS DOS TESTES DE COMISSONAMENTO PARA REPRESENTAÇÃO ANATÔMICA DO PACIENTE.....	40
a)	Resultados dos Testes de Comissionamento para a Aquisição das Informações dos Pacientes.....	40
b)	Resultados dos Testes de Comissionamento para Entrada ou Transferência dos Dados Anatômicos.....	41
3.2.2	RESULTADOS DOS TESTES DE COMISSONAMENTO PARA MODELO ANATÔMICO DO PACIENTE.....	43
3.2.3	RESULTADOS DOS TESTES DE COMISSONAMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DAS CAPACIDADES DA MÁQUINA E DO FEIXE.....	47
3.2.4	RESULTADOS DOS TESTES DE COMISSONAMENTO PARA FEIXES DE FÓTONS	52
a)	Testes Não Dosimétricos de Feixes de Fótons.....	52
b)	Testes Dosimétricos de Feixes de Fótons.....	52
b- 1)	RESULTADOS DOS TESTES DOSIMÉTRICOS PARA A MÁQUINA ANTIGA – 2100C/600C – 6 MV.....	54
b- 2)	RESULTADOS DOS TESTES DOSIMÉTRICOS PARA A MÁQUINA ANTIGA – 2100C – 15 MV.....	68
b- 3)	RESULTADOS DOS TESTES DOSIMÉTRICOS PARA A MÁQUINA NOVA – 2100C – 15 MV.....	80

b- 4) RESULTADOS DOS TESTES DOSIMÉTRICOS PARA A MÁQUINA NOVA – 2100C – 6 MV.....	91
b- 5) RESULTADOS DOS TESTES DOSIMÉTRICOS PARA A MÁQUINA NOVA – 600C – 6 MV.....	102
3.2.5 RESULTADO DOS TESTES DE COMISSONAMENTO – UNIDADES MONITORAS.....	115
4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	117
ANEXO I - ALGORITMO DE CÁLCULO DE DOSE PARA FEIXE DE FÓTONS – “PENCIL BEAM CONVOLUTION”	120
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
GLOSÁRIO	126

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade praticamente todos os Serviços de Radioterapia utilizam algum tipo de Sistema de Planejamento de Tratamento Computadorizado (SPTC), desde os mais simples 2-D até os mais sofisticados 3-D baseados em simulações de Monte Carlo, de forma que os Sistemas de Planejamento Computadorizados tornaram-se parte integrante da rotina dos físicos e médicos atuantes em Radioterapia.

Os SPTCs são utilizados em radioterapia de feixes externos para gerar as formas dos feixes e as distribuições de dose com a intenção de maximizar o controle tumoral e minimizar as complicações em tecidos saudáveis¹.

A popularidade desses sistemas devido à facilidade e rapidez para a realização de cálculos, além da sofisticação na visualização das imagens dos alvos e órgãos críticos, fez com que várias empresas investissem em avanços tecnológicos cada vez maiores para esses sistemas, tendo em vista o mercado em potencial que eles atingiriam.

Com isso os SPTCs evoluíram rapidamente, e hoje utilizam algoritmos mais complexos e detalhados que, quando em conjunto com processadores muito velozes, são capazes de realizar milhares de cálculos em um curto intervalo de tempo. Os "softwares" que possibilitam a intercomunicação com os equipamentos de diagnóstico por imagem, reproduzindo imagens anatômicas obtidas do paciente, também tornaram-se mais sofisticados, possibilitando inclusive a fusão de imagens de dois ou mais equipamentos diferentes de diagnóstico.

Devido à grande velocidade desses avanços, os profissionais da área de Radioterapia tiveram que se adaptar rapidamente com as mudanças periódicas nos sistemas, e muitas vezes torna-se impraticável para os profissionais terem acesso a uma compreensão mais detalhada do seu funcionamento.

Em Serviços de Radioterapia com demanda muito grande de pacientes é ainda mais complicado um estudo e treinamento adequados para os físicos e médicos usuários dos sistemas. No entanto, com o aumento da abrangência e complexidade das ferramentas dos sistemas e a tendência para uma mudança filosófica na abordagem do processo de planejamento de tratamento (exemplo: uso

de correções de heterogeneidades, planejamento inverso por meio de feixes de intensidade modulada - "Intensity- Modulated Radiation Therapy" (IMRT), etc.), faz-se necessário um preparo minucioso da equipe médica e física para o uso dos sistemas, assim como, uma avaliação do desempenho dos mesmos.

Nesse contexto surge o conceito de Controle de Qualidade para Sistemas de Planejamento de Tratamento Computadorizados, cujos objetivos visam principalmente estabelecer regras práticas e diretas para o treinamento eficaz dos usuários do sistema, proporcionando uma compreensão detalhada dos procedimentos realizados pelo SPTC, além de confirmar que o sistema desempenha corretamente as tarefas que lhe foram especificadas.

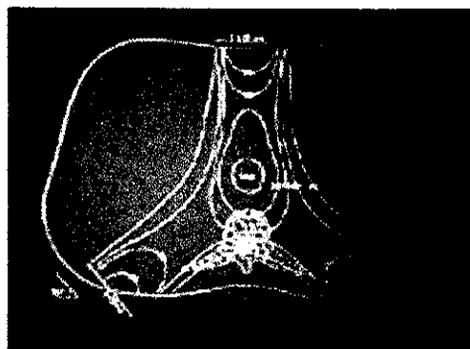
Dessa forma, a equipe passa a ter um controle da liberação do tratamento no paciente, tendo conhecimento total dos dados necessários ao sistema para a realização dos cálculos, e também das possíveis extrapolações e limitações desse sistema.

Nesse trabalho pretende-se estabelecer um programa de controle de qualidade para um sistema de planejamento capaz de realizar planejamentos conformados diretos ("forward planning") tridimensionais. Para tanto, foram realizados a aceitação e o comissionamento do Eclipse 7.3.10[®] da Varian², assim como, foram definidos os procedimentos para os testes de controle periódico no Hospital das Clínicas da FMUSP.

1.1 HISTORICO

1.1.1 A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PLANEJAMENTO DE TRATAMENTO

Os planejamentos dos tratamentos no início da década de 70 eram geralmente realizados manualmente através da manipulação de cartas padrões de isodose junto com contornos anatômicos obtidos diretamente de contornos do corpo do paciente conforme ilustrado nas figuras 1 e 2. Esses planejamentos dependiam fortemente do julgamento e escolha de acessórios e peso de cada campo de radiação, determinados pela experiência daqueles que realizavam o planejamento¹. Logo, a liberação do tratamento ficava sujeita a uma análise um tanto subjetiva por parte dos físicos e dosimetristas responsáveis.



Figuras 1 e 2- Exemplo de distribuições de dose obtidas manualmente a partir de cartas de isodose padrões .

Os primeiros computadores utilizados em Radioterapia tinham o propósito de reduzir o tempo gasto nos cálculos de distribuições de dose bidimensionais além de aumentar a acurácia desses cálculos³.

Os créditos do primeiro uso de computadores para cálculos automatizados de dose de radiação são atribuídos à Tsien⁴. Nesse programa, ele reduziu a informação contida em uma distribuição de isodose para uma matriz numérica que podia ser armazenada em cartões digitais. Os dados resultantes eram então manipulados pelos leitores dos cartões, equipamentos que forneciam a soma das distribuições de dose para feixes múltiplos.

Aspin *et. al*⁵ usaram computadores para calcular doses baseadas em um método manual desenvolvido por Clarkson⁶, e um método similar foi usado mais tarde por Tsien e Cohen⁷ para gerar cartas de isodose e tabelas de porcentagem de dose profunda (PDP) para raios-x.

Nos anos subseqüentes houve um grande avanço tecnológico na área computacional e assim, conseqüentemente, nos sistemas de planejamento de tratamento computadorizados. Um grande número de trabalhos acerca de SPTCs e garantia da qualidade desses sistemas ^{8,9,10,11,12} foram publicados, e as novas idéias rapidamente se disseminaram através da comunidade científica e se concretizaram na prática clínica.

Essas melhorias se deram tanto em termos de "softwares" capazes de realizar cálculos mais complexos, baseados em modelos mais realistas, quanto em "hardwares", que empregam processadores velozes e janelas de visualizações gráficos sofisticados.

Os computadores também trouxeram um avanço significativo para as técnicas de diagnóstico por imagem desde a década de 70, quando os primeiros tomógrafos computadorizados (TC) passaram a ser usados clinicamente³. Posteriormente os tomógrafos promoveram um grande auxílio para a melhoria nas técnicas de tratamentos radioterápicos; sendo que hoje é possível simular as densidades de um tecido real baseado nas tonalidades diferentes de cinza apresentadas nas imagens de TC.

Na atualidade, os sistemas de planejamento permitem a aquisição de dados dos pacientes por meio de diversos equipamentos de diagnóstico. A interação entre ressonância magnética (RM), "positron emission tomography" (PET), TC e "single photon emission computed tomography" (SPECT) se dão via rede geralmente em arquivos no formato "digital imaging and communication in medicine" (DICOM), que garantem a integridade e segurança das informações; muitos SPTCs usam inclusive a fusão de imagens provenientes de equipamentos diferentes.

Os sistemas de planejamento modernos tridimensionais possibilitam a simulação virtual do paciente com superposição da geometria de feixes de radiação, além do "beam's eye view" (BEV), uma ferramenta que proporciona a visão do feixe e do seu formato na direção de entrada do paciente, um exemplo é apresentado na figura 3.



Figura 3 – Exemplo do BEV em um Planejamento Conformado

Diversas outras ferramentas que auxiliam na construção e análise do plano de tratamento também foram implementadas e suas funções dependem do sistema de planejamento; as mais comumente usadas são as radiografias digitalmente reconstruídas (DRRs) e os histogramas dose-volume (DVHs).

Dessa forma, as técnicas de tratamento foram modificando-se de acordo com as novas ferramentas proporcionadas pelos sistemas, sendo que os planejamentos bidimensionais tiveram seu espaço dividido ou muitas vezes substituído por planejamentos tridimensionais. Nesses casos, os planos podem ser feitos usando técnicas conformados, onde o feixe é conformacionado de forma a ficar com formato do alvo, liberando assim, uma dose menor nas estruturas saudáveis. Ou ainda, usando técnicas de planejamento inverso por intensidade modulada do feixe (IMRT): aqui o feixe muda de forma (modulado por lâminas de múltiplas folhas (MLC)), e distribui taxas de dose diferentes no seu percurso.

Por fim, deve-se citar o grande avanço dos algoritmos de cálculo, capazes de simular uma realidade física bastante verossímil com boa acurácia em um pequeno intervalo de tempo. Ao contrário, dos primeiros algoritmos na década de 70 que somente aumentavam a velocidade do cálculo manual, a maioria dos algoritmos recentes como os de convolução superposicionada ou “pencil beam” se mostram modelos aproximados muito adequados, precisos, e rápidos. Mas os avanços nos algoritmos ainda são um dos assuntos mais cobijados no desenvolvimento de sistemas de planejamento, exemplos desta realidade são os algoritmos baseados nos métodos de simulações de Monte Carlo que estão tornando-se cada vez mais populares e vê-se claramente uma tendência na ampliação do uso desses métodos, que apesar de apresentarem o obstáculo do tempo de cálculo ser bastante elevado, ainda são os mais precisos.

1.1.2 A EVOLUÇÃO DOS PROGRAMAS DE CONTROLE DE QUALIDADE EM SISTEMAS DE PLANEJAMENTO DE TRATAMENTO COMPUTADORIZADOS

Os primeiros programas de controle de qualidade em sistemas de planejamento de tratamento não consistiam em programas de qualidade propriamente ditos e sim em tarefas para confirmar e/ou verificar se os algoritmos realizavam os cálculos de forma satisfatória.

No trabalho de McCullough e Krueger⁸, os autores sugerem uma série de testes para comparar as doses medidas em objetos simuladores com as doses determinadas pelos sistemas de planejamento, além de discutirem alguns critérios de aceitabilidade. É possível notar que se trata de verificações muito específicas, onde não se tem ainda uma visão mais abrangente dos sistemas de planejamentos,

e as verificações limitam-se na análise do desempenho dos algoritmos e modelos de cálculo. No entanto, já se delimita nesse trabalho os pontos fundamentais para um programa de controle de qualidade, ou seja, a elaboração de testes que visam determinar as limitações dos sistemas e verificar a performance dos mesmos em situações pouco usuais.

Nos anos subseqüentes, os órgãos responsáveis por proteção radiológica voltaram-se para esses temas e alguns protocolos tratando do uso de computadores no tratamento radioterápico ou da liberação de tratamento como um todo, foram publicados^{9,10}. Além disso, diversos pesquisadores interessaram-se pelo assunto devido à sua importância e ao fato dos avanços tecnológicos se darem com rapidez enorme.

Um marco no histórico dos programas de controle de qualidade para sistemas de planejamento computadorizados foi o trabalho de J. Van Dyk¹¹. Nesse trabalho o autor apresenta o formato de um programa de controle de qualidade tal como se conhece atualmente, onde são estabelecidos testes e critérios de aceitação para o comissionamento dos sistemas e para o controle periódico.

A partir de então, tornou-se clara a idéia do que um programa de controle de qualidade deveria abranger, e o entendimento foi paulatinamente se apurando. As normas mais recentes^{13,14}, já dividem o programa em 3 etapas: testes de aceitação, cuja função é verificar a funcionabilidade e concordância de acordo com as especificações do fabricante; testes de comissionamento, a fim de assegurar que o sistema iniciará seu uso adequadamente; e testes periódicos, que visam manter a reprodutibilidade do bom funcionamento do sistema. Todos esses testes são aplicados tanto ao "hardware" quanto ao "software" que compõem o sistema.

Algumas normas foram estabelecidas também para os fabricantes dos sistemas de planejamento, como o documento IEC¹⁵ que estabelece as diretrizes para a confecção de sistemas de planejamento seguros, além de propor testes de funcionabilidade de pré-comercialização do produto. Assim, o controle de qualidade se inicia no momento da fabricação do produto.

Após a publicação do ICRP 86¹⁶, onde foram apresentados diversos casos de acidentes radiológicos, alguns deles devido à má interpretação e uso do sistema

de planejamento de tratamento, os órgãos internacionais de proteção radiológica intensificaram as recomendações incentivando os serviços de radioterapia a adotarem algum programa de controle de qualidade. Porém, sabe-se que os programas de controle de qualidade não são aderidos com a mesma velocidade das novas tecnologias, e é por isso que nesse trabalho busca-se enfatizar a necessidade de se estabelecer programas de controle de qualidade que condizem com a realidade tecnológica do serviço de radioterapia, para ter-se uma liberação de tratamento segura e uma equipe de físicos e médicos melhor preparados.

As publicações e normas atuais enfatizam a necessidade de um treinamento adequado da equipe de tratamento para os novos sistemas, assim como a documentação de todo o processo de aquisição, aceitação, comissionamento e controle periódico.

O aspecto humano e gerencial é amplamente tratado nos artigos mais atuais, já que a interação dos membros da equipe e a definição de protocolos e linguagens comuns evitam erros de más interpretações e de ações subjetivas. Kehoe e Rugg¹⁷ apresentam as etapas necessárias para se passar de um sistema de controle de qualidade técnico, para um sistema de gerenciamento da qualidade, onde não somente aspectos operacionais são tratados, mas também os procedimentos e pessoal envolvido.

1.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.2.1 PROCESSO DO PLANEJAMENTO DE TRATAMENTO RADIOTERÁPICO - ACURÁCIA NA LIBERAÇÃO DO TRATAMENTO

O processo clínico de liberação do tratamento radioterápico é complexo e envolve muitos passos. A primeira etapa se dá com o diagnóstico do paciente e a decisão de se tratar com radiação, a partir daí o planejamento do tratamento segue os protocolos estabelecidos pelo serviço de radioterapia, em que uma técnica é então escolhida e o posicionamento e imobilização do paciente são estabelecidos de forma a serem facilmente reproduzidos durante o tratamento.

Para cada um dos passos do planejamento está associado um determinado valor de incerteza, sendo que os trabalhos mais antigos recomendavam que o processo de liberação total do tratamento deveria apresentar

um valor de incerteza $\pm 5\%$ na distribuição de dose, e $\pm 5\text{mm}$ na acurácia espacial⁵.

O sistema de planejamento computadorizado deve ser capaz de realizar um planejamento de tratamento seguindo todas as suas etapas. Assim sendo, o sistema de planejamento deve simular os dados anatômicos do paciente, deve ser capaz de delimitar os volumes alvos e tecidos sadios, armazenar as informações dos feixes a serem utilizados para simulação posterior dos campos de radiação, deve utilizar um algoritmo adequado para calcular a dose, inserir corretamente os dispositivos modificadores de feixe, e por fim calcular o tratamento.

Para assegurar que o sistema de planejamento computadorizado realizará todos os passos necessários para a efetivação do plano de tratamento dentro dos limites de incerteza estabelecidos, é necessário que o programa de controle de qualidade adotado pelo serviço seja rigorosamente seguido e com o acompanhamento de todos os membros da equipe nas etapas principais.

De acordo com o TRS 430¹⁸, a norma escolhida como base para a elaboração do programa em questão, as etapas para a implementação do programa são as seguintes: testes de aceitação, comissionamento, controle periódico, e controle individual do paciente.

A etapa mais longa do programa é o comissionamento, nessa etapa todos os dados necessários ao sistema para a realização do planejamento são inseridos, e são realizados testes de funcionabilidade e de cálculo. O comissionamento pode ser dividido em dois grupos de testes: os testes dosimétricos, que visam verificar o desempenho dos cálculos realizados pelo SPTC comparando os resultados com as medidas de dose experimentais; e os testes não dosimétricos, que verificam a funcionabilidade das ferramentas do sistema, o processo de planejamento qualitativo, e a intercomunicação do SPTC com a máquina de tratamento e com os demais dispositivos de aquisição de imagem ("plotter", impressora), ou outras estações de planejamento.

Os testes de aceitação são os primeiros a serem realizados, e consistem em verificar a funcionabilidade e concordância com as especificações apresentadas pelo fabricante. Os testes periódicos visam manter a reprodutibilidade dos planos de acordo com o estabelecido no comissionamento, e sua frequência depende das

necessidades do serviço de radioterapia. Os testes individuais do paciente visam verificar o processo de liberação do tratamento como um todo e nesse momento é necessário que a incerteza global seja inferior a 3,5% de acordo com as recomendações de trabalhos mais atuais¹⁹.

Nos tópicos a seguir serão detalhadas as grandezas dosimétricas que devem ser medidas para a caracterização da máquina de tratamento, e para a inserção dos valores no sistema de planejamento, assim como será discutido com mais rigor as incertezas e os critérios de aceitabilidade adotados no programa de controle de qualidade.

1.2.2 PROCESSO DO PLANEJAMENTO DE TRATAMENTO RADIOTERÁPICO - PRINCÍPIOS FÍSICOS PARA A DETERMINAÇÃO DO PLANO DE TRATAMENTO

Em um sistema de planejamento tridimensional que realiza planejamentos diretos e conformados, como no caso do Eclipse, o planejamento pode ser realizado de acordo com duas técnicas: distância-foco-pele (SSD), ou distância-foco-alvo (SAD).

Na técnica SSD, o isocentro é posicionado na pele do paciente e a caracterização da dose em profundidade é dada pela porcentagem de dose profunda (PDP) parâmetro que será definido posteriormente. Na técnica de SAD, o isocentro é definido no centro do volume alvo e a caracterização da dose em profundidade é dada pela relação tecido-máximo (TMR), parâmetro que também será definido posteriormente. Logo, os dados que deverão caracterizar a máquina de tratamento no SPTC devem prever essas duas técnicas de tratamento, assim como, a modificação da dose devido à inserção de dispositivos modificadores de feixe, tais como, filtros, bolus (superficializadores de dose), e colimadores.

Para se determinar a dose e/ou a unidade monitora (UM) que devem ser liberadas pelo feixe de radiação de um acelerador clínico é empregado um formalismo físico que a partir da dose prescrita pelo médico, prevê o modo como o tratamento deve ser distribuído, sendo que esse formalismo é válido tanto para cálculos manuais, como para os cálculos realizados pelo algoritmo do sistema de planejamento. Todos os algoritmos, independentemente dos modelos utilizados, seguem esse mesmo formalismo, e praticamente todos requerem dados dosimétricos de entrada bastante similares.

Os principais parâmetros que devem ser determinados seja experimentalmente, seja teoricamente, para a alimentação do SPTC e que constituem a base para os cálculos de dose estão apresentados a seguir:

a) Porcentagem de Dose Profunda (PDP)

Trata-se de uma grandeza que caracteriza a distribuição de dose no eixo central através da normalização da dose em uma profundidade de referência, profundidade essa correspondente ao valor de dose máxima, e variável de acordo com a energia do feixe.

A definição formal de PDP^{90} para um campo quadrado de área (A) na superfície de um objeto simulador, com distância isocêntrica (f) e energia ($h\nu$), está apresentada na equação (1):

$$PDP(z, A, f, h\nu) = \left(\frac{D_z}{D_0}\right) \times 100 \quad (1)$$

em que D_z é a dose absorvida em uma profundidade z , e D_0 é a dose absorvida na profundidade de dose máxima, ou seja, de equilíbrio eletrônico. A PDP é utilizada no cálculo de UM para tratamentos do tipo SSD, e é determinada experimentalmente para a alimentação dos SPTC.

b) Relação Tecido-Máximo (TMR)

Assim como a PDP, a relação tecido-máximo caracteriza a dose no eixo central através da normalização da dose em uma profundidade de referência, o que a diferencia da PDP é o arranjo e a realização do experimento. Na PDP, a curva de Dose em função da Profundidade é obtida medindo-se a dose em diversas profundidades de um objeto simulador variando a posição da câmara de ionização nesse objeto simulador. Na TMR, a câmara de ionização permanece fixa em uma determinada profundidade no objeto simulador, e a dose é medida variando a altura da coluna de água acima da câmara de ionização, assim é possível observar que há uma grande diferença conceitual entre as duas grandezas. A TMR é utilizada para cálculo de UM quando se utiliza a técnica SAD.

Como a determinação experimental da TMR é um processo extremamente

difícil, a maioria dos algoritmos dos SPTC utilizam a relação teórica entre PDP e TMR²⁰ apresentada na equação 2:

$$TMR(z, A_Q, hv) = \frac{(PDP(z, A, f, hv))}{100} \times \frac{(FSP(A, hv))}{(FSP(A_Q, hv))} \times \left(\frac{(f+z)}{(f+z_{m\acute{a}x})} \right)^2 \quad (2)$$

em que TMR(p, A_Q, hv) é a relação tecido máximo, A_Q é a área do quadrado na profundidade Q, f é a distância isocêntrica, e z_{máx} é a profundidade de dose máxima.

O fator pico espalhamento (FSP)²⁰ é um fator de correção definido pela equação 3, sendo D_o a dose na profundidade de máximo e D' o a dose no ar na mesma profundidade de D_o.

$$FSP = \frac{D_o}{D'_o} \quad (3)$$

c) Razão Tecido – Ar (TAR)

A grandeza razão tecido–ar (TAR)²⁰ foi inicialmente introduzida para simplificar o cálculo de dose para radioterapia rotacional, mas seu uso foi estendido para irradiações isocêntricas de campos estacionários múltiplos. Em radioterapia rotacional a fonte de radiação se move em um círculo através do eixo de rotação que geralmente passa dentro do tumor. Durante a rotação em torno do paciente a SSD varia com o contorno do paciente, no entanto o SAD permanece o mesmo.

Dessa forma, a TAR(p, A_Q, hv) é definida como a razão da dose na profundidade h no eixo central do paciente (D_h) pela dose na mesma profundidade h no eixo central do feixe (D'_h), essa grandeza depende da profundidade, da área do quadrado na profundidade h (A_Q), e da energia do feixe (hv) e está representada pela equação (4):

$$TAR(p, A_Q, hv) = \frac{D_h}{D'_h} \quad (4)$$

d) Razão tecido - objeto simulador (TPR)

O conceito de TAR funciona bem para fótons de baixa energia como no Co^{60} , mas para fótons de alta energia como é o caso dos aceleradores esse conceito apresenta algumas dificuldades. Para resolver esse problema foi introduzido o conceito de razão tecido – objeto simulador (TPR)²⁰ que é definido na equação (5):

$$TPR(p, A_Q, hv) = \frac{D_z}{D_{z_{ref}}} \quad (5)$$

em que D_z é a dose na profundidade arbitrária z do objeto simulador no eixo central do feixe, e $D_{z_{ref}}$ é a dose em uma profundidade de referência z_{ref} do objeto simulador (tipicamente 5 ou 10 cm) no eixo central do feixe. O TPR é uma grandeza que depende da profundidade, da área do quadrado na profundidade z (A_Q), e da energia do feixe (hv)

e) Unidades Monitoras (UM)

As unidades monitoras (UMs) determinam a dose para os aceleradores, e é essa a grandeza que deve ser inserida na máquina de tratamento para a liberação da dose. Em planos com feixes múltiplos é determinado um valor de unidade monitora para cada incidência do feixe de radiação. A UM^{21} é a dose prescrita corrigida para alguns parâmetros que serão explicitados a seguir:

$$UM = \frac{Dose \times peso}{\left(\left(\frac{F_n}{100}\right) \cdot \left(\frac{Iso}{100}\right) \cdot (TMR \text{ ou } PDP/100) \cdot F_{cal} \cdot F_c \cdot F_p \cdot F_b \cdot F_f \cdot FOA\right)} \quad (6)$$

em que:

UM – número de unidades monitoras

Dose – dose prescrita em cGy

Peso – peso atribuído ao campo

F_N – fator de normalização (é a soma do peso de todos os campos, geralmente os pesos são definidos pelo físico no SPTC de tal forma a otimizar o plano de tratamento).

Iso – curva de isodose escolhida pelo radioterapeuta.

TMR ou PDP – relação tecido-máximo para tratamentos com a técnica SAD, ou percentagem de dose profunda pra tratamentos com a técnica SSD.

F_{cal} – fator de calibração, característico da energia do feixe a ser utilizada.

F_c – fator espalhamento do colimador, corrige a dose devido ao espalhamento originário do sistema interno de colimação do aparelho.

F_p – fator de espalhamento do objeto simulador, corrige a dose devido ao espalhamento ocasionado pelo objeto simulador.

F_b – fator bandeja, correção devido à atenuação do feixe ocasionada pela presença de bandeja.

F – fator filtro, correção devido à atenuação do feixe ocasionada pela presença de filtro.

FOA – fator “off- axis”, correção devido ao deslocamento do volume alvo em relação ao eixo central do feixe.

Na referência²¹ há uma descrição mais detalhada desses fatores a serem corrigidos no cálculo da UM.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como mencionado anteriormente, os primeiros trabalhos a respeito dos programas de controle de qualidade de SPTC não tratavam da abrangência dos aspectos que envolvem a garantia da qualidade da liberação de tratamento por meio de SPTC, mas apresentavam testes e limites de confiabilidade para os resultados dos cálculos realizados pelo algoritmo do sistema.

Um dos trabalhos pioneiros em testes de avaliação para SPTC é o trabalho de McCullough e Krueger⁸. Neste trabalho, os autores apresentam um breve protocolo para documentar a acurácia dos sistemas de planejamento para feixes externos de fótons, para as principais situações clínicas existentes. Os autores também sugerem alguns critérios de aceitabilidade e discutem os tipos de incertezas das medidas de dose, assim como as incertezas inerentes dos “softwares” dos SPTCs.

Os autores propõem que a entrada dos dados dos pacientes, dos dados do feixe, e de outros parâmetros espaciais, constituem fontes de incerteza que podem ser controláveis e, a partir de uma discussão e posterior conclusão sobre a qualidade desses dados de entrada, os autores especificam uma incerteza de $\pm 1\%$

na reprodutibilidade dos valores de dose gerados pelos SPTCs em situações idênticas e em tempos diferentes.

O trabalho apresentou medidas de dose para pontos individuais realizadas com câmara de ionização e dosímetros termo-luminescentes (TLDs), medidas de PDP e de perfis de dose. A partir desses dados, os autores discutiram amplamente a acurácia dos valores encontrados, proporcionando a atribuição de limites de confiabilidade para regiões de alto gradiente de dose (penumbra e “build-up”), e para regiões de baixo gradiente de dose.

Os critérios de aceitabilidade para as medidas podem ser resumidos nos seguintes parâmetros: 4mm de distância entre as curvas de isodose nas regiões de alto gradiente de dose, $\pm 3\%$ nas regiões de baixo gradiente de dose para câmara de ionização; e $\pm 4\%$ nas regiões de baixo gradiente de dose para TLD.

Nesse trabalho, muitos aspectos relevantes e ainda atuais a respeito de limites de confiabilidade foram levantados mas, no entanto, não se trata de uma norma com protocolos bem estabelecidos a serem seguidos. Um dos primeiros documentos que tratam sobre o uso de computadores em Radioterapia é o ICRU 42^o.

No ICRU 42 é documentada uma série de procedimentos para se utilizar computadores em radioterapia de feixe externo, apresentando os principais conceitos e os métodos básicos para o planejamento de tratamento com o uso de computadores. O controle de qualidade de sistemas de planejamento de tratamento computadorizados é tratado brevemente no último capítulo do documento, onde são apresentados conceitos importantes.

O ICRU 42 determina como deve ser realizada a representação dos feixes de fótons e elétrons em um formato tabular ou em forma matricial para a inserção dos dados de feixe no SPTC, sugerindo também o uso de funções para a diminuição da quantidade de dados. O documento detalha quais os tipos de modificadores de feixe devem ser inseridos no SPTC, explicando o significado físico dos modificadores e quais devem ser utilizados dependendo da necessidade de cada serviço de radioterapia, além de explicitar o modo como os dados dos feixes devem ser adquiridos.

Um capítulo é dedicado à aquisição dos dados do paciente para entrada no SPTC e outro mostra como a distribuição de dose absorvida determinada pelo computador deve simular a distribuição no paciente, dessa forma o documento apresenta o “set-up” do planejamento. A análise da apresentação dos resultados de cálculo pelos SPTCs e o processo de documentação do planejamento são também tratados nesse protocolo.

Com relação ao controle de qualidade dos SPTCs o documento apresenta algumas ações que devem ser realizadas para garantir uma boa eficácia do plano. Entre essas ações destacam-se: 1) documentação do programa e do sistema; 2) verificações iniciais do sistema; 3) repetições de verificação do sistema; 4) controle de qualidade através de procedimentos manuais; 5) dosimetria *in vivo*.

O marco no desenvolvimento de programas de controle de qualidade de SPTC se deu com o trabalho do Van Dyk *et. al*'', no qual os autores propõem procedimentos para a implementação de um programa de controle de qualidade no formato muito similar aos programas e recomendações atuais, dividindo o programa em comissionamento e controle periódico, além de definir testes e critérios de aceitação muito sofisticados.

Nesse trabalho o processo de controle de qualidade é dividido em três componentes: a) medidas de desempenho; b) comparação do desempenho com padrões existentes; c) ações necessárias para manter ou reestabelecer as concordâncias com os padrões.

Os testes de comissionamento ou iniciais como os autores se referem a esses testes, podem ser resumidos da seguinte forma, excluindo os testes para braquiterapia:

a) cálculos de dose em determinados pontos e cálculo de parâmetros físicos para cada energia de feixes de fótons: razão tecido-ar (TAR), razão tecido-objeto simulador (TPR) e PDP para campos quadrados, retangulares e formas complexas; correção pela lei do inverso do quadrado da distância; fatores de atenuação e.g. fator filtro;

b) distribuições de dose para cada energia de feixes retangulares de fótons: campos quadrados e retangulares com incidência normal, planos com distâncias fonte-superfícies - SSD fixas ou isocêntricos, campos com filtros,

correção de contorno a 45° de incidência, campos com blindagem, campos múltiplos, rotações em arcos, distâncias "off-axis", e rotação do colimador;

c) distribuições de dose para feixes de fótons e elétrons em objetos simuladores não homogêneos;

d) distribuições de dose para cada energia de feixes de elétrons: campos quadrados e retangulares com incidência normal, correção de contorno a 45° de incidência e correções de heterogeneidades.

Os testes propostos para controle periódico ou testes de reprodutibilidade, assim como a periodicidade que devem ser efetuados são resumidos a seguir, excluindo novamente testes para braquiterapia:

i) entrada de dados por digitalizador e saída pela impressora – semanalmente;

ii) transferência da Tomografia Computadorizada (TC) – quinzenalmente;

iii) feixes de fótons (dose em determinados pontos, perfis laterais e heterogeneidades) – semestralmente;

iv) feixes de elétrons (dose em pontos determinados, perfis laterais e heterogeneidades) – semestralmente;

v) algoritmo (campos paralelos opostos com pesos iguais, diferentes, e com filtros; técnicas de três campos; e dois arcos adjacentes de 180°) – semestralmente;

vi) configurações das máquinas – semestralmente.

Após esse trabalho tornou-se claro, quais os tópicos que um programa de controle de qualidade para SPTC deve conter, e nos anos subsequentes diversas publicações trataram sobre o tema da garantia da qualidade em radioterapia e, em particular, de sistemas de planejamento.

No TG 46 da AAPM¹⁰ foi apresentado um protocolo bem detalhado para o controle de qualidade em radioterapia. Esse documento trata de conceitos que vão desde a formação de uma equipe responsável pelo controle de qualidade, passando por testes dos equipamentos de teleterapia (aceleradores, TC, simuladores, etc.), testes para o SPTC, testes para braquiterapia, até a discussão de conceitos do processo de planejamento como aquisição de dados, imobilização e posicionamento do paciente, definição do volume alvo e das estruturas críticas,

bem como os aspectos clínicos.

Posteriormente, o TG 53 da AAPM¹³ apresentou um protocolo mais específico para o controle de qualidade do processo de planejamento de tratamento, no qual as fontes de incerteza são amplamente discutidas, e o controle de qualidade dos SPTC tem um enfoque grande. Nesse documento são definidos testes de aceitação para SPTC, o comissionamento não dosimétrico, o comissionamento para os cálculos de dose, os testes de controle de qualidade periódicos, além de propor o controle de qualidade como parte diária no processo de planejamento. O documento discute também a implantação de um sistema de gerenciamento e segurança, em que são atribuídas as responsabilidades do fabricante e do usuário para a garantia da qualidade dos SPTC.

Os testes não dosimétricos de comissionamento, de acordo com esse documento, são resumidos nos seguintes tópicos: posicionamento e imobilização do paciente, aquisição de imagens, descrição anatômica, feixes, aspectos operacionais de cálculo de dose, validação e análise do plano de tratamento, saída em impressão ou disco, e implementação e verificação. Os tópicos abordados no comissionamento do cálculo de dose são: medidas de auto-consistência dos dados de entrada, determinação dos parâmetros do algoritmo de cálculo de dose, métodos para comparação dosimétrica e verificação, e verificação de cálculos para feixes externos.

A Sociedade Suíça de Radiobiologia e Física Médica (SSRPM), lançou em 1999 um documento¹⁴ bastante sucinto, porém completo sobre controle de qualidade para sistemas de planejamento de tratamento para teleterapia. Neste documento são apresentadas diversas recomendações para o comissionamento, onde são estabelecidos os pré-requisitos para os testes de comissionamento, e são definidas as tarefas dos fabricante e dos usuários. Os testes dosimétricos para validação do SPTC, assim como, os critérios de aceitabilidade estão claramente e esquematicamente apresentados. Este protocolo suíço trata ainda da implementação do programa de CQ para novos "softwares" que venham a ser instalados nos sistemas, para novas máquinas de tratamento e para novos dados de feixes, além das recomendações para testes periódicos.

No ano de 2000 também foi publicado um documento da IEC¹⁵, que estabelecia diversos testes e protocolos que deveriam ser aplicados pelos fabricantes para garantir uma adequada fabricação dos produtos eletro-médicos. Nesse documento são estabelecidos os padrões de segurança para "softwares" e "hardwares" de equipamentos médicos, e alguns parâmetros são uniformizados tais como, sistemas de coordenadas, movimentos e escalas dos equipamentos de radioterapia, além de definições de termos.

O documento estabelece os testes que devem ser realizados durante o desenvolvimento do produto, e durante a sua instalação. Detalha todos os requisitos para garantir a segurança de operação dos equipamentos, descreve os modelos e conceitos físicos utilizados pelos algoritmos para os equipamentos de teleterapia e braquiterapia e, por fim, discute os possíveis erros humanos no "design" do "software", e no uso dos equipamentos.

As recomendações para a prevenção de acidentes provenientes do uso de SPTC de acordo com esse documento podem ser sintetizadas em verificações cuidadosas das doses absolutas e relativas determinadas pelo sistema, verificações com medidas realizadas em objetos simuladores para diversas configurações, além da compreensão adequada dos algoritmos utilizados por esses sistemas.

Em 2004 a ESTRO lançou um documento²² discutindo o controle de qualidade de SPTC com exemplos práticos para feixe de fótons e na ausência de terapia de feixe com intensidade modulada (IMRT). Nessa publicação são apresentados todos os tópicos atualmente tratados em programas de controle de qualidade para os SPTCs, sem a delimitação de testes de forma tão clara como o apresentado no documento da IAEA, o TRS 430¹⁸, que será tratado a seguir. Exemplos de testes práticos sobre a descrição anatômica do paciente, a descrição de feixe, o cálculo de unidades monitoras e dose são apresentados, e os resultados explicitam como deve ser feita a comparação com os níveis de tolerância.

Atualmente muitos trabalhos tratam de controle de qualidade e verificações de desempenho de SPTCs, entre eles o trabalho de Muller²³, que apresenta um algoritmo independente para cálculo de UMs gerando valores que podem servir de comparação para uma análise de acurácia dos valores calculados através do SPTC.

Por fim, o documento mais recente da IAEA o TRS 430¹⁸ é o protocolo mais completo e amplo para a implementação de um programa de controle de qualidade para SPTC, sendo nele apresentado todos os testes necessários para manter o bom funcionamento do sistema e garantir que a distribuição de dose ocorra com a precisão desejada. Os níveis de tolerâncias apresentados são os mais aceitos atualmente para as diversas situações clínicas, e a parte conceitual do texto possibilita o uso dos testes de acordo com a necessidade de cada serviço.

Nesse texto há uma ampla discussão histórica sobre os erros e as fontes de incerteza em um planejamento computacional, além de uma discussão refinada das partes constituintes do SPTC, inclusive com o detalhamento dos principais formalismos utilizados nos algoritmos. Os níveis de tolerância e o modelo de tratamento estatístico dos dados, são claramente apresentados, sendo os testes formulados de forma a seguir esse formalismo. Aspectos sobre o gerenciamento da qualidade também são discutidos no referido documento.

O TRS 430 divide os testes que devem constituir um programa de controle de qualidade em testes de aceitação, testes de comissionamento, testes de controle rotineiro e roteiro para controle individual do paciente.

Dentro dos testes de comissionamento, existem testes dosimétricos, que visam comparar os valores de distribuição de dose gerados pelo sistema de planejamento com os valores de dose medidos experimentalmente, e testes não-dosimétricos que podem ser qualitativos, ou seja, visam verificar as capacidades do sistema, e de cálculo ou quantitativos, que visam comparar os valores de UM gerados pelo sistema com os valores calculados manualmente.

Apesar dessas conotações de testes não estarem explicitamente divididas no documento, elas são facilmente observadas, e para facilitar o processo de implantação do programa de controle de qualidade, nesse trabalho os testes serão divididos de acordo com essas conotações, além das outras subdivisões já estabelecidas na norma.

O TRS 430 apresenta uma extensa lista de testes para praticamente todas as possibilidades de tarefas que um sistema de planejamento de tratamento pode executar. Nesse trabalho serão considerados somente os testes referentes às tarefas que um sistema de planejamento 3-D de última geração como é o caso do

Eclipse desempenha, além do mais, no HC não são realizados certos procedimentos clínicos que o Eclipse é capaz de realizar, como é o caso de planejamentos para IMRT e Radiocirurgia .

No HC não há MLC, não são realizados tratamentos Radiocirúrgicos, e a Braquiterapia possui um sistema de planejamento específico para essa técnica, também não são feitas correções de heterogeneidades, e também não são consideradas correções para movimentação e respiração do paciente. Sendo assim, testes relacionados com esses temas não serão tratados nesse trabalho.

O TRS 430 define como deve ser todo o processo de gerenciamento da qualidade, e faz um sumário detalhado de todas as fontes de incerteza contidas em um processo de planejamento de tratamento. Nesse documento são apresentados os modelos estatísticos aos quais devem ser submetidos os dados e os níveis de tolerância aceitáveis.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo específico e direto desse trabalho é, como já citado anteriormente, implantar um programa de controle de qualidade para o sistema de planejamento de tratamento computadorizado tridimensional, o Eclipse 7.3.10[®] da Varian, no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP (HC), baseado nas recomendações mais recentes da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), o TRS 430¹⁸.

O programa aqui apresentado, visa cobrir somente os aspectos de controle de qualidade para feixes externos de radiação. Nesse serviço existem dois aceleradores, um Clinac 600C Varian, e um Clinac 2100C Varian, e esse programa busca apresentar testes para a caracterização dos feixes de fótons para os dois aceleradores.

O objetivo mais abrangente e teórico desse estudo é trazer para a realidade clínica o conceito de gerenciamento da qualidade, em que o processo de tratamento em todas as suas etapas seja realizado buscando seguir padrões de garantia da qualidade. Dessa forma, toda a equipe deve ser devidamente treinada e deve estar engajada no processo de planejamento como um todo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 O ECLIPSE 7.3.10[®] DA VARIAN

O Eclipse 7.3.10[®] da Varian é um sistema de planejamento de tratamento computadorizado 3-D de última geração capaz de realizar planejamentos de tratamento conformados. O sistema faz uso de estações de trabalho - PCs de alta tecnologia, operando em sistema Windows NT e Windows 2000, o que facilita bastante a sua utilização pelos usuários, já que muitos dos SPTCs comerciais fazem uso do sistema operacional Unix.

O "software" do Eclipse é dividido em tarefas, sendo que cada uma delas abrange uma área específica do processo de planejamento de tratamento. Cada tarefa é subdividida em "workspaces", destinados a acompanhar o processo clínico.

O "design" do sistema é composto dos parâmetros de operação do sistema e da estrutura de "software" do sistema. Os parâmetros de operação do sistema são: a janela "network", o "network" para compartilhamento de dados, a janela das contas dos usuários, e a janela de segurança. A estrutura do "software" do sistema pode ser resumida em: "framework" de cálculo do Eclipse, e um diretório estrutura de arquivos importantes.

O Eclipse tem um avançado sistema de administração e gerenciamento das contas dos usuários e dados dos pacientes. Ele possui um "drive" de "backup" capaz de salvar em fita dat todo sistema automaticamente e diariamente, em um horário programado. O sistema de gerenciamento de pacientes do Eclipse permite ao administrador do sistema excluir pacientes, recuperar pacientes excluídos, recuperar pacientes ativos, realocar arquivos de imagem e excluir pacientes.

O Eclipse apresenta mais de um algoritmo para cálculo de doses para feixes de fótons e elétrons, sendo que a escolha dos mesmos depende de quais técnicas serão utilizadas para a realização do tratamento, se serão ou não corrigidas as heterogeneidades, se haverá planejamentos com IMRT, ou filtros dinâmicos, enfim, o uso do algoritmo dependerá da prática clínica exercida no serviço. Dessa forma, a descrição dos algoritmos será restrita ao algoritmo utilizado no HC, essa descrição está apresentada no anexo I, sendo que os dados dosimétricos requeridos por esse algoritmo serão apresentados nas próximas

seções.

No HC o Eclipse possui duas estações: uma que é o servidor da rede (estação 1), trata-se de uma estação mais voltada para cálculo e planejamento, e uma estação mais voltada para contornos (estação 2). A segunda estação visualiza a estação 1, sendo assim, os testes aplicados a esta estação referem-se à aceitação da máquina, principalmente aos testes de "hardware", e os testes de comunicação de sistema "network". Os testes de ferramentas de "software" e cálculo foram realizados somente na estação 1 que está apresentada na figura 4, eles não foram realizados na estação 2 porque esta visualiza exatamente tudo o que está no servidor.



Figura 4: Estação 1 do Eclipse 7.3.10® da Varian no HC

2.1.1 DADOS EXPERIMENTAIS REQUERIDOS PELO ALGORITMO "PENCIL BEAM CONVOLUTION"

A tabela 2-1 apresenta os dados requeridos pelo algoritmo "Pencil Beam Convolution" para feixe de fótons

Tabela 2-1: Dados experimentais requeridos pelo algoritmo de cálculo de dose

<i>Item</i>	<i>Parâmetros de Medida</i>
Campos Abertos	Curvas de Dose Profunda PDPs Perfis em 5 profundidades Perfis diagonais para o maior tamanho de campo em 5 profundidades.
Campos com Filtros	Curvas de Dose Profunda PDPs Perfis em 5 profundidades Perfil longitudinal em 1 profundidade

<i>Item</i>	<i>Parâmetros de Medida</i>
Blocos	Fator de Penumbra Fator de Transmissão
Compensadores	Coefficiente de Atenuação Linear Fator de Penumbra
Tabelas de Taxa de Dose	

No Hospital das Clínicas o antigo sistema de planejamento, CadPlan, continha todos esses dados. Sendo assim, os dados requeridos foram transferidos inicialmente do CadPlan para o Eclipse. Mas concomitantemente com a realização dos testes de comissionamento para o SPTC, realizou-se no HC o recomissionamento dos dois aceleradores existentes no serviço: o Clinac 600C e o Clinac 2100C, com o auxílio do objeto simulador automatizado da Wellhöffer, o "Blue Phantom" (figura 5).

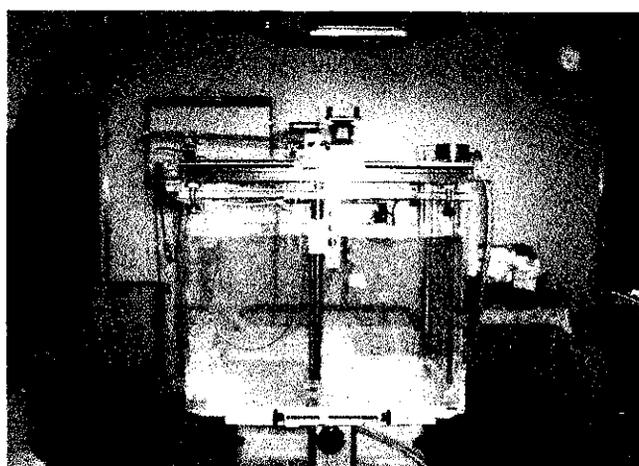


Figura 5: Blue Phantom

Assim, o Eclipse ficou contendo duas máquinas diferentes, uma a qual foi denominada de máquina antiga, cujos dados de caracterização dos feixes de 6 MV do Clinac 600C e do Clinac 2100C, e de 15 MV do Clinac 2100C são provenientes do CadPlan, e a outra que foi denominada de máquina nova, cujos dados de caracterização dos mesmos feixes são provenientes do recomissionamento dos aceleradores.

Os testes sugeridos para o programa de controle de qualidade pelo TRS 430, foram aplicados para as duas máquinas, e novas tabelas de parâmetros para cálculos manuais foram elaboradas a partir dos dados do recomissionamento. Assim a caracterização do sistema foi realizada de forma cuidadosa e adequada, garantindo a execução de uma das principais etapas em um processo de CQ, a inserção correta de dados, e a manutenção da coerência na utilização dos parâmetros de entrada e na utilização dos parâmetros de cálculo manual.

2.2 INCERTEZAS E CRITÉRIOS DE ACEITABILIDADE

Todo sistema de planejamento tem um valor de acurácia atribuído pelo fabricante para o cálculo de dose e UM. No entanto, na maioria das vezes não se sabe a procedência dos dados utilizados para a comparação com os dados gerados pelo sistema de planejamento e como foi estipulada essa acurácia, não se sabe se as comparações são feitas com dados provenientes de simulações de Monte Carlo, ou com dados provenientes de experimentos, e se esse for o caso quais são os tipos de experimentos.

Assim, o TRS 430 determina quais são as tolerâncias aceitáveis para as diferenças entre os dados gerados pelo sistema de planejamento e os dados experimentais que analisam diversas situações clínicas e situações fora das condições de referência.

Nesses níveis de tolerância já estão inclusas as incertezas de cálculo do sistema de planejamento e as incertezas experimentais. Na literatura, desde a década de 80, existem trabalhos que tratam da incerteza de cálculo do algoritmo do sistema de planejamento, e a incerteza atribuída a este é de $\pm 1\%$ ⁸. A incerteza global atribuída às medidas de dose experimentais é de $\pm 1,5\%$ ²⁴.

Dessa forma, os níveis de tolerância devem conter essas incertezas, além das incertezas de situações de planejamento que estão sendo tratadas. Como as incertezas dosimétricas já foram tratadas em trabalhos como o TRS 398²³, não foi necessário determinar essas incertezas novamente nesse trabalho. Isso se justifica também pelo fato desse levantamento requerer uma quantidade de tempo inviável.

Por esse motivo o TRS 430 recomenda que se confie nas incertezas determinadas por trabalhos específicos, e que a comparação entre dados gerados pelo SPTC e dados medidos experimentalmente seja feita em termos de diferença percentual entre os dois valores, e comparados aos níveis de tolerância estipulados pelo documento.

Para a análise dos resultados é necessário estabelecer o modelo estatístico de tratamento dos dados, assim como o critério de aceitabilidade aos quais esses dados serão submetidos. O TRS 430 exemplifica dois modelos de análise, sendo que ambos pressupõem que os algoritmos dos SPTCs apresentam diferenças na acurácia do cálculo dependendo da região do feixe onde a dose está

sendo medida. A figura 6 mostra as divisões das diferentes regiões do feixe acordo com o TG53 da AAPM¹³, ou seja, regiões dentro dos limites do campo e no raio central, regiões fora do limite do campo, regiões de dose máxima (“build-up”), e regiões nos limites do campo (penumbra).

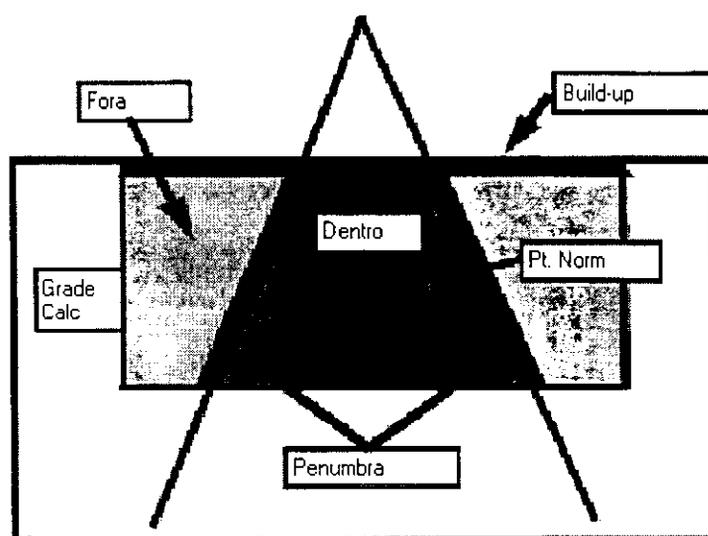


Figura 6: Regiões Constituintes do Feixe

Venselaar *et al.*²⁵ definiu uma série de critérios de aceitabilidade baseados nos níveis de tolerância para δ (diferença entre valor de dose absoluta medido experimentalmente e valor de dose absoluta calculado pelo SPTC) nas diferentes regiões do feixe. Os critérios utilizados foram extraídos do TRS 430 e estão apresentados na tabela 2-2, para o δ definido de acordo com a equação 7, e dependendo das regiões do feixe conforme as figuras 7 e 8:

Tabela 2- 2: Critério de Aceitabilidade para Cálculos de Dose Absoluta de acordo com o TRS430¹⁸

	Localização	Região	1. Geometria Simples (Homogênea)	2. Geometria Complexa (Filtros, Heterogeneidades, Assimetrias)	3. Geometrias mais Complexas (Combinações de 1 e 2)
δ_1	Raio Central	Alta Dose, Baixo Gradiente de Dose	2%	3%	4%
δ_2	Build-up no raio central e perfis nas regiões de penumbra	Alta dose, alto gradiente de dose	2mm ou 10%	3 mm ou 15%	3 mm ou 15%

δ_3	Fora da região do raio central	Alta dose, baixo gradiente de dose	3%	3%	4%
δ_4	Regiões fora do limite do feixe	Baixa dose, baixo gradiente de dose	30%	40%	50%

$$\delta = 100 \times \left(\frac{D_{abs.} - D_{SPTC}}{D_{abs.}} \right) \quad (7)$$

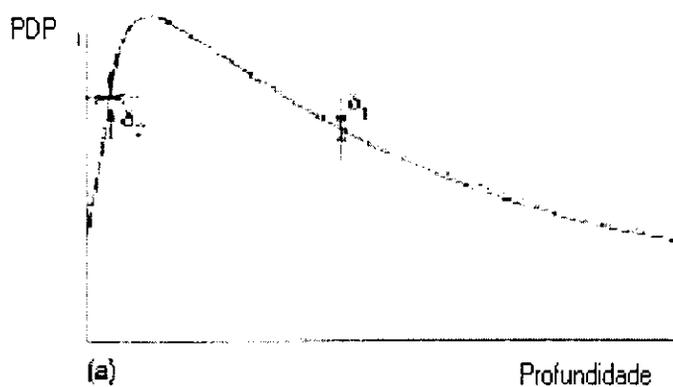


Figura 7: Definição de δ_1 e δ_2 na curva de PDP

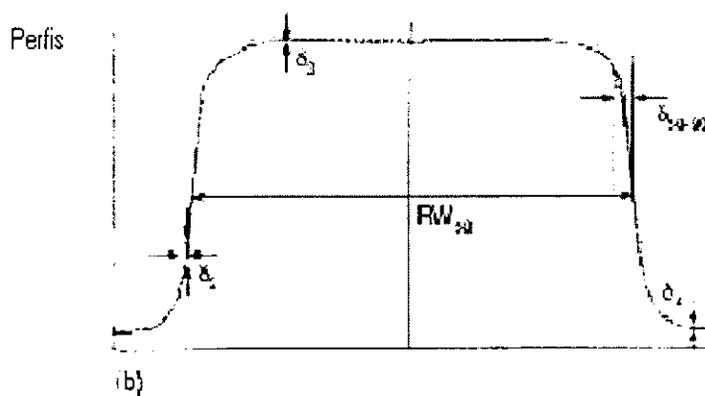


Figura 8: Definição de δ_2 , δ_3 , δ_4 , δ_{50-90} e RW_{50} , na curva de Perfil de Dose

2.3 TESTES DE ACEITAÇÃO DE ACORDO COM O TRS 430

Nas próximas seções serão abordados mais especificamente os testes recomendados pelo TRS 430 para a implantação de um programa de controle de qualidade para SPTCs.

Os primeiros testes a serem realizados são os testes de aceitação. Estes testes devem ser realizados no momento de instalação do sistema e visam verificar a funcionabilidade do sistema e as concordâncias com as especificações fornecidas pelo fabricante; eles verificam o "hardware" do sistema, integração do sistema "network", a transferência de dados, as ferramentas de "software", as capacidades de cálculo do "software", e os "softwares" complementares. Os testes de aceitação estão apresentados na tabelas 2-3.

Tabela 2- 3: Testes de Aceitação de acordo com o TRS 430

	Teste
"Hardware"	Memória de CPU/ Operação do Disco Mesa digitalizadora Compatibilidade entre dados de imagem (TC, RM) e o SPTC Teclado, Mouse Impressora Janela de Visualização de DRRs e Acessórios. Arquivamento e "backup"
Integração do Sistema de Rede	Conexões Formato DICOM
Transferência dos Dados	Transferências manuais, por rede e/ou impressão.
"Software"	Entradas de Dados da TC e descrição anatômica. Descrição do Feixe, Cálculo de Dose de Fótons e Elétrons.
"Softwares" Complementares	Armazenamento das informações do Paciente. "Software" de "backup" e impressão.

2.4 TESTES DE COMISSIONAMENTO DE ACORDO COM O TRS 430

Os testes de comissionamento constituem a etapa mais longa do programa de controle de qualidade, já que verificam todas as capacidades de cálculo e das ferramentas dos sistemas, além de conferirem se os dados foram inseridos corretamente no SPTC.

A realização de um comissionamento seguindo normas como o TRS 430 é essencial, não somente para assegurar o funcionamento correto do SPTC, mas

também como fonte de treinamento para a equipe. Isto proporciona uma compreensão extensa do sistema, assim como de suas limitações e linguagem, sendo que uma equipe envolvida no processo de comissionamento é uma equipe com um grande conhecimento do sistema. A seguir serão apresentados os testes dosimétricos e não-dosimétricos de comissionamento.

2.4.1 TESTES PARA A REPRESENTAÇÃO ANATÔMICA DO PACIENTE

Os testes para a representação anatômica do paciente visam verificar as capacidades do sistema, assim como os protocolos utilizados no serviço de radioterapia, nos temas que tratam desde a aquisição das informações do paciente até a transferências desses dados para o SPTC. Os tópicos a) e b) apresentam os testes para a aquisição das informações do paciente, e os testes para entrada ou transferência dos dados para o SPTC respectivamente.

a) Testes de Comissionamento para Aquisição das Informações dos Pacientes

Teste de Aquisição 1 - Documentar os procedimentos utilizados para a aquisição manual do contorno.

Teste de Aquisição 2 – Documentar os procedimentos utilizados para a aquisição de dados por TC.

b) Testes de Comissionamento para a Entrada ou Transferência dos Dados Anatômicos.

Teste de Entrada 1 (Calibração do Digitalizador) – Conferir a calibração e o funcionamento do digitalizador.

Teste de Entrada 2 (Entrada do Contorno Manual)- Visa testar a acurácia dos métodos utilizados para captar os dados geométricos além de outras informações coletadas durante o procedimento.

Teste de Entrada 3 (Aquisição de Dados por TC) - Verificar que os dados de TC são corretamente adquiridos e transferidos para o SPTC.

Teste de Entrada 4 (Ferramentas da TC no Sistema de Planejamento de Tratamento)- Confirmar que os dados do TC podem ser corretamente utilizados pelo SPTC.

Teste de Entrada 5 (Outras Modalidades de Imagem)- Garantir que os dados de outros sistemas de aquisição de imagem são corretamente transferidos e interpretados pelo SPTC.

Teste de Entrada 6 (Banco de Dados do Paciente) - Assegurar que as informações do paciente estão sendo corretamente armazenadas no banco de dados do SPTC.

2.4.2 TESTES DE COMISSIONAMENTO PARA MODELO ANATÔMICO DO PACIENTE

Esses testes visam confirmar que o sistema de planejamento apresenta corretamente a representação anatômica do paciente, e estão descritos a seguir:

Teste Para Modelo Anatômico 1 (Representação dos Contornos sem Imagem)- Confirmar que os dados do contorno podem ser corretamente inseridos e utilizados pelo SPTC.

Teste Para Modelo Anatômico 2 (Contorno Manual a partir da TC) - Assegurar a acurácia da ferramenta de contorno manual em imagens de TC.

Teste Para Modelo Anatômico 3 (Contorno Automático)- Garantir a acurácia da ferramenta de contorno automático em imagens de TC.

Teste Para Modelo Anatômico 4 (Editando Contornos)- Testar a ferramentas de edição dos contornos e a sua acurácia.

Teste Para Modelo Anatômico 5 (Gerando uma Descrição 3-D do Objeto) - Verificar a criação apropriada de objetos 3-D.

Teste Para Modelo Anatômico 6 (Gerando Novos Contornos a partir de Superfícies ou Interpolações) - Visa conferir que a capacidade de criar contornos para uma descrição 3-D do objeto a partir da interpolação de cortes que já contenham contornos funciona corretamente.

Teste Para Modelo Anatômico 7 (Expansão do Objeto) - Documentar o funcionamento correto das funções de expansão do objeto em 3-D.

Teste Para Modelo Anatômico 8 (Criando Densidades para os Contornos Manuais)- Investigar se a criação de estruturas com densidades volumétricas a partir de contornos manuais ocorre de forma adequada.

Teste Para Modelo Anatômico 9 (Criando Densidades a partir do TC)- Observar o comportamento das densidades geradas a partir de estruturas provenientes de imagens de TC. Esses dados são a referência para as verificações periódicas de dados do TC.

Teste Para Modelo Anatômico 10 (Criando um Bolus Anatômico)- Comprovar a capacidade de adicionar um bolus.

Teste Para Modelo Anatômico 11 (Edição das Densidades de TC)- Validar a capacidade de editar densidades para as imagens de TC.

Teste Para Modelo Anatômico 12 (Definindo Pontos, Linhas e Marcações)- Confirmar o comportamento correto das ferramentas de construção das linhas, pontos, marcações e outros objetos.

Teste Para Modelo Anatômico 13 (Visualização de Imagem 2-D)- Observar se as imagens 2-D são visualizadas de forma correta na janela de visualização de imagens.

Teste Para Modelo Anatômico 14 (Ferramentas de Visualização de Imagem 2-D)- Garantir o funcionamento correto das ferramentas da janela de visualização para imagens 2-D.

Teste 15 (Visualização Tri-Dimensional e Ferramentas Associadas)- Validar a funcionabilidade dos modos de visualização 3-D.

Teste Para Modelo Anatômico 16 (Ferramentas para a Manipulação de Dados Anatômicos)- Visa acessar as capacidades e limitações das ferramentas usadas para a manipulação dos dados anatômicos.

Teste Para Modelo Anatômico 17 (Ferramentas de Medições)- Acessar as capacidades e acurácia das ferramentas de medições, como régua, tonalidades de cinza, etc.

Teste Para Modelo Anatômico 18 (Sistema de Coordenadas Básico)- Comprovar que o sistema de coordenadas do SPTC é coerente com o sistema de coordenadas das máquinas de tratamento e com o sistema de coordenadas dos dispositivos de aquisição de imagem (TC, RM, simulador, etc.) utilizados no departamento.

2.4.3 TESTES DE COMISSONAMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DAS CAPACIDADES DA MÁQUINA E DO FEIXE

Esses testes visam verificar, em sua maioria de forma qualitativa, as capacidades da máquina e do feixe caracterizados no SPTC (tanto para os dados provenientes do Cadplan quanto do recomissionamento).

Teste de Feixe 1 (Descrição da Máquina e de suas Capacidades)- Documentar e assegurar que toda a descrição da máquina e dos feixes, assim como todos os parâmetros relacionados, foram corretamente inseridos no banco de dados do SPTC.

Teste de Feixe 2 (Convenções e escalas da Máquina)- Comparar todos os sistemas de coordenadas, legendas e nomes dos parâmetros utilizados pelo SPTC com os da máquina de tratamento.

Teste de Feixe 3 (Limitações dos parâmetros da Máquina)- O SPTC deve prever a entrada de parâmetros da máquina, cujo valor de saída é limitado pela configuração.

Teste de Feixe 4 (Montagem do Colimador)- Investigar se todas as possíveis montagens de simetria do colimador são aceitas e corretamente interpretadas pelo SPTC.

Teste de Feixe 5 (Campos Assimétricos)- Idem ao anterior porém para todas as possíveis montagens assimétricas do colimador.

Teste de Feixe 6 (Definições e formas dos Blocos)- Verificar se os blocos são corretamente armazenados e visualizados na janela de visualização.

Teste de Feixe 7 (Formas Automatizadas do Campo)- As formas de campo definidas conformacionando-se a forma de um volume alvo devem ser corretamente caracterizadas.

Teste de Feixe 8 (Montagem do Feixe)- Comprovar que o SPTC cria uma geometria correta para o feixe tanto em tratamento de SSD como de SAD.

Teste de Feixe 9 (Localização do Feixe)- Confirmar que todos os feixes são corretamente posicionados com relação ao sistema de coordenadas do paciente.

Teste de Feixe 10 (Cabeçote, Colimador e Ângulação da Mesa)- Os feixes devem ser corretamente posicionados e corretamente projetados nos planos das imagens.

Teste de Feixe 11 (Arcos)- Averiguar se todos os parâmetros de arcos são corretamente interpretados.

Teste de Feixe 12 (Filtros)- Garantir que os filtros são aplicados e visualizados corretamente.

Teste de Feixe 13 (Compensadores)- Idem ao anterior porém para os compensadores.

Teste de Feixe 14 (Aplicadores de Elétrons)- Confirmar que os aplicadores de elétrons são selecionados e interpretados corretamente.

Teste de Feixe 15 (Bolus)- Examinar como o SPTC adiciona e interpreta o Bolus.

Teste de Feixe 16 (Visualização do feixe em planos axiais)- Comprovar que os feixes são corretamente visualizados em cortes axiais.

Teste de Feixe 17 (Visualização do Feixe em planos não axiais)- Idem ao anterior porém para os cortes não axiais.

Teste de Feixe 18 (Visualização de feixes tri-dimensionais)- Analisar se os feixes são corretamente mostrados em uma vista 3-D.

Teste de Feixe 19 (BEV para o feixe e Anatomia)- O BEV deve mostrar corretamente a relação entre o feixe e a anatomia.

Teste de Feixe 20 (DRR cálculo e Visualização)- Observar se as DRRs são calculadas e visualizadas corretamente.

Teste de Feixe 21 (Feixes Múltiplos com o mesmo isocentro)- Mostrar que os feixes marcados com o mesmo isocentro concordam em seu comportamento.

Teste de Feixe 22 (Campos)- Demonstrar o comportamento correto de campos com GAP (abertura), e campos adjacentes.

2.4.4 TESTES DE COMISSONAMENTO PARA FEIXES DE FÓTONS

Os testes de comissionamento para feixes de fótons são constituídos por testes dosimétricos e não dosimétricos: os testes não dosimétricos verificam as capacidades do feixe de uma forma qualitativa, correspondem aos testes 4, 5 e 6 descritos a seguir; os testes dosimétricos visam comparar as medidas de dose determinadas experimentalmente em condições de referência e fora das condições de referência com as medidas de dose geradas pelo SPTC no mesmo arranjo. Para as medidas de dose experimentais utilizou-se um objeto simulador da Oxford de 30 cm x 30 cm x 30 cm (figura 9), uma câmara de ionização do tipo Farmer da Victoreen (figura 10), e eletrômetros da Inovision e da PTW (figuras 11 e 12 respectivamente).

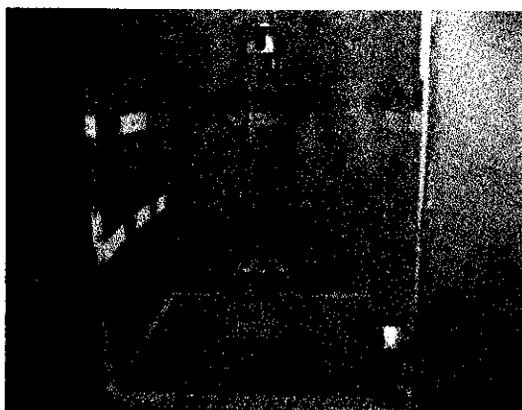


Figura 9: Objeto Simulador da Oxford de 30 cm x 30 cm x 30 cm



Figura 10: Câmara de Ionização tipo Farmer da Victoreen

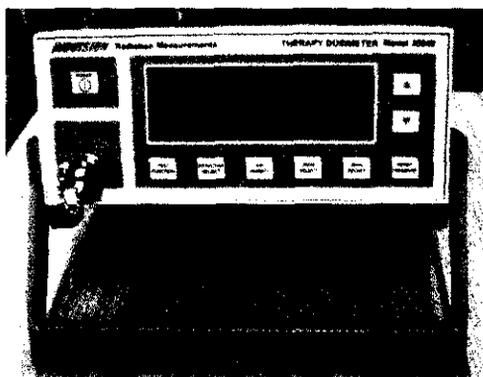


Figura 11: Eletrômetro Invision

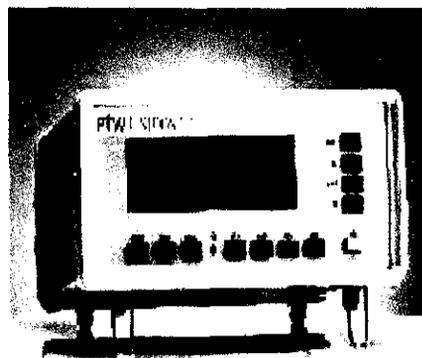


Figura 12: Eletrômetro PTW

Teste de fótons 1 – Campos Quadrados e Retangulares (Teste Dosimétrico):

Medir valores de dose para campos quadrados de 5 cm x 5 cm, 10 cm x 10 cm, 40 cm x 40 cm (ou tamanhos de campo mínimos e máximos possíveis), e para campos retangulares de 5 cm x 30 cm, 30 cm x 5 cm (ou diferenças de tamanhos mínimos e máximos possíveis). Realizar as medidas em algumas profundidades $d = 10$ cm e $d = 20$ cm. As comparações devem ser feitas para localizações “off- axis”, ou em um plano 2-D ortogonal ao raio central.

Obs: As medidas para todos os testes dosimétricos devem ser realizadas em termos de dose absoluta.

Teste de Fótons 2 – Campos Assimétricos (Teste Dosimétrico):

Obter valores de dose para campos 10 cm x 10 cm com o x dos colimadores montados no zero, e depois com o y das “jaws” no zero, depois abrir campos com diferentes seqüências de x e y. Repetir tudo utilizando filtros com a angulação máxima.

Teste de Fótons 3 – Formato dos Campos (Teste Dosimétrico):

Medir a dose no eixo central para as seguintes profundidades: $d = d_{\text{máx}}$, $d = 10$ cm, e $d = 20$ cm, para os formatos de campos:

- 1 - Campo 20 cm x 20 cm com bloco corda no eixo central (figura 13).
- 2 - Campo 20 cm x 20 cm com 4 núcleos de blocos e mais bloco central não cobrindo o raio central (figura 14).
- 3 - Campo com abertura convexa, forma oval, preferencialmente não simétrica (figura 15).

4 - Campo com abertura côncava, forma em C (figura 16).

Teste de Fótons 4 – Feixes Angulados:

Confirmar que as distribuições de dose são corretas para ângulos do “cabeçote”. Com o auxílio de um objeto simulador quadrado construído no SPTC, calcular a dose para feixes em várias direções.

Teste de Fótons 5 – Rotações de Arcos 2-D:

Analisar os cálculos de UM/tempo para um arco específico e comparar com os cálculos manuais, então comprovar que a distribuição de dose baseada na adição de um apropriado número de campos fixos, tipicamente de 10° ocorre adequadamente.

Teste de Fótons 6 – Fonte para SSD:

Para as maiores ou menores SSDs usadas clinicamente, averiguar a auto-consistência de divergência, a correção do inverso do quadrado da distância.

Teste de Fótons 7 – Filtros Manuais (Teste Dosimétrico):

Para os campos de 5 cm x 5 cm, 10 cm x 10 cm, e para o máximo tamanho de campo realizar medidas nas profundidades: $d = d_{\text{máx}}$ e $d = 10$ cm e em regiões “off-axis”, na direção do filtro e na direção perpendicular do filtro, para o padrão de SSD.

Teste de Fótons 8 – Incidência Obliqua (Teste Dosimétrico):

Para o “set-up” padrão com tamanho de campo 10 cm x 10 cm, medir a distribuição de dose para um ângulo de “cabeçote” de 30°, 45° e 60°.

Teste de Fótons 9 – Perda por Espalhamento (Teste Dosimétrico):

Usar um campo 15 cm x 15 cm irradiando um objeto simulador quadrado com perda de radiação por espalhamento. Realizar os cálculos e determinar se o algoritmo leva em conta a perda por espalhamento. Comparar os resultados com os dados medidos.

Teste de Fótons 10 – Comportamento em regiões de “build-up” (Teste Dosimétrico):

Comparar as doses calculadas pelo SPTC para as regiões de “build-up” com as medidas realizadas por câmaras de ionização. Comparar os cálculos com

as medidas no eixo central para os tamanhos de campo 5 cm x 5 cm, 10 cm x 10 cm, 30 cm x 30 cm (ou maiores tamanhos de campo possíveis), com e sem bloco e na presença e ausência de filtro.

As figuras 13, 14, 15 e 16 apresentam os formatos dos blocos a serem utilizados no arranjo do teste de fótons 3. Os blocos foram construídos com uma liga de Pb chamada Cerrobend, onde as dimensões dos mesmos podem variar de acordo com o tamanho de campo escolhido para a realização dos testes.

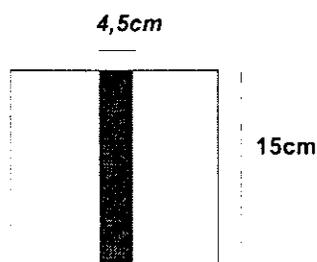


Figura 13: Bloco corda no eixo central.

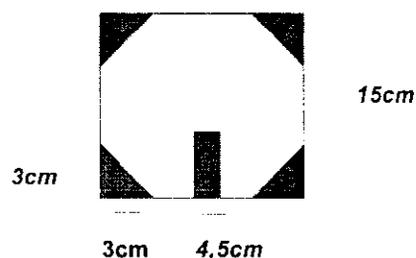


Figura 14: 4 Núcleos de blocos e bloco corda no eixo central não cobrindo o raio central.

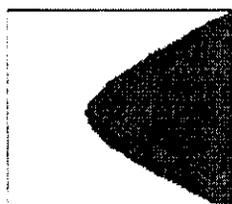


Figura 15: Bloco com formato côncavo.



Figura 16: Bloco com formato convexo.

2.4.5 TESTES DE COMISSIONAMENTO – UNIDADES MONITORAS

Os testes de UM visam comparar os cálculos realizados manualmente (através equação 6) com os cálculos gerados pelo SPTC. Para esses testes devem ser realizados cálculos de planejamentos simples, com campos quadrados no eixo central e SSD padrão, e cálculos de planejamentos que possuam dispositivos modificadores de feixes como filtros e colimadores. Além disso, para uma melhor análise do desempenho do sistema faz-se necessário a realização de cálculos de planejamentos de casos clínicos.

2.5 TESTES DE CONTROLE PERIÓDICO DE ACORDO COM O TRS 430

Os testes de controle de qualidade rotineiros visam manter preservado o desempenho do sistema observado nos testes de aceitação e de comissionamento. Para tanto, é necessário definir o objetivo, o procedimento de realização, e a frequência de cada teste. De acordo com o TRS 430, os testes sugeridos para controle rotineiro estão apresentados na tabela 2-4, e as frequências foram estipuladas de acordo com as necessidades do SPTC instalado no Hospital das Clínicas.

Tabela 2- 4: Testes de Controle de Qualidade Periódico

	TESTE	FREQUÊNCIA
"Hardware"		
CPU	Investigar o funcionamento	Mensal
Mesa Digitalizadora	Assegurar que não houve alteração na sensibilidade da mesa	Mensal
Impressora	A escala não deve variar	Trimestral
Dispositivos de "backup"	Confirmar que os pacientes foram arquivados e recuperados	Trimestral
Informação Anatômica		
Transferência da TC	Documentar que os protocolos não foram alterados	Para cada plano individual
Geometria da TC e verificação das densidades	Conferir se a relação entre os números de TC e as densidades não foram alterados	Trimestral
Anatomia do Paciente	Garantir que a representação anatômica do paciente não foi mudada	Para cada plano individual
"Software"		
Revalidação dos Feixes	Averiguar a constância nos cálculos de dose	Semanalmente
UMs/tempo	Demonstrar que não houve alteração no cálculo de UM	Para cada plano individual
Detalhes do Plano	Analisar se houve algum tipo de alteração na impressão dos resultados do plano numa cópia impressa	Mensal
Transferência dos Dados do SPTC para a Máquinade Tratamento	Verificar se não houve modificação na transmissão de protocolos e dados para a máquina de tratamento	Mensal

2.6 ROTEIRO PARA CONTROLE INDIVIDUAL DO PACIENTE

A análise do plano individual do paciente tem por objetivo confirmar a consistência durante o planejamento, conferindo a relação UM/tempo, assim como, as manipulações dos dados específicos do paciente, sendo que essas são as verificações pré-tratamento. Deve-se monitorar também o andamento da liberação do tratamento e observar qualquer comportamento não usual. Para assegurar que o

tratamento está sendo realizado de forma adequada, sugere-se que dosimetria *in vivo* e *in vitro* sejam feitas com a maior frequência possível.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos testes realizados para a implementação do programa de controle de qualidade para o Eclipse 7.3.10® da Varian no Hospital das Clínicas de acordo com o TRS 430¹⁸.

3.1 RESULTADOS DOS TESTES DE ACEITAÇÃO DE ACORDO COM O TRS 430

A tabela 3-5 apresenta os resultados para os testes de aceitação do Eclipse, junto com as especificações fornecidas pelo fabricante, além da concordância entre os resultados obtidos e essas especificações.

Tabela 3- 5: Testes de Aceitação, Descrição e Resultados

	Teste	Especificações	Medidas	Concordância
“Hardware”	Memória CPU/ Operação do Disco	Processador 3 GHz, 3 GB RAM, Memória 170 GB.	Processador 3 GHz, 3 GB RAM, Memória 170 GB.	Ótima
	Mesa Digitalizadora	Funcionamento e escalas compatíveis com o sistema.	Funcionamento e escalas compatíveis com o sistema.	Ótima
	Dados de imagem (TC, RM)	Interface compatível com o sistema.	Interface compatível com o sistema.	Ótima
	Teclado, Mouse	Funcionamento adequado.	Funcionamento adequado.	Ótima
	Impressora	Funciona precisamente.	Funciona precisamente.	Ótima
	“janela de visualização” de DRRs e Acessórios.	Bom funcionamento e ausência de distorções.	Bom funcionamento praticamente sem distorções em análise qualitativa de distorções.	Ótima
	Arquivamento e “backup”	Funcionamento adequado.	Funcionamento adequado.	Ótima
Integração do Sistema de Rede	Conexões	Funcionamento adequado.	Funcionamento adequado.	Ótima
	Formato DICOM	Sistema suporta o formato e sempre mantém os protocolos.	Sistema suporta o formato e mantém os protocolos.	Ótima
Transferência dos Dados	Transferências manuais, por rede e/ou impressão.	Funcionamento adequado.	Funcionamento adequado.	Ótima

"Software"	Entradas de Dados da TC e descrição anatômica.	SPTC recebe corretamente imagens de TC e suas ferramentas editam essas imagens precisamente.	SPTC recebe corretamente imagens de TC, contorno interno e externo, e reconstrução do volume realizados com sucesso.	Ótima
	Descrição do Feixe, Cálculo de Dose de Fótons.	Funções técnicas do feixe funcionam, cálculo de doses de fótons adequados e acurados.	Funções técnicas do feixe funcionam corretamente, cálculo de doses de fótons adequado e acurado.	Ótima para Fótons
"Softwares" Complementares	Armazenamento das informações do Paciente.	Banco de Dados em um compartimento exclusivo fora do sistema.	Banco de Dados em um compartimento exclusivo fora do sistema.	Ótima
	"Software" de "backup" e impressão.	Funcionamento adequado.	Funcionamento adequado.	Ótima

A aceitação do Eclipse 7.3.10® da Varian foi realizada com sucesso, sendo que todos os testes apresentados pelo TRS 430 foram aplicados, e todos os resultados se mostraram de acordo com as especificações.

3.2 RESULTADOS DOS TESTES DE COMISSONAMENTO DE ACORDO COM O TRS 430

O Comissionamento constituiu a etapa mais longa do programa de Controle de Qualidade implementado para o Eclipse. No entanto, essa etapa foi cuidadosamente conduzida, com o fim de gerar valores de referências seguros e reprodutíveis para futuras comparações com os resultados dos testes periódicos. Nas próximas seções os resultados desses testes serão apresentados de forma detalhada.

3.2.1 RESULTADOS DOS TESTES DE COMISSONAMENTO PARA REPRESENTAÇÃO ANATÔMICA DO PACIENTE

a) Resultados dos Testes de Comissionamento para a Aquisição das Informações dos Pacientes

Teste de Aquisição 1: A aquisição do contorno por meio manual possui um protocolo bem estabelecido no HC. A aquisição é feita no simulador, sendo as informações de distâncias latero-laterais (DLLs), orientações em z, e tamanhos de campo, coerentes com as escalas e orientações da máquina de tratamento, e

devidamente transcritas na ficha de tratamento. Esta por sua vez, tem todos os campos necessários para uma caracterização adequada das informações do paciente e para os parâmetros do tratamento. O desenho do contorno é anexado ao prontuário do paciente e posteriormente é digitalizado e inserido no sistema de planejamento no caso da realização de planejamentos 3-D. No caso de planejamentos 2-D realizados manualmente o contorno serve como base para obtenção de parâmetros e medidas anatômicas.

Teste de Aquisição 2: No HC há também um protocolo bem estabelecido para obtenção de imagens de TC. Nesse caso, o posicionamento do paciente, a aquisição e transferência das imagens segue esse protocolo. As informações de caracterização do paciente além de serem estabelecidas no arquivo da imagem, são transcritas em um caderno de controle. Todos os acessórios da simulação são reproduzidos nas imagens de TC e anotados no caderno de controle.

b) Resultados dos Testes de Comissionamento para Entrada ou Transferência dos Dados Anatômicos

Teste de Entrada 1- Calibração do Digitalizador: Foram definidas algumas figuras geométricas com dimensões conhecidas em um pedaço de papel milimetrado (quadrados, círculos, etc.). Os contornos foram inseridos no SPTC. Com o auxílio das ferramentas de análise do Eclipse foram definidos pontos de interesse e contornos.

Foi observado que os pontos e os contornos foram salvos corretamente. Imprimiu-se o contorno na impressora do SPTC em uma escala 1:1; a figura impressa e o original digitalizado encontraram-se na mesma escala.

Teste de Entrada 2 - Entrada do Contorno Manual: A partir dos contornos medidos no teste de aquisição 1 e de dados de um objeto simulador com dimensões bem conhecidas (transferidos para papel milimetrado), foi realizada a comparação dos dados mostrados no SPTC após a inserção desses por meio da mesa digitalizadora com os dados originais do papel milimetrado. Foi verificado o formato do contorno além de alguns pontos de referência, sendo que a concordância visualmente foi excelente.

Teste de Entrada 3 - Aquisição de Dados por TC: Inserindo dados de imagem de TC do objeto simulador antropomórfico adquiridos durante a

realização do teste de aquisição 2, e de um objeto simulador que continha heterogeneidades conhecidas no SPTC, realizou-se um estudo qualitativo da imagem, onde se verificou que as orientações estavam corretas, e que a imagem não estava distorcida .

Teste de Entrada 4 - Ferramentas da TC no Sistema de Planejamento de Tratamento: Foram transferidos dados de imagem de objetos simuladores teste para o SPTC usando entradas digitais (CD_ROM, "network", etc.). Visualizou-se os dados da TC no SPTC. Foi verificado que os níveis de cinza e as densidades medidas na TC, são compatíveis com os medidos no SPTC.

Teste de Entrada 5 - Outras Modalidades de Imagem: No HC o único sistema de aquisição de imagem alternativo ao TC para a Radioterapia é a RM, e mesmo para a ressonância os dados de entrada não são utilizados no planejamento. Dessa forma, o estudo de imagens provenientes de ressonância magnética ficou restrito em um estudo qualitativo da imagem, onde confirmou-se que as orientações das imagens concordavam com o SPTC e que não ocorriam distorções das mesmas.

Teste de Entrada 6 - Banco de Dados do Paciente: Foi verificado que a identificação do paciente é única no banco de dados do sistema, sendo que as informações do paciente são mantidas de modo confidencial e de forma segura. Observou-se também que essas informações têm sua segurança e integrabilidade garantidas durante sua transferência para o SPTC.

De forma geral os testes para representação anatômica do paciente obtiveram resultados satisfatórios. Nos testes de entrada foi possível detectar uma limitação do sistema com relação número de imagens que podem ser recebidas a partir da TC. O sistema recebe de forma correta um número igual a 512 imagens, números maiores de imagens nem sempre são interpretados de forma correta pelo Eclipse, podendo ocorrer inversões de orientações. Portanto, sugere-se que sejam inseridos números menores do que 512 imagens por paciente, ou no caso da necessidade de utilizar um número maior, prestar atenção às orientações do paciente e utilizar as ferramentas do sistema para corrigir possíveis erros.

3.2.2 RESULTADOS DOS TESTES DE COMISSONAMENTO PARA MODELO ANATÔMICO DO PACIENTE

Teste Para Modelo Anatômico 1- Representação dos Contornos Sem Imagem: O contorno de um objeto simulador circular contendo heterogeneidades, foi transposto para um papel milimetrado. Feito isso o contorno foi inserido no Eclipse com o auxílio da mesa digitalizadora e então foi impresso e salvo em escala. Comparando-se os valores das dimensões visualizadas no contorno impresso com os valores das dimensões apresentadas na tela e no papel milimetrado, observou-se uma concordância excelente entre os valores.

Teste Para Modelo Anatômico 2 - Contorno Manual a partir da TC: Com o auxílio de imagens de TC do objeto simulador do teste anterior, foi realizado o contorno do objeto utilizando ferramentas de contorno manual. Foi verificado que essas ferramentas funcionam adequadamente e o contorno manual é gerado de forma satisfatória.

Teste Para Modelo Anatômico 3 - Contorno Automático: Utilizando o recurso de contorno automático para gerar contornos externos, e as imagens do objeto simulador dos testes anteriores, foi confirmado que as dimensões geradas pela ferramenta de contorno automático concordam com as dimensões das imagens e com as dimensões dos contornos desenhados manualmente. Aplicando o mesmo procedimento para contornos internos, foi novamente confirmada a concordância das medidas de localização e de forma com os valores conhecidos.

Teste Para Modelo Anatômico 4 - Editando Contornos: Diversos tipos diferentes de contornos foram editados para testar qualitativamente as ferramentas de edição do sistema. Verificou-se que as mudanças esperadas estão ocorrendo satisfatoriamente nas imagens modificadas e que o contorno resultante se dá de forma correta.

Teste Para Modelo Anatômico 5 - Gerando uma Descrição 3-D do Objeto: A partir de contornos axiais de diferentes formas foram gerados objetos 3-D. Cortes sagitais e coronais foram então obtidos a partir desses objetos. Confirmou-se a forma 3-D correta de cada objeto em todos os cortes.

Teste Para Modelo Anatômico 6 - Gerando Novos Contornos (a partir de Superfícies ou Interpolações): Utilizando as ferramentas de interpolação para gerar contornos automáticos, foram gerados contornos localizados entre cortes que já haviam sido previamente desenhados. Verificou-se que esses novos contornos apresentaram-se de forma apropriada.

Para gerar contornos automáticos é necessário apenas um cuidado no caso do Eclipse, pois antes de gerar os cortes é necessário estabelecer o número e o tamanho do espaçamento de planos onde se definirão os cortes. Quando o contorno é feito no último plano de corte o objeto resultante é apresentado com as bordas arredondadas, e a interpolação “fecha” o objeto simulador na metade do espaçamento entre o penúltimo e o último plano de corte. Então sugere-se que se definam 2 planos a mais do que o número de cortes desejado, para que assim o SPTC “feche” o objeto simulador no penúltimo plano de corte.

Teste Para Modelo Anatômico 7 - Expansão do Objeto: Desenhou-se um contorno com forma ovalada em três diferentes cortes, e construiu-se um objeto 3-D. Delimitou-se uma margem de 2 cm para a estrutura. Foram realizados cortes no objeto expandido e comparou-se os contornos resultantes com os contornos originais. Os contornos resultantes apresentavam exatamente dimensões 2 cm maiores do que os contornos iniciais. Quando se utilizam formas mais complexas a ferramenta de margem continua agindo de forma correta e acuradamente.

Teste Para Modelo Anatômico 8 - Criando Densidades para os Contornos Manuais: A partir de contornos manuais de um objeto simulador com dimensões conhecidas, inseridos através da mesa digitalizadora no SPTC, gerou-se um objeto 3-D, e foi confirmado que o SPTC gera uma densidade volumétrica para esse objeto.

Teste Para Modelo Anatômico 9 - Criando Densidades a partir do TC: Com imagens da objedo simulador circular (que contém heterogeneidades) obtidas no TC, foram utilizadas ferramentas do SPTC para verificar densidades das diferentes regiões do objeto simulador. Nesse caso, as densidades das heterogeneidades são fornecidas nas imagens de TC, e no SPTC foi utilizada a ferramenta indicativa de densidades. Foram obtidos excelentes concordâncias entre os dois valores de densidades.

Teste Para Modelo Anatômico 10 - Criando um Bolus Anatômico: Ainda com as imagens do objeto simulador circular, foi adicionado um bolus fora do contorno e foi verificado que as formas e densidades são corretamente apresentadas.

Teste Para Modelo Anatômico 11 - Edição das Densidades de TC: Foram contornadas as várias heterogeneidades das imagens do objeto simulador circular, e repassou-se a densidade apresentada pelo SPTC (compatíveis com as da TC), pela densidade teórica: ar_{SPTC} (-991 a -996), $ar_{teórica} = -1000$; tecido mole_{SPTC} (59 a 60), tecido mole_{teórica} = 0; osso_{SPTC} (1213 a 1263), osso_{teórica} = 1000. As densidades resultantes foram corretamente apresentadas.

Teste Para Modelo Anatômico 12 - Definindo Pontos, Linhas e Marcações: Para diversos contornos definiram-se pontos necessários e formas para criar situações que representassem um planejamento clínico. As ferramentas que definem pontos, linhas e outras marcações funcionaram de forma adequada. Utilizando outras ferramentas do SPTC foi confirmado que o objeto e as suas marcações são visualizados corretamente, e que os pontos se apresentam corretamente nas coordenadas 3-D.

Teste Para Modelo Anatômico 13 - Visualização de Imagem 2-D: Foi verificado visualmente que o comportamento da janela de visualização da imagem 2-D se apresenta de forma correta.

Teste Para Modelo Anatômico 14 - Ferramentas de Visualização de Imagem 2-D: Realizaram-se testes simples de funcionabilidade da janela de visualização, para a janela e para os níveis de cinza. Foi observado que as várias combinações de níveis de cinza das janelas resultam em uma visualização de um nível de cinza específico.

Teste Para Modelo Anatômico 15 - Visualização Tri-Dimensional e Ferramentas Associadas: Foi gerado um objeto 3-D com uma descrição bem construída, foram realizados testes simples da funcionabilidade da janela de visualização. Para cada modo de janela de visualização, foi confirmado que a visualização direta apresenta combinações corretas da perspectiva 3-D, imagens, e estrutura gráfica.

Teste Para Modelo Anatômico 16 - Ferramentas para a Manipulação de Dados Anatômicos: Para cada ferramenta de manipulação alterou-se a representação anatômica ou imagem do paciente. As capacidades das ferramentas e suas limitações estão documentadas em um manual prático de usuário fornecido pelo fabricante. Utilizando as ferramentas para funções específicas verificou-se que elas funcionavam de forma adequada e acurada.

Ferramentas testadas: Níveis de cinza de - 1000 HU a 1384 HU; zoom + e zoom -; "move image" (volta a imagem para a posição inicial); desenho: gera elipses, retângulos e possibilidade de desenho à mão livre; correção de contorno; "search body" localiza o contorno. Comparou-se os dados de imagem alterados com os originais e verificou-se que as ferramentas funcionaram de acordo com as especificações fornecidas pelo fabricante.

Teste Para Modelo Anatômico 17 - Ferramentas de Medições: Foram testadas as ferramentas de medições nas imagens de um objeto simulador que contém as estruturas de dimensões conhecidas.

Ferramentas testadas: régua de medida (diferença com o valor conhecido < 0,1 cm); medidor de ângulo (diferença com o valor conhecido < 0,1°); pixel/ Número de TC; medidor de área do pixel. Todas as ferramentas funcionaram adequadamente.

Teste Para Modelo Anatômico 18 - Sistema de Coordenadas Básico: Esse teste não foi realizado pois é específico para sistemas que são ligados automaticamente à máquina de tratamento (p.ex. sistemas de gerenciamento), e o HC não possui um sistema desse tipo.

Os testes para representação do modelo anatômico do paciente apresentaram resultados excelentes: as ferramentas de manipulação de contornos e imagens são auto-explicativas e funcionam de acordo com as especificações do fabricante fornecidas no manual do sistema. Estes testes servem também como base de treinamento para a manipulação do Eclipse, pois proporcionam uma compreensão completa das ferramentas de contornos e imagens e dos sistemas de coordenadas do SPTC.

3.2.3 RESULTADOS DOS TESTES DE COMISSONAMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DAS CAPACIDADES DA MÁQUINA E DO FEIXE

Teste de Feixe 1 – Descrição da Máquina e de suas Capacidades: Foram relacionados todos os parâmetros da máquina, e essas listas foram comparados com as informações contidas no banco de dados do SPTC.

Além disso, foi verificado tanto para os dados de máquina provenientes do Cadplan quanto para os dados de máquina provenientes do recomissionamento dos aceleradores os seguintes itens: parâmetros do feixe (máquina, modalidade e energia); geometria do feixe (localização do isocentro, posição da mesa, ângulo da mesa e do cabeçote, ângulo do colimador); definição do campo (distância da fonte ao colimador, montagem do colimador, definição de abertura, formas dos blocos, aplicadores de elétrons); filtros (nome, tipo, ângulo, limitações do tamanho de campo, orientações, limitações de acessório); normalizações (peso do feixe ou dose no ponto de normalização do feixe, normalização no plano).

Teste de Feixe 2 – Convenções e escalas da Máquina: Foram criados planos de tratamento que ilustram o uso de todos os parâmetros incluindo múltiplas posições no movimento de cada eixo. Verificou-se então que a direção e magnitude das coordenadas ocorrem corretamente. As informações do plano foram transferidas do SPTC para a máquina de tratamento via ficha de paciente, e verificou-se que a montagem de campo na máquina concordou com o que estava estabelecido no plano de tratamento.

Teste de Feixe 3 – Limitações dos parâmetros da Máquina: O Eclipse não permite a finalização de um plano com parâmetros físicos inapropriados. Nesses casos, o sistema apresenta uma mensagem de erro e não permite que o processo de planejamento dê continuidade.

Teste de Feixe 4 – Montagem do Colimador: Montaram-se os campos: Clinac 2100 C – 15 MV ($40 \times 40 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $10 \times 20 \text{ cm}^2$), Clinac 2100 C – 6 MV ($40 \times 40 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $20 \times 5 \text{ cm}^2$), Clinac 600 C – 6 MV ($40 \times 40 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $20 \times 5 \text{ cm}^2$). Foi observado que todos os tamanhos de campo e formas são representadas corretamente no corte transversal e BEV. Para os retângulos, girou-se o colimador em 90° e verificou-se que os campos apresentavam-se corretamente.

Teste de Feixe 5 - Campos Assimétricos: Foram montados os campos: Clinac 2100C – 15 MV ($X_1 = 20$ cm $X_2 = 3$ cm, $Y_1 = 20$ cm $Y_2 = 3$ cm – assimetrias extremas; $X_1 = 20$ cm $X_2 = 3$ cm, $Y_1 = 10$ cm $Y_2 = 5$ cm), Clinac 2100C – 6 MV ($X_1 = 20$ cm $X_2 = 3$ cm, $Y_1 = 20$ cm $Y_2 = 3$ cm – assimetrias extremas; $X_1 = 20$ cm $X_2 = 3$ cm, $Y_1 = 10$ cm $Y_2 = 5$ cm), Clinac 600C – 6 MV ($X_1 = 20$ cm $X_2 = 3$ cm, $Y_1 = 20$ cm $Y_2 = 3$ cm – assimetrias extremas; $X_1 = 20$ cm $X_2 = 3$ cm, $Y_1 = 10$ cm $Y_2 = 5$ cm). Verificou-se que todas as formas e os tamanhos de campos são representados corretamente no corte transversal e no BEV. Para cada campo girou-se o colimador em 90° e verificou-se que os campos mostram-se novamente corretos.

Teste de Feixe 6 – Definições e formas dos Blocos: Foram introduzidos blocos de formas regulares e geometria conhecida, verificou-se que os blocos são representados corretamente no corte transversal e BEV. Os blocos são salvos junto com o plano de tratamento e não é possível salvá-los em uma biblioteca separada.

Teste de Feixe 7 – Formas Automatizadas do Campo: Desenhou-se um volume alvo (denominado de PTV) com formato de uma caixa de tamanho $10,2 \times 10,2$ cm² a partir do desenho do corte de um quadrado, e fazendo cópias deste. Utilizando a função de automargem para feixe anterior, criou-se uma forma de feixe com 1 cm de margem ao redor do alvo. Foi confirmado que a margem mantém-se corretamente aplicada, repetiu-se o procedimento utilizando blocos e usando diferentes margens em direções ortogonais, em todos os casos a margem foi aplicada corretamente.

O procedimento acima foi repetido para um alvo irregular, incluindo uma região de concavidade, e nesse caso novamente a margem foi corretamente aplicada mantendo a dimensão de 1 cm.

Teste de Feixe 8 – Montagem do Feixe: Foi introduzido um campo isocêntrico de dimensões 10 cm x 10 cm na profundidade de 10 cm usando um objeto simulador teste de $30 \times 30 \times 30$ cm³. Verificou-se que o SSD é dado como o SAD menos 10 cm, e que o tamanho de campo na superfície é corretamente reduzido.

Adicionou-se um segundo feixe na mesma direção, mas definindo o campo no SSD, verificou-se que o campo se apresenta na superfície e que seu tamanho está correto. Moveu-se o feixe até a profundidade de 10 cm, verificou-se que o SPTC descreve esse caminho mantendo um comportamento adequado.

Teste de Feixe 9 – Localização do Feixe: Para o mesmo objeto simulador do teste anterior foi estabelecida a origem do sistema de coordenadas no SPTC como sendo o centro do objeto simulador. Foi inserido um feixe no isocentro e observou-se o posicionamento correto. O feixe foi movido varrendo cada eixo e verificou-se que as coordenadas dos pontos de varredura do feixe estão compatíveis com a origem definida no centro do objeto simulador.

Teste de Feixe 10 – Cabeçote, Colimador e Angulação da Mesa: Angulação do cabeçote: foi confirmado o direcionamento correto do feixe para os ângulos do cabeçote de um limite a outro. Observou-se as distribuições de doses, usando o objeto simulador quadrado dos testes anteriores, foi confirmado que a distribuição de dose para cada direção ocorre de forma adequada (análise visual). Os resultados para angulações da mesa e do colimador ocorreram também de forma adequada.

Teste de Feixe 11 – Arcos: Verificou-se que o início e o fim do arco se dão nos ângulos corretos definidos pelo usuário, e que o movimento do feixe se dá tanto na direção horária quanto na anti-horária. A velocidade do percurso se dá de forma satisfatória, ou seja, 1 UM/Grau.

Teste de Feixe 12 – Filtros: Selecionou-se cada filtro e cada direção de filtro e foi realizado um cálculo simplificado de dose onde foi confirmado que todos os filtros foram selecionados e que a visualização gráfica apresenta a forma correta de cada filtro. Foi confirmado também que a distribuição de dose considera o filtro. Observou-se que os filtros são rotacionados quando o colimador é girado e verificou-se que o sistema de planejamento não possibilita a inserção de campos não permitidos para certos tamanhos de filtros: campo 21 cm x 21 cm, nenhum filtro é aceito; campo 20 cm x 20 cm, todos os filtros são aceitos com exceção do filtro de 60°; campo 16 cm x 16 cm todos os filtros são aceitos com exceção do filtro de 60°; campo 15 cm x 15 cm todos os filtros são aceitos.

Teste de Feixe 13 – Compensadores: Compensadores não são utilizados no HC.

Teste de Feixe 14 – Aplicadores de Elétrons: Foram selecionados todos os aplicadores de elétrons e verificou-se que eles são visualizados corretamente. Observou-se também que o SPTC não permite casos nos quais a abertura do campo é maior do que a do aplicador, e valores de SSD nas quais o aplicador colidiria com o paciente.

Teste de Feixe 15 – Bolus: Foram desenhados bolus de 2 cm, 0.5 cm, 5 cm e 1 cm. Verificou-se que a função de Bolus funciona como o esperado, ou seja, foi confirmado que o Eclipse cria, visualiza, edita, modifica e remove um bolus.

Teste de Feixe 16 – Visualização do feixe em planos axiais: Utilizando imagens do objeto simulador antropomórfico masculino, posicionou-se um tamanho de campo de 10 cm x 10 cm no isocentro em um corte particular, com as angulações de cabeçote e colimador igual a 0°. Foi visualizada a indicação do raio central e tamanho de campo na janela de visualização.

Teste de Feixe 17 – Visualização do Feixe em planos não axiais: Com o auxílio das mesmas imagens de TC e feixes do teste anterior, foi verificada a saída do feixe em um corte sagital através do centro do feixe e em um corte coronal a 5 cm antes do isocentro, em ambos os casos a visualização do feixe se deu de forma adequada. O cabeçote foi rotacionado de 90° e observou-se novamente que o comportamento do feixe foi apresentado corretamente.

Teste de Feixe 18 – Visualização de feixes tri-dimensionais: Ainda utilizando as mesmas imagens de TC e feixes dos testes anteriores, foi confirmada a representação correta de uma visualização 3-D do feixe. O feixe foi rotacionado em várias direções, foi observado o comportamento da ferramenta de zoom, e foi verificado que a relação entre o feixe e a anatomia do paciente não varia.

Teste de Feixe 19 – BEV para o feixe e Anatomia: A partir de imagens de TC do objeto simulador antropomórfico masculino e inserindo um feixe cujo tamanho de campo era 10 cm x 10 cm, foi realizado um estudo do BEV; foi observado que essa ferramenta do sistema se apresenta de forma adequada e de acordo com as especificações do fabricante. A posição do feixe foi movimentada e

verificou-se que a visualização foi modificada apropriadamente.

Teste de Feixe 20 – DRR cálculo e Visualização: Foi confirmado que essa ferramenta funciona de forma apropriada, e as DRRs são corretamente calculadas e geradas.

Teste de Feixe 21 – Múltiplos feixes com o mesmo isocentro: Foi montado um plano de feixes múltiplos e marcaram-se alguns deles com o mesmo isocentro. O isocentro de um dos feixes marcados foi movimentado e observou-se que todos os feixes marcados se movem enquanto os não marcados não. Foi movimentado então o isocentro de um feixe não marcado e verificou-se que só ele se move.

Teste de Feixe 22 - Campos: Os centros de 2 campos simétricos 10 cm x 10 cm foram posicionados com 1 cm de GAP (espaço entre os campos). Foi verificado que os feixes se interseccionavam na profundidade de 10 cm, ou seja, mantiveram o seu comportamento de forma adequada. Com outros tamanhos de campo também foi observado que todos os pontos de intersecção se movimentam conforme o esperado.

Dois feixes foram posicionados com o isocentro comum, criando assim um par complementar de feixes adjacentes; verificou-se que as extremidades dos feixes adjacentes eram coincidentes.

Os testes para caracterização das capacidades máquina e do feixe obtiveram também ótimos resultados. Nesses testes foi possível verificar que o SPTC não permite procedimentos com inconsistências físicas, sendo que uma mensagem de erro aparece em qualquer tentativa de procedimentos desse tipo (e.g. campos maiores que os aplicadores de elétrons). Esse tipo de resposta do sistema é muito relevante para evitar erros, e tornou-se mais comum nos SPTCs atuais depois dos diversos relatos de acidentes devido às más-interpretações de procedimentos dos SPTCs.

O Eclipse representa e visualiza corretamente os feixes, as diversas situações de planejamento podem ser acuradamente simuladas e observadas, e novamente as ferramentas do sistema estavam de acordo com as especificações do fabricante.

3.2.4 RESULTADOS DOS TESTES DE COMISSONAMENTO PARA FEIXES DE FÓTONS

a) Testes Não Dosimétricos de Feixes de Fótons

Estes testes analisaram as capacidades dos parâmetros dos feixes de fótons de forma qualitativa através da observação da apresentação correta dos feixes pelo sistema de planejamento. Estes testes foram enunciados na seção 2.4.4, e correspondem aos testes de fótons 4, 5, e 6. Os resultados estão apresentados abaixo:

Teste de Fótons 4 – Feixes Angulados: Foi verificado que as distribuições de dose ocorrem de forma adequada para diversas ângulações do cabeçote. Calculou-se a dose para algumas direções de feixe, e foi confirmado que o algoritmo de cálculo desempenha adequadamente essa tarefa.

Teste de Fótons 5 – Rotações de Arcos 2-D: Foram realizados cálculos de UM/tempo para um arco de 90°; esses resultados foram comparados com cálculos manuais e a concordância obtida foi excelente. Além disso, foi averiguado que a distribuição de dose baseada na adição de um número apropriado de campos fixos tipicamente de 10° ocorre de forma apropriada.

Teste de Fótons 6 – Fonte para SSD : Para as maiores e menores SSDs usadas clinicamente, verificou-se a auto-consistência de divergência, correção do inverso do quadrado da distância, e perfis de campos.

b) Testes Dosimétricos de Feixes de Fótons

Os testes dosimétricos visam comparar a dose gerada pelo sistema de planejamento com as doses medidas experimentalmente. Para tanto, diversos arranjos foram montados considerando situações de referência e fora de referência, e a dose foi medida em determinadas profundidades. Para a maioria dos experimentos foi utilizada uma SSD de 100 cm e aplicada uma dose de 50 UM , sendo que em alguns casos aplicou-se uma dose de 100 UM. O valor da taxa de dose foi de 320 UM/min.

Foram realizadas duas leituras de dose para cada medida, sendo que a média das leituras foi o valor de dose utilizado para efetuar a comparação. A verificação de compatibilidade entre os valores experimentais e calculados pelo

SPTC, seguiram os níveis de tolerância apresentados na tabela 2-2.

Como já citado anteriormente, a incerteza global dosimétrica não ultrapassa a 1,5%²⁴, e a incerteza de cálculo do sistema de planejamento é menor do que 1%⁸. Assim sendo, os níveis de tolerância apresentados na tabela 2-2 já englobam essas duas incertezas, possibilitando uma comparação direta entre os valores de dose experimental e o valor calculado sem a necessidade de um levantamento estatístico detalhado, onde os erros de leitura de dose somados aos erros provenientes do desvio padrão de medidas, são analisados. O TRS 430 garante que os níveis de tolerância apresentados, contêm as incertezas provenientes desses erros estatísticos para as diversas regiões de feixe, e das incertezas do cálculo do sistema de planejamento, assegurando a garantia da qualidade a partir da comparação direta, sem a necessidade de levantamentos dos erros estatísticos que em medidas dosimétricas em serviços de radioterapia demandariam um tempo excessivo.

A leitura das medidas nos aceleradores é realizada com o auxílio de um conjunto câmara de ionização e eletrômetro que apresenta o resultado da medida em nC. Logo deve-se expressar essa leitura para valores de dose absoluta em cGy, e isso pode ser feito a partir da equação 8:

$$D = L \times \phi(p, T) \times K_{q, q_0} \times N_{Dw} \quad (8)^{26}$$

sendo que:

L é a média das leituras em nC;

$\Phi_{p, T}$ é o fator de correção para temperatura e pressão e é definido por:

$$\phi(p, T) = ((273,2 + T) / 293,2) \times 1010,3 / p \quad (9)$$

p é a pressão ambiente no momento das medidas em mbar;

T é a temperatura da água do objeto simulador no momento das medidas em °C;

k_{q, q_0} é um fator que corrige a diferença para as qualidades dos feixes e é adimensional;

N_{Dw} é o fator de calibração da Câmara de Ionização, que no caso das câmaras do HC foi estabelecido pelo Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN e é dado em mGy/nC.

Serão apresentados os resultados para feixes de fótons dos dois aceleradores lineares, Clinac 600C – 6 MV e Clinac 2100C – 6 MV e 15 MV. Como os testes foram realizados para os dados de máquina provenientes do Cadplan (máquina velha) e para os dados provenientes do recomissionamento dos aceleradores (máquina nova), ambos os resultados serão aqui apresentados.

Os dados de caracterização do feixe de 6 MV na máquina antiga são os mesmos para os dois aceleradores, por isso o feixe foi “unificado” naquele caso, apesar do Eclipse pedir para inserir máquinas distintas no momento da realização do planejamento, para a máquina antiga o feixe de 6MV do 600C e do 2100C constituem o mesmo feixe. Portanto, nesse caso os testes foram realizados comparando-se medidas realizadas no 2100C, com o feixe único. No caso das máquinas novas, medidas foram realizadas para os dois acelerados para as três energias e comparadas com os três feixes agora distintos no SPTC.

Os resultados dos testes dosimétricos, para todos os feixes contidos no Eclipse, como enunciados na seção 2.4.4 estão apresentados a seguir, sendo que o teste 8 (incidência oblíqua) foi estendido para outros tamanhos de campo e outras angulações do cabeçote e está contido no teste 1 (campos quadrados e retangulares).

b- 1) RESULTADOS DOS TESTES DOSIMÉTRICOS PARA A MÁQUINA ANTIGA – 2100C/600C – 6 MV

Teste de Fótons 1 - Campos Quadrados e Retangulares

As tabelas 3-6 e 3-7 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares respectivamente. Nestas tabelas são apresentados os tamanhos de campo, a profundidade de medição, a medida (que representa a média de duas medidas que foram realizadas), a dose absoluta determinada pela equação 8, a dose gerada pelo SPTC nas mesmas condições que na experiência anterior, a diferença percentual determinada pela equação 7, o critério de aceitabilidade proposto pelo TRS 430 como apresentado na tabela 2-2, e a concordância entre os valores experimentais e gerados pelo SPTC, ou seja, se a diferença percentual apresenta valores menores do que o critério de aceitabilidade.

Todas as tabelas referentes aos testes dosimétricos apresentam essas

grandezas, e as tabelas dos testes de campos quadrados e retangulares angulados e campos quadrados e retangulares angulados e "off-axis" apresentam ainda a transmissão do colimador e a dose final que considera essa transmissão.

Nesses casos, o ponto onde foram efetuadas as medidas encontrava-se fora dos limites do campo de radiação e por isso a transmissão de radiação por entre as lâminas do colimador poderia se tornar significativa nas leituras de dose. Dessa forma, foram realizadas medidas da quantidade de radiação através das lâminas do colimador para os aceleradores do HC, a fim de considerar essa transmissão nos casos de medidas fora dos limites do campo.

Para medir a transmissão do colimador foram feitas inicialmente medidas de radiação quando se fecha completamente a lâmina X, e então realizou-se o mesmo procedimento porém agora fechando-se completamente a lâmina Y, e por fim realizou-se medidas com as duas lâminas fechadas.

Para os dois primeiros arranjos obteve-se que a transmissão do colimador era de 0,4% do valor da dose distribuída, e no último caso não se observou nenhum valor de transmissão. Portanto, nos casos de pontos fora dos limites do campo foi calculada a transmissão como sendo $0,004 \cdot D_{abs}$, e a Dose final foi obtida somando-se a D_{SPTC} ao valor encontrado para a transmissão do colimador. Ambos os valores de dose (D_{abs} e Dose final) foram submetidos à análise dos critérios de aceitabilidade.

Campos Quadrados

Tabela 3-6: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5 x 5	10	5,04 ± 0,01	30,15	29,60	1,80	≤ 2%	Sim
10 x 10	10	5,64 ± 0,01	33,73	33,10	1,80	≤ 2%	Sim
20 x 20	10	6,21 ± 0,01	37,12	36,80	0,87	≤ 2%	Sim
26 x 26	10	6,39 ± 0,01	38,21	37,90	0,82	≤ 2%	Sim
10 x 10	20	3,25 ± 0,01	19,41	19,80	2,02	≤ 2%	Sim
24 x 24	20	3,91 ± 0,01	23,38	23,50	0,49	≤ 2%	Sim

Campos Retangulares

Tabela 3-7: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Dose		Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância	
		Média ± σ (nC)	Absoluta (cGy)				Dose SPTC (cGy)
5 x 26	10	5,51 ± 0,01	32,96	32,30	2,01	≤ 2%	Sim
26 x 5	10	5,39 ± 0,01	32,23	31,80	1,35	≤ 2%	Sim
5 x 24	20	3,08 ± 0,01	18,38	18,20	1,01	≤ 2%	Sim
24 x 5	20	3,13 ± 0,01	18,74	18,00	3,95	≤ 2%	Não

Na literatura²⁷ é definido um critério de análise para estudos onde há um número razoável de medidas nas diversas regiões de feixes. Nesses casos é definido um parâmetro denominado limite de confiabilidade (Δ), e é descrito como sendo: $\Delta = |\text{desvio da média}| + 1,5 * (\text{desvio padrão})$. Para esse tipo de análise, o nível de concordância ideal é quando o limite de confiabilidade (Δ) está dentro dos critérios estabelecidos na tabela 2-2.

Mas isso só se faz necessário quando menos do 95% dos resultados dos pontos por região do feixe estejam dentro dos critérios de aceitabilidade. No entanto, esse método também prevê que um número grande de medições sejam realizadas.

A partir das tabelas acima observou-se que os testes para campos quadrados e retangulares apresentaram 90% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, dessa forma seria interessante a realização de um número maior de medidas por região e profundidade para a submissão dos dados à análise pelo método de Δ .

Porém para a implementação de um programa completo de controle de qualidade, seguindo todas as etapas desde a aceitação do sistema até a elaboração dos testes de controle periódico torna-se impraticável a realização de um número maior de medidas, sendo que neste trabalho optou-se pela realização dos testes da forma como foram apresentados nas tabelas a seguir. Decidiu-se também por uma análise investigativa com o intuito de verificar discordâncias grosseiras que colocariam em risco a segurança do resultado do planejamento, além de

documentar as principais situações em que ocorrem as maiores diferenças, para que assim os físicos responsáveis pelo planejamento tenham mais cautela na realização de planejamentos onde os pontos de distribuição de dose se localizem em regiões críticas, em que as discordâncias entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC sejam muito grandes.

Dessa maneira, nesse trabalho foi utilizado um critério mais flexível do que a presença de 95% dos pontos dentro dos níveis de tolerância, e as decisões de compatibilidade foram determinadas por região do feixe e pelo bom senso. Assim sendo, será considerada uma concordância muito boa a presença de 90% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, para esses casos de campos quadrados e retangulares no raio central.

As tabelas 3-8 e 3-9 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares “off- axis” respectivamente.

Campos Quadrados “Off- Axis”

Tabela 3- 8: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados “off- axis” para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundi- dade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabili- dade	Concordância
0,5	5 x 5	10	5,03 \pm 0,01	30,06	29,60	1,54	$\leq 3\%$	Sim
	10 x 10	10	5,64 \pm 0,01	33,71	33,30	1,22	$\leq 3\%$	Sim
	20 x 20	10	6,20 \pm 0,02	37,07	36,50	1,53	$\leq 3\%$	Sim
1	5 x 5	10	5,02 \pm 0,01	30,01	29,60	1,37	$\leq 3\%$	Sim
	10 x 10	10	5,65 \pm 0,01	33,79	33,30	1,46	$\leq 3\%$	Sim
	20 x 20	10	6,23 \pm 0,01	37,21	36,90	0,84	$\leq 3\%$	Sim
1,5	5 x 5	10	4,97 \pm 0,01	29,74	29,20	1,83	$\leq 3\%$	Sim
	10 x 10	10	5,66 \pm 0,01	33,82	33,30	1,56	$\leq 3\%$	Sim
	20 x 20	10	6,23 \pm 0,01	37,26	36,90	0,96	$\leq 3\%$	Sim

Campos Retangulares "Off-Axis"

Tabela 3-9: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares "off-axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5 x 26	10	5,51 \pm 0,01	32,94	32,20	2,25	\leq 3%	Sim
	26 x 5	10	5,39 \pm 0,01	32,23	31,70	1,70	\leq 3%	Sim
1	5 x 26	10	5,48 \pm 0,01	32,73	32,00	2,23	\leq 3%	Sim
	26 x 5	10	5,39 \pm 0,01	32,24	31,80	1,37	\leq 3%	Sim
1,5	5 x 26	10	5,41 \pm 0,01	32,32	31,50	2,53	\leq 3%	Sim
	26 x 5	10	5,42 \pm 0,01	32,38	31,80	1,80	\leq 3%	Sim

Os testes de campos quadrados e retangulares "off-axis" apresentaram 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, isso mostra uma excelente concordância entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC.

As tabelas 3-10(a), 3-10(b) e 3-11(a), 3-11(b) apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares angulados.

Campos Quadrados Angulados

Tabela 3-10(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
30°	5 x 5	10	0,19 \pm 0,01	1,12	0,80	28,75	\leq 30%	Sim
	10 x 10	10	4,99 \pm 0,01	29,81	28,30	5,09	\leq 30%	Sim
	20 x 20	10	6,10 \pm 0,01	36,46	36,40	0,18	\leq 30%	Sim
45°	5 x 5	10	0,08 \pm 0,01	0,51	0,40	20,91	\leq 30%	Sim
	10 x 10	10	0,44 \pm 0,01	2,63	2,20	16,39	\leq 30%	Sim
	20 x 20	10	5,68 \pm 0,01	33,97	35,70	5,08	\leq 30%	Sim
60°	5 x 5	10	0,05 \pm 0,01	0,29	0,30	2,99	\leq 30%	Sim
	10 x 10	10	0,23 \pm 0,01	1,38	1,40	1,63	\leq 30%	Sim
	20 x 20	10	4,50 \pm 0,01	26,90	30,50	13,39	\leq 30%	Sim

Tabela 3-10(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C, considerando a transmissão do colimador

Cabeço te	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
30°	5 x 5	10	0,005	0,805	28,12	Sim
	10 x 10	10	0,119	28,419	4,67	Sim
	20 x 20	10	0,146	36,546	0,23	Sim
45°	5 x 5	10	0,002	0,402	21,17	Sim
	10 x 10	10	0,011	2,211	15,93	Sim
	20 x 20	10	0,136	35,836	5,49	Sim
60°	5 x 5	10	0,001	0,301	3,79	Sim
	10 x 10	10	0,005	1,405	1,81	Sim
	20 x 20	10	0,108	30,608	13,78	Sim

Campos Retangulares Angulados

Tabela 3-11(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

Cabeço te	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
30°	5 x 26	10	0,41 ± 0,01	2,43	1,80	25,81	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	5,37 ± 0,01	31,84	31,60	0,75	≤ 30%	Sim
45°	5 x 26	10	0,21 ± 0,01	1,28	1,20	6,31	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	5,02 ± 0,01	29,99	30,40	1,36	≤ 30%	Sim
60°	5 x 26	10	0,13 ± 0,01	0,80	1,00	24,81	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	4,01 ± 0,01	23,99	26,60	10,89	≤ 30%	Sim

Tabela 3-11(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C, considerando a transmissão do colimador

Cabeço te	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
30°	5 x 26	10	0,010	1,810	25,51	Sim
	26 x 5	10	0,127	31,727	0,35	Sim
45°	5 x 26	10	0,005	1,205	5,86	Sim
	26 x 5	10	0,120	30,520	1,77	Sim
60°	5 x 26	10	0,003	1,003	25,37	Sim
	26 x 5	10	0,960	26,560	10,71	Sim

Os testes de campos quadrados e retangulares angulados apresentaram 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, mostrando novamente uma excelente concordância entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC. A transmissão do colimador não alterou significativamente o resultado da diferença percentual.

As tabelas 3-12(a), 3-12 (b) e 3-13(a),3-13(b) apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares angulados e “off-axis”.

Campos Quadrados Angulados e “Off- Axis”

Tabela 3-12(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados e “off- axis” para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	30°	5 x 5	10	0,23 \pm 0,01	1,40	0,60	57,35	$\leq 40\%$	Não
	45°	10 x 10	10	5,19 \pm 0,01	4,02	1,80	55,22	$\leq 40\%$	Não
	60°	20 x 20	10	6,06 \pm 0,01	36,22	30,20	16,63	$\leq 40\%$	Sim
1	30°	5 x 5	10	0,11 \pm 0,01	0,66	0,50	24,29	$\leq 40\%$	Sim
	45°	10 x 10	10	0,65 \pm 0,01	3,87	1,60	58,65	$\leq 40\%$	Não
	60°	20 x 20	10	5,65 \pm 0,01	33,75	30,10	10,82	$\leq 40\%$	Sim
1,5	30°	5 x 5	10	0,06 \pm 0,01	0,36	0,50	38,03	$\leq 40\%$	Sim
	45°	10 x 10	10	0,31 \pm 0,01	1,83	1,40	23,80	$\leq 40\%$	Sim
	60°	20 x 20	10	4,46 \pm 0,01	26,68	30,10	12,81	$\leq 40\%$	Sim

Tabela 3-12(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados e “off- axis” para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C, considerando a transmissão do colimador

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004 * D_{abs})	Dose final (cGy) ($D_{\text{SPTC}} + \text{Trans. Col.}$)	Diferença %	Concordância
0,5	30°	5 x 5	10	0,006	0,606	56,61	Não
	45°	10 x 10	10	0,016	1,816	54,83	Não
	60°	20 x 20	10	0,145	30,345	16,22	Sim
1	30°	5 x 5	10	0,003	0,503	23,79	Sim
	45°	10 x 10	10	0,008	1,615	58,27	Não
	60°	20 x 20	10	0,015	30,235	10,41	Sim
1,5	30°	5 x 5	10	0,135	0,501	39,17	Sim
	45°	10 x 10	10	0,001	1,407	23,11	Sim
	60°	20 x 20	10	0,110	30,207	13,22	Sim

Campos Retangulares Angulados e "Off-Axis"

Tabela 3-13(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados e "off-axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

$d_{\text{off-axis}}^{\text{cm}}$	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	30°	5 x 26	10	0,48 \pm 0,01	2,86	1,50	47,68	\leq 40%	Não
	45°	26 x 5	10	5,28 \pm 0,01	31,58	30,70	2,81	\leq 40%	Sim
1	30°	5 x 26	10	0,27 \pm 0,01	1,59	1,40	12,03	\leq 40%	Sim
	45°	26 x 5	10	4,94 \pm 0,01	29,52	30,90	4,66	\leq 40%	Sim
1,5	30°	5 x 26	10	0,16 \pm 0,01	0,98	1,20	21,32	\leq 40%	Sim
	45°	26 x 5	10	3,90 \pm 0,01	23,33	31,20	33,70	\leq 40%	Sim

Tabela 3-13(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados e "off-axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C, considerando a transmissão do colimador

$d_{\text{off-axis}}^{\text{cm}}$	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004 * D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
0,5	30°	5 x 26	10	0,011	1,511	47,17	Não
	45°	26 x 5	10	0,126	30,826	2,39	Sim
1	30°	5 x 26	10	0,006	1,406	11,57	Sim
	45°	26 x 5	10	0,118	31,018	5,07	Sim
1,5	30°	5 x 26	10	0,004	1,204	21,86	Sim
	45°	26 x 5	10	0,093	31,293	34,13	Sim

Os testes de campos quadrados e retangulares angulados e "off-axis" apresentaram cerca de 73% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, representando uma concordância razoável entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC, levando-se em conta a quantidade restrita de medidas e a maior complexidade do arranjo experimental. Além do mais, os dados da máquina antiga são provenientes do Cadplan, e não se sabe com exatidão a procedência dos dados que foram inseridos nesse sistema. Dessa forma, é esperado que em condições que se afastem das condições de referência os valores gerados pelo Eclipse e medidos se distanciem uns dos outros.

Teste de Fótons 2 - Campos Assimétricos

As tabelas 3-14 e 3-15 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos e campos assimétricos com filtros.

Campos Assimétricos

Tabela 3-14: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade de	Concordância
X1 = 5, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	2,19 ± 0,01	13,13	15,10	14,96	≤ 3%	Não
X1 = 5, X2 = 0, Y1 = 5, Y2 = 0	10	3,01 ± 0,01	17,97	17,20	4,33	≤ 3%	Não
X1 = 5, X2 = 2,5, Y1 = 2,5, Y2 = 5	10	5,29 ± 0,01	31,65	31,30	1,11	≤ 3%	Sim
X1 = 0, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	1,12 ± 0,01	6,68	6,50	2,72	≤ 3%	Sim

Campos Assimétricos com Filtros - 60°R

Tabela 3-15: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos com filtros para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade de	Concordância
X1 = 5, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	0,90 ± 0,01	5,38	6,20	15,11	≤ 4%	Não
X1 = 5, X2 = 0, Y1 = 5, Y2 = 5	10	1,27 ± 0,01	7,62	7,50	1,60	≤ 4%	Sim
X1 = 5, X2 = 2,5, Y1 = 2,5, Y2 = 5	10	2,17 ± 0,01	12,97	12,90	0,59	≤ 4%	Sim
X1 = 0, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	0,44 ± 0,01	2,61	2,50	4,33	≤ 4%	Não

Os testes de campos assimétricos apresentaram 50% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, ou seja, uma concordância baixa entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC, mesmo considerando novamente a quantidade restrita de medidas e a maior complexidade do arranjo experimental. No entanto, é importante ressaltar que o X=0 e Y=0, não são bons campos a serem escolhidos pois o ponto de medição pode ficar na região onde não se tem feixe de radiação ou na borda do campo, e nesse caso as incertezas das medidas são bem maiores, assim como os critérios de tolerância. Na maioria das medidas da Máquina Nova utilizou-se X=1 e Y=1 na tentativa de corrigir essa situação.

Teste de Fótons 3 - Formato dos Campos

A tabela 3-16 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para campos com formatos complexos. Campo1 – figura 13 (cap. 2, seção 2.4.4), Campo 2 – figura 14 (cap. 2, seção 2.4.4), Campo 3 – figura 15 (cap. 2, seção 2.4.4), e Campo 4 – figura 16 (cap. 2, seção 2.4.4). Essa correspondência de campos e figuras é válida para todos os testes dosimétricos.

Tabela 3-16: Resultados dos testes dosimétricos para campos complexos para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

<i>Campo</i>	<i>Tamanhos (cm²)</i>	<i>Profundidade de (cm)</i>	<i>Média ± σ (nC)</i>	<i>Dose Absoluta (cGy)</i>	<i>Dose SPTC (cGy)</i>	<i>Diferença %</i>	<i>Critério Aceitabilidade</i>	<i>Concordância</i>
Campo1 (bloco corda no raio central)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	$0,62 \pm 0,01$	3,74	3,50	6,42	$\leq 15\%$	Sim
		10	$0,81 \pm 0,01$	4,87	4,20	13,85	$\leq 15\%$	Sim
		20	$1,49 \pm 0,01$	9,01	8,20	9,04	$\leq 15\%$	Sim
Campo2 (4 blocos laterais, 1/2 corda)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	$8,29 \pm 0,01$	49,92	49,30	1,24	$\leq 15\%$	Sim
		10	$5,68 \pm 0,01$	34,14	34,50	1,03	$\leq 15\%$	Sim
		20	$3,41 \pm 0,01$	20,49	20,80	1,50	$\leq 15\%$	Sim
Campo3 (côncavo)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	$0,51 \pm 0,01$	3,10	1,80	41,97	$\leq 15\%$	Não
		10	$0,56 \pm 0,01$	3,38	3,70	9,29	$\leq 15\%$	Sim
		20	$0,49 \pm 0,01$	2,94	3,50	18,88	$\leq 15\%$	Não
Campo4 (convexo)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	$0,91 \pm 0,01$	5,52	6,10	10,49	$\leq 15\%$	Sim
		10	$0,95 \pm 0,01$	5,69	5,80	1,91	$\leq 15\%$	Sim
		20	$0,71 \pm 0,01$	4,27	4,10	4,10	$\leq 15\%$	Sim

Os testes de campos complexos apresentaram cerca de 83% dos resultados dentro dos níveis de tolerância. Esses testes incluem condições mais complexas e por isso diferenças são bastante esperadas. Logo, através dos resultados mostrados anteriormente verificou-se uma boa concordância entre os valores experimentais e os valores provenientes do SPTC.

Teste de Fótons 7 - Filtros Manuais

As tabelas 3-17 e 3-18 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos com filtros 60°R e 60°L.

*Direção do Filtro - 60°R***Tabela 3- 17:** Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	d _{máx} = 1,5	3,13 ± 0,01	18,63	18,80	0,86	≤ 10%	Sim
10x10	d _{máx} = 1,5	3,32 ± 0,01	19,79	19,90	0,51	≤ 10%	Sim
15x28	d _{máx} = 1,5	3,59 ± 0,01	21,42	20,40	4,80	≤ 10%	Sim
5x5	10	2,06 ± 0,01	12,30	12,10	1,66	≤ 3%	Sim
10x10	10	2,31 ± 0,01	13,75	13,50	1,83	≤ 3%	Sim
15x28	10	2,58 ± 0,01	15,39	15,20	1,29	≤ 3%	Sim

*Direção perpendicular ao Filtro - 60° L***Tabela 3- 18:** Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	d _{máx} = 1,5	3,16 ± 0,01	18,83	18,80	0,20	≤ 10%	Sim
10x10	d _{máx} = 1,5	3,36 ± 0,01	20,02	19,90	0,60	≤ 10%	Sim
15x28	d _{máx} = 1,5	3,63 ± 0,01	21,64	20,50	5,27	≤ 10%	Sim
5x5	10	2,08 ± 0,01	12,40	12,10	2,48	≤ 3%	Sim
10x10	10	2,32 ± 0,01	13,81	13,40	3,0	≤ 3%	Sim
15x28	10	2,59 ± 0,01	15,46	15,20	1,71	≤ 3%	Sim

Os testes de campos com filtros apresentaram 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, representando uma concordância excelente entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC.

As tabelas 3- 19 e 3- 20 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos com filtros 60°R e 60°L e “off- axis”.

*Direção do Filtro - 60°R – “Off- Axis”***Tabela 3- 19:** Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Antiga: 6MV – 2100C/600C

d ^{off-axis} (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5x5	d _{máx} = 1,5	3,01 ± 0,01	17,92	18,10	0,95	≤ 15%	Sim
	10x10	d _{máx} = 1,5	3,20 ± 0,01	19,08	19,20	0,58	≤ 15%	Sim
	15x28	d _{máx} = 1,5	3,47 ± 0,01	20,70	19,60	5,32	≤ 15%	Sim

1	5x5	10	1,99 ± 0,01	11,89	11,60	2,49	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,23 ± 0,01	13,30	13,00	2,31	≤ 4%	Sim
	15x28	10	2,49 ± 0,01	14,88	14,50	2,60	≤ 4%	Sim
	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	2,89 ± 0,01	17,24	17,20	0,27	≤ 15%	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	6,09 ± 0,01	36,27	36,80	1,43	≤ 15%	Sim
	15 x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,35 ± 0,01	19,99	18,80	5,98	≤ 15%	Sim
	5x5	10	1,93 ± 0,01	11,50	11,20	2,61	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,16 ± 0,01	12,89	12,60	2,28	≤ 4%	Sim
	15x28	10	2,42 ± 0,01	14,44	14,00	3,07	≤ 4%	Sim
1,5	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	2,78 ± 0,01	16,54	16,70	0,92	≤ 15%	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	2,98 ± 0,01	17,73	17,80	0,37	≤ 15%	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,24 ± 0,01	19,28	18,10	6,14	≤ 15%	Sim
	5x5	10	1,85 ± 0,01	11,01	10,60	3,77	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,09 ± 0,01	12,43	12,10	2,72	≤ 4%	Sim
	15x28	10	2,35 ± 0,01	13,98	13,50	3,48	≤ 4%	Sim

Direção perpendicular ao Filtro - 60° L - "Off-Axis"

Tabela 3- 20: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L e "off- axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

$d^{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,24 ± 0,01	19,32	19,50	0,89	≤ 15%	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,45 ± 0,01	20,53	20,40	0,67	≤ 15%	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,74 ± 0,01	22,26	21,10	5,21	≤ 15%	Sim
	5x5	10	2,14 ± 0,01	12,73	12,50	1,80	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,39 ± 0,01	14,25	14,00	1,79	≤ 4%	Sim
	15x28	10	2,67 ± 0,01	15,90	15,60	1,92	≤ 4%	Sim
1	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,35 ± 0,01	19,99	20,10	0,53	≤ 15%	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,58 ± 0,01	21,31	21,50	0,85	≤ 15%	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,87 ± 0,01	23,04	22,10	4,11	≤ 15%	Sim
	5x5	10	2,19 ± 0,01	13,06	12,70	2,76	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,76 ± 0,01	16,44	14,40	12,45	≤ 4%	Não
	15x28	10	2,46 ± 0,01	14,68	16,30	10,99	≤ 4%	Não
1,5	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,46 ± 0,01	20,63	20,50	0,65	≤ 15%	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,72 ± 0,01	22,15	22,30	0,67	≤ 15%	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	4,01 ± 0,01	23,91	23,00	3,80	≤ 15%	Sim
	5x5	10	2,24 ± 0,01	13,35	13,00	2,64	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,54 ± 0,01	15,11	14,90	1,45	≤ 4%	Sim
	15x28	10	2,84 ± 0,01	16,90	16,70	1,21	≤ 4%	Sim

Os testes de campos com filtros e "off- axis" apresentaram cerca 94% dos resultados dentro dos níveis de tolerância. Nota-se que as diferenças ocorreram para o filtro 60°L, mas pelo pouca quantidade de dados, não se pode fazer um

estudo estatístico adequado para analisar se essas diferenças se apresentam de forma determinística para esse filtro.

A tabela 3-21 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para SSD de 80 cm com filtros 60°R.

Para uma SSD de 80 cm - Filtro 60° R

Tabela 3- 21: Resultados dos testes dosimétricos para uma SSD de 80 cm com filtro 60°R e "off- axis" para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundida de (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concor dância
0	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	5,46 \pm 0,01	32,53	31,50	3,19	$\leq 10\%$	Sim
		10	3,68 \pm 0,01	21,91	21,40	2,33	$\leq 3\%$	Sim
		20	2,14 \pm 0,01	12,77	12,40	2,95	$\leq 3\%$	Sim
0,5	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	5,25 \pm 0,01	31,30	30,10	3,85	$\leq 10\%$	Sim
		10	3,53 \pm 0,01	21,06	20,50	2,67	$\leq 3\%$	Sim
		20	2,07 \pm 0,01	12,34	12,00	2,80	$\leq 3\%$	Sim
1	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	5,00 \pm 0,01	29,79	28,70	3,67	$\leq 10\%$	Sim
		10	3,40 \pm 0,01	20,27	19,70	2,84	$\leq 3\%$	Sim
		20	2,00 \pm 0,01	11,94	11,60	2,85	$\leq 3\%$	Sim
1,5	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	4,81 \pm 0,01	28,65	27,40	4,37	$\leq 10\%$	Sim
		10	3,28 \pm 0,01	19,55	18,90	3,34	$\leq 3\%$	Não
		20	1,94 \pm 0,01	11,56	11,20	3,19	$\leq 3\%$	Não

Os testes para uma SSD de 80 cm e com filtro mostraram cerca 83% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, confirmando uma boa concordância entre os valores experimentais e os determinados pelo SPTC.

Teste de Fótons 9 - Perdas por espalhamento

A tabela 3-22 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento. A localização L1 representa um campo 15 cm x15 cm onde 7,5 cm do campo na direção longitudinal está para fora do objeto simulador; a localização L2 apresenta o mesmo arranjo porém as medidas são feitas com filtro de 60°R, e a localização L3 também representa o mesmo arranjo mas com filtro 60°L. Essas definições se estendem para toda amostragem de testes dosimétricos de perdas por espalhamento.

Tabela 3- 22: Resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

Localização	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
L1	15x15	10	2,41 ± 0,01	14,36	14,00	2,55	≤ 4%	Sim
L2	15x15	10	5,95 ± 0,01	35,46	34,60	2,44	≤ 4%	Sim
L3	15x15	10	2,45 ± 0,01	14,62	14,40	1,50	≤ 4%	Sim

Mesmo tratando-se de um arranjo experimental mais complexo os resultados apresentaram 100% dos pontos dentro dos níveis de tolerância, uma concordância excelente entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC.

Teste de Fótons 10 - Comportamento em regiões de “Build-Up”

As tabelas 3-23, 3-24 e 3-25 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na ausência de filtro e colimação, na presença de colimação, e na presença de filtro 60°R e colimação, respectivamente.

Sem Bloco e Sem Filtro

Tabela 3- 23: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na ausência de bloco e de filtro para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	1,5	7,92 ± 0,02	47,19	46,00	2,52	≤ 10%	Sim
10x10	1,5	8,40 ± 0,01	50,08	48,90	2,36	≤ 10%	Sim
15x28	1,5	8,89 ± 0,01	52,97	50,90	3,92	≤ 10%	Sim

Com Bloco

Tabela 3- 24: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” com 4 blocos laterais para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
4 blocos de 2 cm	5x5	1,5	7,63 ± 0,01	45,46	45,20	0,57	≤ 15%	Sim
4 blocos de 3 cm	10x10	1,5	8,09 ± 0,01	48,22	47,70	1,09	≤ 15%	Sim
4 blocos de 5 cm	15x28	1,5	8,65 ± 0,01	51,56	49,70	3,61	≤ 15%	Sim

Com bloco com filtro - 60° R

Tabela 3- 25: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” com 4 blocos laterais e filtro 60° R para a Máquina Antiga: 6MV - 2100C/600C

	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
4 blocos de 2 cm	5x5	1,5	3,03 ± 0,01	18,03	18,60	3,12	≤ 15%	Sim
4 blocos de 3 cm	10x10	1,5	3,22 ± 0,01	19,22	19,60	1,98	≤ 15%	Sim
4 blocos de 5 cm	15x28	1,5	3,55 ± 0,01	21,16	20,40	3,6	≤ 15%	Sim

Os testes para regiões de “build-up” confirmaram a concordância excelente entre os valores experimentais e os determinados pelo SPTC com 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância.

b- 2) RESULTADOS DOS TESTES DOSIMÉTRICOS PARA A MÁQUINA ANTIGA – 2100C – 15 MV

Teste de Fótons 1 - Campos Quadrados e Retangulares

As tabelas 3-26 e 3-27 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares respectivamente.

Campos Quadrados

Tabela 3- 26: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5 x 5	10	11,95 ± 0,01	70,82	71,80	1,38	≤ 2%	Sim
10 x 10	10	12,86 ± 0,01	76,22	77,40	1,54	≤ 2%	Sim
20 x 20	10	13,64 ± 0,01	80,80	82,20	1,72	≤ 2%	Sim
26 x 26	10	13,92 ± 0,01	82,50	84,40	2,29	≤ 2%	Não
10 x 10	20	8,35 ± 0,01	49,45	50,00	1,12	≤ 2%	Sim
24 x 24	20	9,35 ± 0,01	55,38	56,50	2,00	≤ 2%	Sim

Campos Retangulares

Tabela 3-27: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose		Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
			Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)			
5 x 26	10	12,72 ± 0,01	75,37	76,30	1,23	≤ 2%	Sim
26 x 5	10	12,44 ± 0,01	73,69	75,40	2,31	≤ 2%	Não
5 x 24	20	8,15 ± 0,01	48,27	48,90	1,28	≤ 2%	Sim
24 x 5	20	7,99 ± 0,01	47,34	48,40	2,23	≤ 2%	Não

Os testes de campos quadrados e retangulares apresentaram 70% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, ou seja, uma concordância baixa entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC em geometrias simples. No entanto, as discordâncias para os pontos fora dos níveis de tolerância apresentaram valores muito próximos ao critério de aceitabilidade, não se tratando portanto de discordâncias muito graves. Além do mais como mencionado anteriormente os dados provenientes do Cadplan não têm procedência conhecida e essas diferenças podem ser provenientes da qualidade dos dados.

As tabelas 3-28 e 3-29 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares "off-axis" respectivamente.

Campos Quadrados "Off Axis"

Tabela 3-28: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados "off-axis" para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

d-off-axis (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5 x 5	10	11,98 ± 0,01	70,98	69,10	2,65	≤ 3%	Sim
	10 x 10	10	12,93 ± 0,01	76,61	77,50	1,16	≤ 3%	Sim
	20 x 20	10	13,70 ± 0,01	81,19	82,20	1,23	≤ 3%	Sim
1	5 x 5	10	12,05 ± 0,01	71,40	70,80	0,84	≤ 3%	Sim
	10 x 10	10	13,04 ± 0,01	77,29	77,50	0,26	≤ 3%	Sim
	20 x 20	10	13,82 ± 0,01	81,87	82,40	0,64	≤ 3%	Sim
1,5	5 x 5	10	11,94 ± 0,01	70,77	68,10	3,77	≤ 3%	Não
	10 x 10	10	13,09 ± 0,01	77,56	77,70	0,17	≤ 3%	Sim
	20 x 20	10	13,88 ± 0,01	82,21	82,60	0,46	≤ 3%	Sim

Campos Retangulares "Off Axis"

Tabela 3- 29: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares "off- axis" para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

<i>d^{off-axis}</i> (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundi- dade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabili- dade	Concordância
0,5	5 x 26	10	12,76 ± 0,01	75,58	76,00	0,54	≤ 3%	Sim
	26 x 5	10	12,50 ± 0,01	74,08	75,60	2,03	≤ 3%	Sim
1	5 x 26	10	12,81 ± 0,01	75,89	74,30	2,09	≤ 3%	Sim
	26 x 5	10	12,61 ± 0,01	74,74	76,50	2,35	≤ 3%	Sim
1,5	5 x 26	10	12,68 ± 0,01	75,15	71,50	4,86	≤ 3%	Não
	26 x 5	10	12,67 ± 0,01	75,09	76,80	2,26	≤ 3%	Sim

Os testes de campos quadrados e retangulares "off- axis" mostraram uma concordância boa com cerca 86% dos resultados dentro dos níveis de tolerância.

As tabelas 3- 30(a), 3- 30 (b), e 3- 31(a), 3- 31(b) apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares angulados.

Campos Quadrados Angulados

Tabela 3- 30(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

Cabeço- te	Tamanhos (cm ²)	Profundi- dade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabili- dade	Concor- dância
30°	5 x 5	10	0,16 ± 0,01	0,94	0,65	31,06	≤ 30%	Não
	10 x 10	10	5,80 ± 0,01	34,64	31,30	9,49	≤ 30%	Sim
	20 x 20	10	7,19 ± 0,01	42,93	41,80	2,64	≤ 30%	Sim
45°	5 x 5	10	0,06 ± 0,01	0,38	0,30	9,77	≤ 30%	Sim
	10 x 10	10	0,38 ± 0,01	2,25	1,95	15,66	≤ 30%	Sim
	20 x 20	10	6,91 ± 0,01	41,23	41,00	0,45	≤ 30%	Sim
60°	5 x 5	10	0,04 ± 0,01	0,23	0,20	4,72	≤ 30%	Sim
	10 x 10	10	0,17 ± 0,01	1,02	1,10	7,16	≤ 30%	Sim
	20 x 20	10	5,92 ± 0,01	35,31	37,60	6,46	≤ 30%	Sim

Tabela 3-30(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença%	Concordância
30°	5 x 5	10	0,004	0,65	30,85	Não
	10 x 10	10	0,138	31,44	9,23	Sim
	20 x 20	10	0,171	41,97	2,24	Sim
45°	5 x 5	10	0,001	0,30	21,05	Sim
	10 x 10	10	0,009	1,96	12,89	Sim
	20 x 20	10	0,165	41,16	0,17	Sim
60°	5 x 5	10	0,001	0,20	13,04	Sim
	10 x 10	10	0,004	1,10	7,84	Sim
	20 x 20	10	0,141	37,74	6,89	Sim

Campos Retangulares Angulados

Tabela 3-31(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
30°	5 x 26	10	0,31 ± 0,01	1,85	1,45	21,75	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	6,59 ± 0,01	38,67	38,45	0,58	≤ 30%	Sim
45°	5 x 26	10	0,15 ± 0,01	0,91	0,95	4,04	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	6,36 ± 0,02	37,38	37,75	0,99	≤ 30%	Sim
60°	5 x 26	10	0,10 ± 0,01	0,59	0,75	25,22	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	5,53 ± 0,01	32,46	34,85	7,35	≤ 30%	Sim

Tabela 3-31(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
30°	5 x 26	10	0,007	1,45	21,62	Sim
	26 x 5	10	0,155	38,60	0,18	Sim
45°	5 x 26	10	0,004	0,95	4,39	Sim
	26 x 5	10	0,149	37,90	1,50	Sim
60°	5 x 26	10	0,002	0,75	27,11	Sim
	26 x 5	10	0,130	34,98	7,76	Sim

Os resultados dos testes de campos quadrados e retangulares angulados apresentaram cerca de 93% dos resultados dentro dos níveis de tolerância. E mais uma vez verificou-se que a transmissão do colimador não alterou significativamente no resultado de concordância mesmo em muitos casos diminuindo a diferença percentual.

As tabelas 3-32(a), 3-32(b), e 3-33(a), 3-33(b) apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares angulados e “off-axis”.

Campos Quadrados Angulados e “Off Axis”

Tabela 3-32(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados e “off-axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}^*$ (cm)	Cabeço te	Tamanhos (cm ²)	Profun didade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabi lidade	Concor dância
0,5	30°	5 x 5	10	0,23 \pm 0,01	1,38	1,00	27,63	\leq 40%	Sim
	45°	10 x 10	10	7,48 \pm 0,01	43,91	32,30	26,45	\leq 40%	Sim
	60°	20 x 20	10	13,99 \pm 0,01	82,18	84,20	2,44	\leq 40%	Sim
1	30°	5 x 5	10	0,10 \pm 0,01	0,62	0,50	19,55	\leq 40%	Sim
	45°	10 x 10	10	0,54 \pm 0,01	3,18	2,60	18,31	\leq 40%	Sim
	60°	20 x 20	10	13,56 \pm 0,01	79,64	82,90	4,09	\leq 40%	Sim
1,5	30°	5 x 5	10	0,07 \pm 0,01	0,39	0,40	0,79	\leq 40%	Sim
	45°	10 x 10	10	0,26 \pm 0,01	1,53	1,80	17,24	\leq 40%	Sim
	60°	20 x 20	10	11,54 \pm 0,01	67,78	74,20	9,47	\leq 40%	Sim

Tabela 3-32(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados e “off-axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador

$d_{\text{off-axis}}^*$ (cm)	Cabe çote	Tamanhos (cm ²)	Profun didade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença%	Concordân cia
0,5	30°	5 x 5	10	0,005	1,01	26,81	Sim
	45°	10 x 10	10	0,176	32,48	26,03	Sim
	60°	20 x 20	10	0,323	84,52	2,84	Sim
1	30°	5 x 5	10	0,002	0,50	19,35	Sim
	45°	10 x 10	10	0,013	2,61	17,92	Sim
	60°	20 x 20	10	0,318	83,22	4,50	Sim
1,5	30°	5 x 5	10	0,001	0,40	2,56	Sim
	45°	10 x 10	10	0,006	1,81	18,30	Sim
	60°	20 x 20	10	0,271	74,57	10,02	Sim

Campos Retangulares Angulados e "Off Axis"

Tabela 3-33(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados e "off- axis" para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	30°	5 x 26	10	0,49 \pm 0,01	2,91	2,50	14,19	\leq 40%	Sim
	45°	26 x 5	10	12,85 \pm 0,01	75,44	77,40	2,59	\leq 40%	Sim
1	30°	5 x 26	10	0,26 \pm 0,01	1,52	1,60	4,65	\leq 40%	Sim
	45°	26 x 5	10	12,57 \pm 0,01	73,79	76,7	3,93	\leq 40%	Sim
1,5	30°	5 x 26	10	0,17 \pm 0,01	1,00	1,30	29,25	\leq 40%	Sim
	45°	26 x 5	10	11,06 \pm 0,01	64,96	72,80	12,06	\leq 40%	Sim

Tabela 3-33(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados e "off- axis" para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004 * D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
0,5	30°	5 x 26	10	0,012	2,51	13,74	Sim
	45°	26 x 5	10	0,302	77,70	2,99	Sim
1	30°	5 x 26	10	0,006	1,61	5,92	Sim
	45°	26 x 5	10	0,295	76,99	4,34	Sim
1,5	30°	5 x 26	10	0,004	1,30	20,00	Sim
	45°	26 x 5	10	0,260	73,06	12,47	Sim

Para os campos quadrados e retangulares angulados e "off- axis" para a máquina antiga – 15 MV os resultados dos testes mostraram 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, uma concordância excelente para esse tipo de geometria de feixe.

Teste de Fótons 2 - Campos Assimétricos

As tabelas 3-34 e 3-35 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos e campos assimétricos com filtros.

Campos Assimétricos

Tabela 3-34: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
X1 = 5, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	5,83 ± 0,01	34,78	35,60	2,34	≤ 3%	Sim
X1 = 5, X2 = 0, Y1 = 5, Y2 = 5	10	6,20 ± 0,01	37,00	14,10	61,89	≤ 3%	Não
X1 = 5, X2 = 2,5, Y1 = 2,5, Y2 = 5	10	6,37 ± 0,01	38,11	37,30	2,13	≤ 3%	Sim
X1 = 0, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	5,51 ± 0,01	32,91	21,60	34,36	≤ 3%	Não

Campos Assimétricos com Filtros - 60°R

Tabela 3-35: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos com filtros para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
X1 = 5, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	2,52 ± 0,01	15,01	15,55	3,54	≤ 4%	Sim
X1 = 5, X2 = 0, Y1 = 5, Y2 = 5	10	2,70 ± 0,01	16,14	17,00	5,28	≤ 4%	Não
X1 = 5, X2 = 2,5, Y1 = 2,5, Y2 = 5	10	2,77 ± 0,01	16,51	16,25	1,67	≤ 4%	Sim
X1 = 0, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	2,36 ± 0,01	14,06	13,10	6,82	≤ 4%	Não

Aqui novamente os testes de campos assimétricos apresentaram 50% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, ou seja, uma concordância baixa entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC, notando que os dois pontos discordantes para campos assimétricos sem filtro apresentaram valores de diferença percentual muito distantes do nível de tolerância. Isso pode ser explicado pelos mesmos motivos já discutidos anteriormente no item b-1), ou seja, essa diferença é devido ao fato dos pontos de medição estarem fora ou na borda do campo de radiação, no entanto uma mudança no arranjo e uma análise mais detalhada possibilitariam uma investigação mais apurada.

Teste de Fótons 3 - Formato dos Campos

A tabela 3-36 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para campos com formatos complexos.

Tabela 3-36: Resultados dos testes dosimétricos para campos complexos para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

<i>Campo</i>	<i>Tamanhos (cm²)</i>	<i>Profundida de (cm)</i>	<i>Média ± σ (nC)</i>	<i>Dose Absoluta (cGy)</i>	<i>Dose SPTC (cGy)</i>	<i>Diferença %</i>	<i>Critério Aceitabilidade</i>	<i>Concordância</i>
Campo1 (bloco corda no raio central)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	$1,29 \pm 0,01$	7,55	6,50	13,98	≤ 15%	Sim
		10	$1,71 \pm 0,01$	10,02	9,00	10,17	≤ 15%	Sim
		20	$1,52 \pm 0,01$	8,96	7,90	11,82	≤ 15%	Sim
Campo2 (4 blocos laterais, 1/2 corda)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	$16,14 \pm 0,01$	94,80	101,50	7,06	≤ 15%	Sim
		10	$11,60 \pm 0,01$	68,12	78,80	15,67	≤ 15%	Não
		20	$6,97 \pm 0,01$	40,95	47,00	14,74	≤ 15%	Sim
Campo3 (côncavo)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	$1,02 \pm 0,01$	6,02	5,10	15,31	≤ 15%	Não
		10	$1,13 \pm 0,01$	6,66	5,70	14,46	≤ 15%	Sim
		20	$0,98 \pm 0,01$	5,78	5,60	3,18	≤ 15%	Sim
Campo4 (convexo)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	$16,02 \pm 0,01$	94,08	80,00	14,97	≤ 15%	Sim
		10	$11,30 \pm 0,01$	66,36	61,10	7,93	≤ 15%	Sim
		20	$6,62 \pm 0,01$	38,89	40,00	2,83	≤ 15%	Sim

Para os formatos de campos mais complexos cerca de 83% dos resultados estavam dentro dos níveis de tolerância, uma concordância boa entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC, tendo em vista novamente a complexidade da geometria e a pouca quantidade de medições, ressaltando que os pontos que estavam fora do nível de tolerância apresentaram valores de diferença percentual muito próximos dos critérios de aceitabilidade..

Teste de Fótons 7 - Filtros Manuais

As tabelas 3-37 e 3-38 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos com filtros 60°R e 60°L.

Direção do Filtro - 60°R

Tabela 3-37: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R para a Máquina Antiga – 15MV - 2100C

<i>Tamanhos (cm²)</i>	<i>Profundida de (cm)</i>	<i>Média ± σ (nC)</i>	<i>Dose Absoluta (cGy)</i>	<i>Dose SPTC (cGy)</i>	<i>Diferença %</i>	<i>Critério Aceitabilidade</i>	<i>Concordância</i>
5x5	$d_{\max} = 1,5$	$3,48 \pm 0,01$	20,78	21,00	1,03	≤ 10%	Sim
10x10	$d_{\max} = 1,5$	$3,70 \pm 0,01$	22,08	22,20	0,51	≤ 10%	Sim
15x28	$d_{\max} = 1,5$	$4,02 \pm 0,01$	23,99	23,30	2,91	≤ 10%	Sim
5x5	10	$2,87 \pm 0,01$	17,23	16,70	3,08	≤ 3%	Sim
10x10	10	$4,48 \pm 0,01$	26,54	27,00	1,72	≤ 3%	Sim
15x28	10	$3,15 \pm 0,01$	18,82	18,30	2,79	≤ 3%	Sim

Direção perpendicular ao Filtro - 60° L

Tabela 3- 38: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	d _{máx} = 1,5	3,51 ± 0,01	20,95	20,00	4,53	≤ 10%	Sim
10x10	d _{máx} = 1,5	3,73 ± 0,01	22,26	22,05	0,96	≤ 10%	Sim
15x28	d _{máx} = 1,5	4,05 ± 0,01	24,18	23,35	3,46	≤ 10%	Sim
5x5	10	2,68 ± 0,01	15,98	15,90	0,51	≤ 3%	Sim
10x10	10	2,91 ± 0,01	17,37	17,10	1,58	≤ 3%	Sim
15x28	10	3,17 ± 0,01	18,95	19,30	1,84	≤ 3%	Sim

Os testes de campos complexos apresentaram 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, confirmando que para os dados da máquina antiga – 15 MV os fatores filtro e possíveis extrapolações realizadas pelo SPTC estão sendo utilizados de forma coerente com os resultados de medições provenientes da máquina de tratamento.

As tabelas 3- 39 e 3-40 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos com filtros 60°R e 60°L e “off- axis”.

Direção do Filtro - 60°R – “Off- Axis”

Tabela 3- 39: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

d ^{off-axis} (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5x5	d _{máx} = 1,5	6,47 ± 0,01	38,37	39,00	1,63	≤ 15%	Sim
	10x10	d _{máx} = 1,5	6,89 ± 0,01	40,87	41,50	1,51	≤ 15%	Sim
	15x28	d _{máx} = 1,5	7,53 ± 0,01	44,63	43,90	1,63	≤ 15%	Sim
	5x5	10	4,99 ± 0,01	29,56	30,00	1,45	≤ 4%	Sim
	10x10	10	5,43 ± 0,01	32,15	32,40	0,75	≤ 4%	Sim
	15x28	10	5,94 ± 0,01	35,17	35,30	0,36	≤ 4%	Sim
1	5x5	d _{máx} = 1,5	6,24 ± 0,01	36,98	37,20	0,59	≤ 15%	Sim
	10x10	d _{máx} = 1,5	6,68 ± 0,01	39,57	40,00	1,08	≤ 15%	Sim
	15 x28	d _{máx} = 1,5	7,32 ± 0,01	43,36	42,40	2,22	≤ 15%	Sim
	5x5	10	4,89 ± 0,01	28,98	28,70	0,97	≤ 4%	Sim
	10x10	10	5,34 ± 0,01	31,61	31,40	0,68	≤ 4%	Sim
	15x28	10	5,84 ± 0,01	34,58	34,20	1,11	≤ 4%	Sim
1,5	5x5	d _{máx} = 1,5	5,97 ± 0,01	35,39	35,40	0,02	≤ 15%	Sim
	10x10	d _{máx} = 1,5	6,49 ± 0,01	38,46	38,70	0,62	≤ 15%	Sim

15x28	$d_{\max} = 1,5$	$7,12 \pm 0,01$	42,18	41,00	2,82	$\leq 15\%$	Sim
5x5	10	$4,69 \pm 0,01$	27,84	27,50	1,23	$\leq 4\%$	Sim
10x10	10	$5,18 \pm 0,01$	30,72	30,40	1,05	$\leq 4\%$	Sim
15x28	10	$5,63 \pm 0,08$	33,33	33,20	0,41	$\leq 4\%$	Sim

Direção perpendicular ao Filtro - 60° L – “Off- Axis”

Tabela 3- 40: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L e “off- axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundida de (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabi- lidade	Concordância
0,5	5x5	$d_{\max} = 1,5$	$7,01 \pm 0,01$	41,55	43,20	3,97	$\leq 15\%$	Sim
	10x10	$d_{\max} = 1,5$	$7,46 \pm 0,01$	44,21	45,70	3,37	$\leq 15\%$	Sim
	15x28	$d_{\max} = 1,5$	$8,12 \pm 0,01$	48,11	48,40	0,60	$\leq 15\%$	Sim
	5x5	10	$5,37 \pm 0,01$	31,83	32,70	2,72	$\leq 4\%$	Sim
	10x10	10	$5,85 \pm 0,01$	34,67	35,40	2,09	$\leq 4\%$	Sim
	15x28	10	$6,38 \pm 0,01$	37,81	38,50	1,83	$\leq 4\%$	Sim
1	5x5	$d_{\max} = 1,5$	$7,33 \pm 0,01$	43,40	44,30	2,06	$\leq 15\%$	Sim
	10x10	$d_{\max} = 1,5$	$7,84 \pm 0,01$	46,44	47,40	2,06	$\leq 15\%$	Sim
	15x28	$d_{\max} = 1,5$	$8,52 \pm 0,01$	50,47	50,20	0,54	$\leq 15\%$	Sim
	5x5	10	$5,54 \pm 0,01$	32,81	33,30	1,48	$\leq 4\%$	Sim
	10x10	10	$6,05 \pm 0,01$	35,86	36,40	1,50	$\leq 4\%$	Sim
	15x28	10	$6,59 \pm 0,01$	39,07	39,70	1,61	$\leq 4\%$	Sim
1,5	5x5	$d_{\max} = 1,5$	$7,48 \pm 0,01$	44,34	44,60	0,59	$\leq 15\%$	Sim
	10x10	$d_{\max} = 1,5$	$8,15 \pm 0,01$	48,27	49,40	2,34	$\leq 15\%$	Sim
	15x28	$d_{\max} = 1,5$	$8,84 \pm 0,01$	52,36	52,20	0,31	$\leq 15\%$	Sim
	5x5	10	$5,67 \pm 0,01$	33,58	33,60	0,07	$\leq 4\%$	Sim
	10x10	10	$6,27 \pm 0,01$	37,17	37,90	1,95	$\leq 4\%$	Sim
	15x28	10	$6,83 \pm 0,01$	40,47	41,30	2,05	$\leq 4\%$	Sim

Para campos com filtros e “off- axis” 100% dos resultados se mostraram dentro dos níveis de tolerância, reafirmando que para os dados da máquina antiga – 15 MV os fatores filtro e possíveis extrapolações realizadas pelo SPTC estão sendo utilizados corretamente.

A tabela 3-41 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para SSD de 80 cm com filtros 60°R.

Para uma SSD de 80 cm - Filtro 60° R

Tabela 3-41: Resultados dos testes dosimétricos para uma SSD de 80 cm com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundida de (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabili dade	Concordânci a
0	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	6,06 \pm 0,01	36,14	34,80	3,72	$\leq 10\%$	Sim
		10	8,84 \pm 0,01	52,41	52,80	0,74	$\leq 3\%$	Sim
		20	5,56 \pm 0,01	32,95	34,10	3,48	$\leq 3\%$	Não
0,5	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	5,84 \pm 0,01	34,84	34,00	2,42	$\leq 10\%$	Sim
		10	8,47 \pm 0,01	50,18	50,50	0,62	$\leq 3\%$	Sim
		20	5,39 \pm 0,01	31,94	32,80	2,67	$\leq 3\%$	Sim
1	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	5,63 \pm 0,01	33,59	33,00	1,76	$\leq 10\%$	Sim
		10	8,25 \pm 0,01	48,89	48,70	0,38	$\leq 3\%$	Sim
		20	5,23 \pm 0,01	30,96	31,70	2,36	$\leq 3\%$	Sim
1,5	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	5,42 \pm 0,01	32,36	32,70	1,03	$\leq 10\%$	Sim
		10	7,98 \pm 0,01	47,25	47,00	0,54	$\leq 3\%$	Sim
		20	5,06 \pm 0,01	29,99	30,60	2,00	$\leq 3\%$	Sim

Os testes para uma SSD de 80 cm e com filtro apresentaram cerca 92% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, uma concordância muito boa entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC.

Teste de Fótons 9 - Perdas por espalhamento

A tabela 3-42 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento.

Tabela 3-42: Resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

Localizaç ão	Tamanhos (cm ²)	Profundi dade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabili dade	Concor dância
L1	15x15	10	13,33 \pm 0,01	78,97	71,00	10,09	$\leq 4\%$	Não
L2	15x15	10	5,85 \pm 0,01	34,67	35,80	3,24	$\leq 4\%$	Sim
L3	15x15	10	5,92 \pm 0,01	35,07	34,00	3,05	$\leq 4\%$	Sim

Os testes para campos com perdas por espalhamento apresentaram 2/3 dos resultados dentro dos níveis de tolerância, representando uma boa concordância entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC para esse tipo de teste, onde a geometria do feixe pode interferir significativamente nas medidas.

Teste de Fótons 10 - Comportamento em regiões de “build-up”

As tabelas 3-43, 3-44 e 3-45 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na ausência de filtro e colimação, na presença de colimação, e na presença de filtro 60°R e colimação, respectivamente.

Sem Bloco e Sem Filtro

Tabela 3- 43: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na ausência de bloco e de filtro para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	1,5	14,95 ± 0,01	87,81	95,60	8,86	≤ 10%	Sim
10x10	1,5	15,91 ± 0,01	93,42	100,40	7,46	≤ 10%	Sim
15x28	1,5	16,75 ± 0,01	98,38	104,50	6,21	≤ 10%	Sim

Com Bloco

Tabela 3- 44: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” com 4 blocos laterais para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
4 blocos de 2 cm	5x5	1,5	14,37 ± 0,01	84,40	92,70	9,83	≤ 15%	Sim
4 blocos de 3 cm	10x10	1,5	15,37 ± 0,01	90,25	97,70	8,24	≤ 15%	Sim
4 blocos de 5 cm	15x28	1,5	16,30 ± 0,01	95,72	102,40	6,97	≤ 15%	Sim

Com bloco com filtro - 60° R

Tabela 3- 45: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” com de 4 blocos laterais e filtro 60° R para a Máquina Antiga: 15MV - 2100C

	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
4 blocos de 2 cm	5x5	1,5	3,38 ± 0,01	19,52	20,20	3,49	≤ 15%	Sim
4 blocos de 3 cm	10x10	1,5	3,65 ± 0,01	21,03	21,20	0,81	≤ 15%	Sim
4 blocos de 5 cm	15x28	1,5	3,99 ± 0,01	23,04	22,30	3,21	≤ 15%	Sim

Os testes para regiões de “build-up” apresentaram novamente 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, uma concordância excelente entre os valores experimentais e os valores gerados pelo SPTC.

Quando houver uma grande variação entre os valores medidos e os valores gerados pelo SPTC um número maior de medidas deve ser realizado e a

análise deve ser mais rigorosa. Nas medidas apresentadas para a máquina antiga 6MV e 15 MV, não houve a necessidade da realização de mais medidas em grande parte dos arranjos, pois os resultados não apresentaram discordâncias preocupantes mas, para algumas montagens, como o caso de campos assimétricos, uma investigação detalhada seria mais adequado.

b-3) RESULTADOS DOS TESTES DOSIMÉTRICOS PARA A MÁQUINA NOVA – 2100C – 15 MV

Teste de Fótons 1 - Campos Quadrados e Retangulares

As tabelas 3-46 e 3-47 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e Retangulares respectivamente.

Campos Quadrados

Tabela 3-46: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5 x 5	10	11,95 ± 0,01	70,82	71,80	1,38	≤ 2%	Sim
10 x 10	10	12,86 ± 0,01	76,22	77,40	1,54	≤ 2%	Sim
20 x 20	10	13,64 ± 0,01	80,80	81,20	0,49	≤ 2%	Sim
26 x 26	10	13,92 ± 0,01	82,50	82,90	0,48	≤ 2%	Sim
10 x 10	20	8,35 ± 0,01	49,45	50,00	1,11	≤ 2%	Sim
24 x 24	20	9,35 ± 0,01	55,39	55,60	0,37	≤ 2%	Sim

Campos Retangulares

Tabela 3-47: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5 x 26	10	12,72 ± 0,01	75,37	75,30	0,09	≤ 2%	Sim
26 x 5	10	12,44 ± 0,01	73,69	75,30	2,18	≤ 2%	Não
5 x 24	20	8,15 ± 0,01	48,28	48,30	0,04	≤ 2%	Sim
24 x 5	20	7,99 ± 0,01	47,34	48,40	2,23	≤ 2%	Não

Os resultados acima apresentaram 80% das medidas dentro dos níveis de tolerância, no caso de geometrias simples como essas espera-se uma concordância melhor, porém mais uma vez os pontos discordantes apresentaram valores de

diferença percentual muito próximos aos critério de aceitabilidade. Mesmo assim, decidiu-se comparar os dados presentes no Eclipse com os dados obtidos pelo “Blue Phantom”, e não foi observado diferenças ou extrapolações incoerentes. As medidas também foram realizadas de forma correta, seguindo o mesmo protocolo durante as séries de medições, no entanto, o número de medidas é pequeno e esse fato pode ocasionar essas variações.

As tabelas 3-48 e 3-49 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares “off-axis” respectivamente.

Campos Quadrados “Off Axis”

Tabela 3-48: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados “off-axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5 x 5	10	11,98 \pm 0,01	70,98	71,80	1,15	\leq 3%	Sim
	10 x 10	10	12,93 \pm 0,01	76,61	77,70	1,42	\leq 3%	Sim
	20 x 20	10	13,70 \pm 0,01	81,19	81,50	0,37	\leq 3%	Sim
1	5 x 5	10	12,05 \pm 0,01	71,40	71,00	0,57	\leq 3%	Sim
	10 x 10	10	13,04 \pm 0,01	77,29	78,00	0,92	\leq 3%	Sim
	20 x 20	10	13,82 \pm 0,01	81,87	81,80	0,09	\leq 3%	Sim
1,5	5 x 5	10	11,94 \pm 0,01	70,77	68,80	2,79	\leq 3%	Sim
	10 x 10	10	13,09 \pm 0,01	77,56	78,20	0,82	\leq 3%	Sim
	20 x 20	10	13,88 \pm 0,01	82,21	82,20	0,02	\leq 3%	Sim

Campos Retangulares “Off Axis”

Tabela 3-49: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares “off-axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5 x 26	10	12,76 \pm 0,01	75,58	75,10	0,64	\leq 3%	Sim
	26 x 5	10	12,50 \pm 0,01	74,08	75,60	2,04	\leq 3%	Sim
1	5 x 26	10	12,81 \pm 0,01	75,89	74,40	1,97	\leq 3%	Sim
	26 x 5	10	12,61 \pm 0,01	74,74	76,00	1,68	\leq 3%	Sim
1,5	5 x 26	10	12,68 \pm 0,01	75,15	72,00	4,19	\leq 3%	Não
	26 x 5	10	12,67 \pm 0,01	75,09	76,40	1,74	\leq 3%	Sim

Cerca de 93% dos resultados encontraram-se dentro dos níveis de tolerância, uma concordância muito boa para esse tipo de geometria.

As tabelas 3-50(a), 3-50(b), e 3-51(a), 3-51(b) apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares angulados.

Campos Quadrados Angulados

Tabela 3-50(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)		Dose			Critério Aceitabilidade	Concordância
		Média ± σ (nC)	Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %			
30°	5 x 5	10	0,16 ± 0,01	0,94	1,10	16,66	≤ 30%	Sim
	10 x 10	10	5,80 ± 0,01	34,64	39,00	12,58	≤ 30%	Sim
	20 x 20	10	7,19 ± 0,01	42,93	41,90	2,41	≤ 30%	Sim
45°	5 x 5	10	0,06 ± 0,01	0,38	0,50	28,89	≤ 30%	Sim
	10 x 10	10	0,38 ± 0,01	2,25	2,90	28,72	≤ 30%	Sim
	20 x 20	10	6,91 ± 0,01	41,23	40,70	1,30	≤ 30%	Sim
60°	5 x 5	10	0,04 ± 0,01	0,23	0,30	25,67	≤ 30%	Sim
	10 x 10	10	0,17 ± 0,01	1,02	1,90	85,10	≤ 30%	Não
	20 x 20	10	5,92 ± 0,01	35,31	36,95	4,62	≤ 30%	Sim

Tabela 3-50(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados para a Máquina Nova: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador.

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004 * D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
30°	5 x 5	10	0,004	1,10	17,02	Sim
	10 x 10	10	0,138	39,14	12,99	Sim
	20 x 20	10	0,172	42,07	2,00	Sim
45°	5 x 5	10	0,001	0,50	28,89	Sim
	10 x 10	10	0,009	2,91	29,33	Sim
	20 x 20	10	0,165	40,86	0,90	Sim
60°	5 x 5	10	0,001	0,30	30,43	Sim
	10 x 10	10	0,004	1,90	86,27	Não
	20 x 20	10	0,141	37,09	5,04	Sim

Campos Retangulares Angulados

Tabela 3- 51(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
30°	5 x 26	10	0,31 ± 0,01	1,85	2,30	24,12	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	6,59 ± 0,01	38,67	38,90	0,57	≤ 30%	Sim
45°	5 x 26	10	0,15 ± 0,01	0,91	0,75	17,86	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	6,36 ± 0,02	37,38	37,80	1,12	≤ 30%	Sim
60°	5 x 26	10	0,10 ± 0,01	0,59	0,60	0,17	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	5,53 ± 0,01	32,46	35,00	7,81	≤ 30%	Sim

Tabela 3- 51(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados para a Máquina Nova: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
30°	5 x 26	10	0,007	2,30	24,32	Sim
	26 x 5	10	0,155	39,05	0,98	Sim
45°	5 x 26	10	0,004	0,75	17,58	Sim
	26 x 5	10	0,149	37,95	1,52	Sim
60°	5 x 26	10	0,002	0,60	0,17	Sim
	26 x 5	10	0,130	35,13	8,22	Sim

Para os campos quadrados angulados e retangulares angulados 93% dos valores obtidos se apresentaram dentro dos níveis de tolerância, ou seja, uma concordância muito boa. Para a máquina nova é possível verificar novamente que a transmissão do colimador continua não interferindo significativamente nos valores de dose.

As tabelas 3- 52(a), 3- 52(b), e 3- 53(a), 3- 53(b) apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares angulados e “off-axis”.

Campos Quadrados Angulados e “Off Axis”

Tabela 3- 52(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados e “off- axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

d _{off-axis} (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	30°	5 x 5	10	0,23 ± 0,01	1,38	0,80	42,11	≤ 40%	Não
	45°	10 x 10	10	7,48 ± 0,01	43,91	35,70	18,70	≤ 40%	Sim

1	60°	20 x 20	10	13,99 ± 0,01	82,18	84,10	2,32	≤ 40%	Sim
	30°	5 x 5	10	0,10 ± 0,01	0,62	0,40	35,64	≤ 40%	Sim
	45°	10 x 10	10	0,54 ± 0,01	3,18	2,10	34,02	≤ 40%	Sim
1,5	60°	20 x 20	10	13,56 ± 0,01	79,64	82,10	3,08	≤ 40%	Sim
	30°	5 x 5	10	0,07 ± 0,01	0,39	0,30	24,40	≤ 40%	Sim
	45°	10 x 10	10	0,26 ± 0,01	1,53	1,50	2,29	≤ 40%	Sim
	60°	20 x 20	10	11,54 ± 0,01	67,78	72,00	6,22	≤ 40%	Sim

Tabela 3- 52(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados e “off- axis” para a Máquina Nova- 15MV -2100C, considerando a transmissão do colimador

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeço te	Tamanhos (cm ²)	Profun didade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordân cia
0,5	30°	5 x 5	10	0,005	0,80	42,03	Não
	45°	10 x 10	10	0,176	35,88	18,29	Sim
	60°	20 x 20	10	0,329	84,43	2,74	Sim
1	30°	5 x 5	10	0,002	0,40	35,48	Sim
	45°	10 x 10	10	0,013	2,11	33,65	Sim
	60°	20 x 20	10	0,318	82,42	3,49	Sim
1,5	30°	5 x 5	10	0,001	0,30	23,08	Sim
	45°	10 x 10	10	0,006	1,51	1,31	Sim
	60°	20 x 20	10	0,271	72,27	6,62	Sim

Campos Retangulares Angulados e “Off Axis”

Tabela 3- 53(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados e “off- axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabe çote	Tamanhos (cm ²)	Profun didade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferen ça %	Crítério Aceitabi lidade	Concor dância
0,5	30°	5 x 26	10	0,49 ± 0,01	2,91	2,00	31,356	≤ 40%	Sim
	45°	26 x 5	10	12,85 ± 0,01	75,44	78,20	3,66	≤ 40%	Sim
1	30°	5 x 26	10	0,26 ± 0,01	1,52	1,30	14,94	≤ 40%	Sim
	45°	26 x 5	10	12,57 ± 0,01	73,79	76,90	4,21	≤ 40%	Sim
1,5	30°	5 x 26	10	0,17 ± 0,01	1,00	1,10	9,37	≤ 40%	Sim
	45°	26 x 5	10	11,06 ± 0,01	64,96	72,80	12,06	≤ 40%	Sim

Tabela 3- 53(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados e “off-axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador

$d_{\text{off-axis}}^*$ (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
0,5	30°	5 x 26	10	0,012	2,01	30,92	Sim
	45°	26 x 5	10	0,302	78,50	4,06	Sim
1	30°	5 x 26	10	0,006	1,31	13,81	Sim
	45°	26 x 5	10	0,295	77,19	4,61	Sim
1,5	30°	5 x 26	10	0,004	1,00	0	Sim
	45°	26 x 5	10	0,260	73,06	12,47	Sim

Para os campos quadrados e retangulares angulados e “off-axis” cerca de 93% dos resultados se apresentaram dentro dos níveis de tolerância, uma concordância muito boa para esse tipo de geometria.

Teste de Fótons 2 - Campos Assimétricos

As tabelas 3- 54 e 3- 55 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos e campos assimétricos com filtros.

Campos Assimétricos

Tabela 3- 54: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
X1 = 5, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	5,83 ± 0,01	34,78	35,50	2,06	≤ 3%	Sim
X1 = 5, X2 = 0, Y1 = 5, Y2 = 5	10	6,20 ± 0,01	37,00	10,80	70,81	≤ 3%	Não
X1 = 5, X2 = 2,5, Y1 = 2,5, Y2 = 5	10	6,37 ± 0,01	38,11	37,50	1,61	≤ 3%	Sim
X1 = 0, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	5,51 ± 0,01	32,91	14,50	55,93	≤ 3%	Não

Campos Assimétricos com Filtros - 60°R

Tabela 3- 55: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos com filtros para a Máquina Nova: 6MV – 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
X1 = 5, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	2,52 ± 0,01	15,01	15,20	1,21	≤ 4%	Sim
X1 = 5, X2 = 0, Y1 = 5, Y2 = 5	10	2,70 ± 0,01	16,14	4,60	71,51	≤ 4%	Não

X1 = 5, X2 = 2,5, Y1 = 2,5, Y2 = 5	10	2,77 ± 0,01	16,51	15,90	3,74	≤ 4%	Sim
X1 = 0, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	2,36 ± 0,01	14,06	12,50	11,09	≤ 4%	Não

Para os campos assimétricos, 50% dos valores se mostraram dentro dos níveis de tolerância, resultado idêntico ao obtido na máquina antiga para ambas as energias de feixe. No entanto, nesse caso as assimetrias que antes correspondiam a $Y = 0$ ou $X = 0$, foram substituídas por assimetrias com $Y = 1$ ou $X = 1$, para diminuir a possibilidade do ponto de medida estar em uma região fora do campo de radiação ou na borda do campo, mas esse procedimento não melhorou os resultados. Ainda pode-se considerar a possibilidade do ponto fora ou na borda do campo, mas uma estatística mais refinada com um número maior de medições seria o mais indicado. Nesse trabalho, não foi possível a realização de mais medidas. Assim sendo, sugere-se que em situações onde se utilizam campos com assimetrias desses tipos o planejamento através do SPTC seja realizado com cuidado maior e seja comparado com cálculo manual, e se for possível com medidas experimentais.

Teste de Fótons 3 - Formato dos Campos

A tabela 3-56 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para campos com formatos complexos.

Tabela 3-56: Resultados dos testes dosimétricos para campos complexos para a Máquina Nova: 15MV - 2100C.

Campo	Tamanhos (cm²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
Campo1 (bloco corda no raio central)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	1,29 ± 0,01	7,55	8,00	5,86	≤ 15%	Sim
		10	1,71 ± 0,01	10,02	10,90	8,78	≤ 15%	Sim
		20	1,52 ± 0,01	8,96	9,00	0,45	≤ 15%	Sim
Campo2 (4 blocos laterais, 1/2 corda)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	16,14 ± 0,01	94,80	98,00	3,37	≤ 15%	Sim
		10	11,60 ± 0,01	68,12	72,00	5,69	≤ 15%	Sim
		20	6,97 ± 0,01	40,95	43,00	4,98	≤ 15%	Sim
Campo3 (côncavo)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	1,02 ± 0,01	6,02	6,90	14,57	≤ 15%	Sim
		10	1,13 ± 0,01	6,66	8,10	21,54	≤ 15%	Não
		20	0,98 ± 0,01	5,78	6,40	10,64	≤ 15%	Sim
Campo4 (convexo)	20x20	$d_{\max} = 1,5$	16,02 ± 0,01	94,08	81,00	13,91	≤ 15%	Sim
		10	11,30 ± 0,01	66,36	61,30	7,63	≤ 15%	Sim
		20	6,62 ± 0,01	38,89	40,00	2,83	≤ 15%	Sim

Cerca de 92% dos resultados para campos com geometrias mais complexas se apresentaram dentro dos níveis de tolerância, ou seja, uma concordância muito boa entre os valores experimentais e os gerados pelo SPTC.

Teste de Fótons 7 - Filtros Manuais

As tabelas 3- 57 e 3- 58 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos com filtros 60°R e 60°L.

Direção do Filtro - 60°R

Tabela 3- 57: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	d _{máx} = 1,5	3,48 ± 0,01	20,78	19,55	5,94	≤ 10%	Sim
10x10	d _{máx} = 1,5	3,70 ± 0,01	22,08	22,90	3,68	≤ 10%	Sim
15x28	d _{máx} = 1,5	4,02 ± 0,01	23,99	22,10	7,91	≤ 10%	Sim
5x5	10	2,87 ± 0,01	17,23	17,00	1,34	≤ 3%	Sim
10x10	10	4,48 ± 0,01	26,54	27,00	1,72	≤ 3%	Sim
15x28	10	3,15 ± 0,01	18,82	19,00	0,92	≤ 3%	Sim

Direção perpendicular ao Filtro - 60° L

Tabela 3- 58: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	d _{máx} = 1,5	3,51 ± 0,01	20,95	20,85	0,47	≤ 10%	Sim
10x10	d _{máx} = 1,5	3,73 ± 0,01	22,26	22,05	0,96	≤ 10%	Sim
15x28	d _{máx} = 1,5	4,05 ± 0,01	24,18	23,45	3,05	≤ 10%	Sim
5x5	10	2,68 ± 0,01	15,98	15,85	0,82	≤ 3%	Sim
10x10	10	2,91 ± 0,01	17,37	17,30	0,43	≤ 3%	Sim
15x28	10	3,17 ± 0,01	18,95	18,35	3,17	≤ 3%	Não

Para campos com filtros 92% dos resultados encontraram-se dentro dos níveis de tolerância com uma concordância muito boa entre os valores provenientes das medidas e do SPTC.

As tabelas 3- 59 e 3- 60 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos com filtros 60°R e 60°L e "off- axis".

Direção do Filtro - 60°R – “Off- Axis”

Tabela 3- 59: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}^*$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundida de (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabili dade	Concordân cia
0,5	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$6,47 \pm 0,01$	38,37	37,90	1,23	$\leq 15\%$	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$6,89 \pm 0,01$	40,87	40,20	1,66	$\leq 15\%$	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$7,53 \pm 0,01$	44,63	42,90	3,87	$\leq 15\%$	Sim
	5x5	10	$4,99 \pm 0,01$	29,56	29,00	1,92	$\leq 4\%$	Sim
	10x10	10	$5,43 \pm 0,01$	32,15	31,80	1,11	$\leq 4\%$	Sim
	15x28	10	$5,94 \pm 0,01$	35,17	33,80	3,89	$\leq 4\%$	Sim
1	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$6,24 \pm 0,01$	36,98	36,40	1,57	$\leq 15\%$	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$6,68 \pm 0,01$	39,57	39,00	1,44	$\leq 15\%$	Sim
	15 x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$7,32 \pm 0,01$	43,36	41,70	3,83	$\leq 15\%$	Sim
	5x5	10	$4,89 \pm 0,01$	28,98	27,90	3,73	$\leq 4\%$	Sim
	10x10	10	$5,34 \pm 0,01$	31,61	30,80	2,58	$\leq 4\%$	Sim
	15x28	10	$5,84 \pm 0,01$	34,58	32,80	5,15	$\leq 4\%$	Não
1,5	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$5,97 \pm 0,01$	35,39	33,80	4,50	$\leq 15\%$	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$6,49 \pm 0,01$	38,46	37,80	1,72	$\leq 15\%$	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$7,12 \pm 0,01$	42,18	40,40	4,24	$\leq 15\%$	Sim
	5x5	10	$4,69 \pm 0,01$	27,84	27,00	3,02	$\leq 4\%$	Sim
	10x10	10	$5,18 \pm 0,01$	30,72	30,00	2,35	$\leq 4\%$	Sim
	15x28	10	$5,63 \pm 0,08$	33,33	31,90	4,31	$\leq 4\%$	Não

Direção perpendicular ao Filtro - 60° L – “Off- Axis”

Tabela 3- 60: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L e “off- axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}^*$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundida de (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabili dade	Concordân cia
0,5	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$7,01 \pm 0,01$	41,55	43,10	3,73	$\leq 15\%$	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$7,46 \pm 0,01$	44,21	45,90	3,82	$\leq 15\%$	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$8,12 \pm 0,01$	48,11	48,70	1,22	$\leq 15\%$	Sim
	5x5	10	$5,37 \pm 0,01$	31,83	32,70	2,71	$\leq 4\%$	Sim
	10x10	10	$5,85 \pm 0,01$	34,67	35,90	3,52	$\leq 4\%$	Sim
	15x28	10	$6,38 \pm 0,01$	37,81	38,10	0,77	$\leq 4\%$	Sim
1	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$7,33 \pm 0,01$	43,40	44,30	2,05	$\leq 15\%$	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$7,84 \pm 0,01$	46,44	47,70	2,70	$\leq 15\%$	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$8,52 \pm 0,01$	50,47	50,60	0,24	$\leq 15\%$	Sim
	5x5	10	$5,54 \pm 0,01$	32,81	33,40	1,79	$\leq 4\%$	Sim
	10x10	10	$6,05 \pm 0,01$	35,86	37,10	3,45	$\leq 4\%$	Sim
	15x28	10	$6,59 \pm 0,01$	39,07	39,40	0,83	$\leq 4\%$	Sim
1,5	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$7,48 \pm 0,01$	44,34	44,50	0,36	$\leq 15\%$	Sim

10x10	$d_{\max} = 1,5$	$8,15 \pm 0,01$	48,27	49,50	2,55	$\leq 15\%$	Sim
15x28	$d_{\max} = 1,5$	$8,84 \pm 0,01$	52,36	52,70	0,64	$\leq 15\%$	Sim
5x5	10	$5,67 \pm 0,01$	33,58	33,60	0,06	$\leq 4\%$	Sim
10x10	10	$6,27 \pm 0,01$	37,17	38,30	3,03	$\leq 4\%$	Sim
15x28	10	$6,83 \pm 0,01$	40,47	40,90	1,06	$\leq 4\%$	Sim

Para campos com filtros e “off- axis” a concordância obtida foi muito boa com cerca de 94% dos resultados se apresentando dentro dos níveis de tolerância.

A tabela 3-61 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para SSD de 80 cm com filtros 60°R.

Para uma SSD de 80 cm - Filtro 60° R

Tabela 3- 61: Resultados dos testes dosimétricos para uma SSD de 80 cm com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundida de (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concor dância
0	15x15	$d_{\max} = 1,5$	$6,06 \pm 0,01$	36,14	34,50	4,54	$\leq 10\%$	Sim
		10	$8,84 \pm 0,01$	52,41	50,50	3,64	$\leq 3\%$	Não
		20	$5,56 \pm 0,01$	32,95	32,10	2,58	$\leq 3\%$	Sim
0,5	15x15	$d_{\max} = 1,5$	$5,84 \pm 0,01$	34,84	32,10	7,87	$\leq 10\%$	Sim
		10	$8,47 \pm 0,01$	50,18	48,70	2,96	$\leq 3\%$	Sim
		20	$5,39 \pm 0,01$	31,94	31,20	2,33	$\leq 3\%$	Sim
1	15x15	$d_{\max} = 1,5$	$5,63 \pm 0,01$	33,59	30,90	8,01	$\leq 10\%$	Sim
		10	$8,25 \pm 0,01$	48,89	47,10	3,65	$\leq 3\%$	Não
		20	$5,23 \pm 0,01$	30,96	30,20	2,48	$\leq 3\%$	Sim
1,5	15x15	$d_{\max} = 1,5$	$5,42 \pm 0,01$	32,36	29,75	8,08	$\leq 10\%$	Sim
		10	$7,98 \pm 0,01$	47,25	45,50	3,71	$\leq 3\%$	Não
		20	$5,06 \pm 0,01$	29,99	29,20	2,66	$\leq 3\%$	Sim

No caso de campos com filtro para uma SSD de 80 cm 75% dos resultados encontraram-se dentro dos níveis de tolerância, ou seja, uma concordância adequada entre os valores experimentais e os valores provenientes do Eclipse, tendo em vista que os pontos discordantes apresentaram valores de diferença percentual muito próximos dos critérios de aceitabilidade.

Teste de Fótons 9 - Perdas por espalhamento

A tabela 3-62 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento.

Tabela 3- 62: Resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

Localização	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
L1	15x15	10	13,33 ± 0,01	78,97	17,20	78,22	≤ 4%	Não
L2	15x15	10	5,85 ± 0,01	34,67	35,00	0,93	≤ 4%	Sim
L3	15x15	10	5,92 ± 0,01	35,07	17,70	49,52	≤ 4%	Não

Para os campos com perdas por espalhamento para a máquina nova – 15MV somente 1 das 3 medidas encontrou-se dentro dos níveis de tolerância, e as diferenças percentuais dos pontos discordantes estavam muito distantes dos critérios estabelecidos pelo TRS 430. Nesse caso, para uma melhor análise seria necessário um número maior de medidas.

Teste de Fótons 10 - Comportamento em regiões de “Build-Up”

As tabelas 3-63, 3-64 e 3-65 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na ausência de filtro e colimação, na presença de colimação e na presença de filtro de 60°R e colimação, respectivamente.

Sem Bloco e Sem Filtro

Tabela 3- 63: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na ausência de bloco e de filtro para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	1,5	14,95 ± 0,01	87,81	93,70	6,69	≤ 10%	Sim
10x10	1,5	15,91 ± 0,01	93,42	100,00	7,03	≤ 10%	Sim
15x28	1,5	16,75 ± 0,01	98,38	104,60	6,31	≤ 10%	Sim

Com Bloco

Tabela 3- 64: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” com 4 blocos laterais para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
4 blocos de 2 cm	5x5	1,5	14,37 ± 0,01	84,40	92,90	10,07	≤ 15%	Sim
4 blocos de 3 cm	10x10	1,5	15,37 ± 0,01	90,25	99,00	9,68	≤ 15%	Sim
4 blocos de 5 cm	15x28	1,5	16,30 ± 0,01	95,72	103,70	8,32	≤ 15%	Sim

Com bloco com filtro - 60° R

Tabela 3- 65: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” com de 4 blocos laterais e filtro 60° R para a Máquina Nova: 15MV - 2100C

	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
4 blocos de 2 cm	5x5	1,5	3,38 ± 0,01	19,52	20,10	0,51	≤ 15%	Sim
4 blocos de 3 cm	10x10	1,5	3,65 ± 0,01	21,03	21,50	1,22	≤ 15%	Sim
4 blocos de 5 cm	15x28	1,5	3,99 ± 0,01	23,04	23,00	3,55	≤ 15%	Sim

Para campos na região de “build-up” os resultados apresentaram uma concordância excelente com 100% das medidas dentro dos níveis de tolerância.

b-4) RESULTADOS DOS TESTES DOSIMÉTRICOS PARA A MÁQUINA NOVA – 2100C – 6 MV

Teste de Fótons 1 - Campos Quadrados e Retangulares

As tabelas 3-66 e 3-67 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e Retangulares

Campos Quadrados

Tabela 3- 66: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados para a Máquina Nova: 6MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5 x 5	10	5,04 ± 0,01	30,15	30,10	0,16	≤ 2%	Sim
10 x 10	10	5,64 ± 0,01	33,73	33,70	0,10	≤ 2%	Sim
20 x 20	10	6,21 ± 0,01	37,12	37,10	0,06	≤ 2%	Sim
26 x 26	10	6,39 ± 0,01	38,21	38,20	0,04	≤ 2%	Sim
10 x 10	20	3,25 ± 0,01	19,41	19,30	0,55	≤ 2%	Sim
24 x 24	20	3,91 ± 0,01	23,38	23,20	0,79	≤ 2%	Sim

Campos Retangulares

Tabela 3-67: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares para a Máquina Nova: 6MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade de	Concordância
5 x 26	10	5,51 ± 0,01	32,96	32,70	0,80	≤ 2%	Sim
26 x 5	10	5,39 ± 0,01	32,23	32,40	0,51	≤ 2%	Sim
5 x 24	20	3,08 ± 0,01	18,38	18,50	0,61	≤ 2%	Sim
24 x 5	20	3,13 ± 0,01	18,74	18,40	1,82	≤ 2%	Sim

Foi obtida uma concordância excelente para os resultados da máquina nova – 6 MV – 2100C, com 100% dos valores dentro dos níveis de tolerância.

As tabelas 3-68 e 3-69 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares “off- axis”.

Campos Quadrados “Off- Axis”

Tabela 3-68: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 2100C

d ^{off-axis} (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade de	Concordância
0,5	5 x 5	10	5,03 ± 0,01	30,06	30,00	0,21	≤ 3%	Sim
	10 x 10	10	5,64 ± 0,01	33,71	33,70	0,03	≤ 3%	Sim
	20 x 20	10	6,20 ± 0,02	37,07	37,10	0,08	≤ 3%	Sim
1	5 x 5	10	5,02 ± 0,01	30,01	29,80	0,71	≤ 3%	Sim
	10 x 10	10	5,65 ± 0,01	33,79	33,70	0,27	≤ 3%	Sim
	20 x 20	10	6,23 ± 0,01	37,21	37,10	0,30	≤ 3%	Sim
1,5	5 x 5	10	4,97 ± 0,01	29,74	29,50	0,82	≤ 3%	Sim
	10 x 10	10	5,66 ± 0,01	33,82	33,70	0,34	≤ 3%	Sim
	20 x 20	10	6,23 ± 0,01	37,26	37,20	0,15	≤ 3%	Sim

Campos Retangulares "Off- Axis"

Tabela 3- 69: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares "off- axis" para a Máquina Nova: 6MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5 x 26	10	5,51 \pm 0,01	32,94	32,60	1,03	\leq 3%	Sim
	26 x 5	10	5,39 \pm 0,01	32,23	32,40	0,51	\leq 3%	Sim
1	5 x 26	10	5,48 \pm 0,01	32,73	32,40	1,01	\leq 3%	Sim
	26 x 5	10	5,39 \pm 0,01	32,24	32,40	0,49	\leq 3%	Sim
1,5	5 x 26	10	5,41 \pm 0,01	32,32	32,00	0,98	\leq 3%	Sim
	26 x 5	10	5,42 \pm 0,01	32,38	32,50	0,35	\leq 3%	Sim

Para os campos quadrados e retangulares "off- axis" a concordância também foi excelente com 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância.

As tabelas 3- 70(a), 3- 70(b), e 3- 71(a), 3- 71(b) apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares angulados.

Campos Quadrados Angulados

Tabela 3- 70(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados para a Máquina Nova: 6MV - 2100C

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
30°	5 x 5	10	0,19 \pm 0,01	1,12	0,80	28,75	\leq 30%	Sim
	10 x 10	10	4,99 \pm 0,01	29,81	30,00	0,61	\leq 30%	Sim
	20 x 20	10	6,10 \pm 0,01	36,46	36,40	0,17	\leq 30%	Sim
45°	5 x 5	10	0,08 \pm 0,01	0,51	0,40	20,91	\leq 30%	Sim
	10 x 10	10	0,44 \pm 0,01	2,63	2,20	16,35	\leq 30%	Sim
	20 x 20	10	5,68 \pm 0,01	33,97	34,70	2,13	\leq 30%	Sim
60°	5 x 5	10	0,05 \pm 0,01	0,29	0,30	2,98	\leq 30%	Sim
	10 x 10	10	0,23 \pm 0,01	1,38	1,30	5,62	\leq 30%	Sim
	20 x 20	10	4,50 \pm 0,01	26,90	30,50	13,39	\leq 30%	Sim

Tabela 3-70(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados para a Máquina Nova: 6MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
30°	5 x 5	10	0,004	0,80	28,57	Sim
	10 x 10	10	0,119	30,12	1,04	Sim
	20 x 20	10	0,146	36,55	0,25	Sim
45°	5 x 5	10	0,002	0,40	21,57	Sim
	10 x 10	10	0,011	2,21	15,97	Sim
	20 x 20	10	0,136	34,84	2,56	Sim
60°	5 x 5	10	0,001	0,30	3,45	Sim
	10 x 10	10	0,005	1,31	5,07	Sim
	20 x 20	10	0,108	30,61	13,79	Sim

Campos Retangulares Angulados

Tabela 3-71(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados para a Máquina Nova: 6MV - 2100C

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
30°	5 x 26	10	0,41 ± 0,01	2,43	1,70	29,93	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	5,37 ± 0,01	31,84	31,90	0,19	≤ 30%	Sim
45°	5 x 26	10	0,21 ± 0,01	1,28	1,10	14,12	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	5,02 ± 0,01	29,99	30,40	1,36	≤ 30%	Sim
60°	5 x 26	10	0,13 ± 0,01	0,80	0,90	12,33	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	4,01 ± 0,01	23,99	26,50	10,47	≤ 30%	Sim

Tabela 3-71(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados para a Máquina Nova: 6MV - 2100C considerando a transmissão do colimador

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
30°	5 x 26	10	0,009	1,71	29,63	Sim
	26 x 5	10	0,127	32,03	0,60	Sim
45°	5 x 26	10	0,005	1,11	13,28	Sim
	26 x 5	10	0,120	30,52	1,77	Sim
60°	5 x 26	10	0,003	0,90	12,50	Sim
	26 x 5	10	0,096	26,60	10,88	Sim

Obteve-se novamente uma concordância excelente para os campos quadrados e retangulares “off-axis” com 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância. A transmissão do colimador apesar de alterar bastante nos valores de dose pequenos (< 5 cGy), continua não alterando significativamente nos valores de diferença percentual.

As tabelas 3-72(a), 3-72(b), e 3-73(a), 3-73(b) apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares angulados e “off-axis”.

Campos Quadrados Angulados e “Off Axis”

Tabela 3-72(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados e “off-axis” para a Máquina Nova: 6MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	30°	5 x 5	10	0,23 \pm 0,01	1,40	0,60	57,34	\leq 40%	Não
	45°	10 x 10	10	5,19 \pm 0,01	31,02	1,80	94,19	\leq 40%	Não
	60°	20 x 20	10	6,06 \pm 0,01	36,22	29,70	18,01	\leq 40%	Sim
1	30°	5 x 5	10	0,11 \pm 0,01	0,66	0,50	24,29	\leq 40%	Sim
	45°	10 x 10	10	0,65 \pm 0,01	3,87	1,60	58,65	\leq 40%	Não
	60°	20 x 20	10	5,65 \pm 0,01	33,75	29,70	12,01	\leq 40%	Sim
1,5	30°	5 x 5	10	0,06 \pm 0,01	0,36	0,50	38,03	\leq 40%	Sim
	45°	10 x 10	10	0,31 \pm 0,01	1,83	1,40	23,8	\leq 40%	Sim
	60°	20 x 20	10	4,46 \pm 0,01	26,68	29,80	11,68	\leq 40%	Sim

Tabela 3-72(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados e “off-axis” para a Máquina Nova: 6MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004 * D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
0,5	30°	5 x 5	10	0,006	0,61	56,43	Não
	45°	10 x 10	10	0,124	1,92	93,81	Não
	60°	20 x 20	10	0,145	29,84	17,61	Sim
1	30°	5 x 5	10	0,003	0,50	24,24	Sim
	45°	10 x 10	10	0,150	1,75	54,78	Não
	60°	20 x 20	10	0,135	29,83	11,61	Sim
1,5	30°	5 x 5	10	0,001	0,50	38,89	Sim
	45°	10 x 10	10	0,007	1,41	22,95	Sim
	60°	20 x 20	10	0,107	29,91	12,11	Sim

Campos Retangulares Angulados e "Off- Axis"

Tabela 3- 73(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados e "off- axis" para a Máquina Nova: 6MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	30°	5 x 26	10	0,48 \pm 0,01	2,86	1,50	47,68	\leq 40%	Não
	45°	26 x 5	10	5,28 \pm 0,01	31,58	30,70	2,81	\leq 40%	Sim
1	30°	5 x 26	10	0,27 \pm 0,01	1,59	1,40	12,02	\leq 40%	Sim
	45°	26 x 5	10	4,94 \pm 0,01	29,52	30,90	4,66	\leq 40%	Sim
1,5	30°	5 x 26	10	0,16 \pm 0,01	0,98	1,20	21,32	\leq 40%	Sim
	45°	26 x 5	10	3,90 \pm 0,01	23,33	31,20	33,70	\leq 40%	Sim

Tabela 3- 73(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados e "off- axis" para a Máquina Nova: 6MV - 2100C, considerando a transmissão do colimador

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004 * D_{abs})	Dose final (cGy) (D_{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
0,5	30°	5 x 26	10	0,011	1,51	47,20	Não
	45°	26 x 5	10	0,126	30,83	2,37	Sim
1	30°	5 x 26	10	0,006	1,41	11,32	Sim
	45°	26 x 5	10	0,118	31,02	5,08	Sim
1,5	30°	5 x 26	10	0,004	1,20	22,44	Sim
	45°	26 x 5	10	0,093	31,29	34,12	Sim

Cerca de 73% dos resultados dos testes de campos quadrados e retangulares angulados e "off- axis" se apresentaram dentro dos níveis de tolerância, ou seja, com uma concordância razoável, tendo em vista que alguns pontos de medições encontravam-se em regiões fora dos limites do campo de radiação, onde as incertezas são muito grandes.

Teste de Fótons 2 - Campos Assimétricos

As tabelas 3- 74 e 3- 75 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos e assimétricos com filtro 60° R .

Campos Assimétricos

Tabela 3-74: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos para a Máquina Nova : 6MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
X1 = 5, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	2,19 ± 0,01	13,13	15,10	14,96	≤ 3%	Não
X1 = 5, X2 = 0, Y1 = 5, Y2 = 5	10	3,01 ± 0,01	17,97	17,70	1,55	≤ 3%	Sim
X1 = 5, X2 = 2,5, Y1 = 2,5, Y2 = 5	10	5,29 ± 0,01	31,65	31,80	0,46	≤ 3%	Sim
X1 = 0, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	1,12 ± 0,01	6,68	6,30	5,72	≤ 3%	Não

Campos Assimétricos com Filtros – 60°R

Tabela 3-75: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos com filtro 60° R para a Máquina Nova: 6MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
X1 = 5, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	0,90 ± 0,01	5,38	6,40	18,82	≤ 4%	Não
X1 = 5, X2 = 0, Y1 = 5, Y2 = 5	10	1,27 ± 0,01	7,62	7,60	0,29	≤ 4%	Sim
X1 = 5, X2 = 2,5, Y1 = 2,5, Y2 = 5	10	2,17 ± 0,01	12,97	13,20	1,72	≤ 4%	Sim
X1 = 0, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	0,44 ± 0,01	2,61	2,50	4,33	≤ 4%	Não

A concordância de 50% se mantém para os testes de campos assimétricos para a máquina nova – 6 MV – 2100C. Para estas medidas foi utilizado o mesmo arranjo do teste 2 da subseção anterior (b-3), e as diferenças aqui também podem ser justificadas pelos mesmos argumentos mencionados anteriormente, pontos fora ou na borda do campo.

Teste de Fótons 3 - Formato dos Campos

A tabela 3-76 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para campos com formatos complexos.

Tabela 3-76: Resultados dos testes dosimétricos para campos complexos para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C.

Campo	Tamanhos (cm²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
Campo1 (bloco corda no raio central)	20x20	$d_{m\acute{a}x} = 1,5$	$0,62 \pm 0,01$	3,74	4,00	6,94	$\leq 15\%$	Sim
		10	$0,81 \pm 0,01$	4,87	5,00	2,55	$\leq 15\%$	Sim
		20	$1,49 \pm 0,01$	9,01	9,90	9,81	$\leq 15\%$	Sim
Campo2 (4 blocos laterais, 1/2 corda)	20x20	$d_{m\acute{a}x} = 1,5$	$8,29 \pm 0,01$	49,92	51,00	2,15	$\leq 15\%$	Sim
		10	$5,68 \pm 0,01$	34,14	37,00	8,35	$\leq 15\%$	Sim
		20	$3,41 \pm 0,01$	20,49	23,00	12,24	$\leq 15\%$	Sim
Campo3 (côncavo)	20x20	$d_{m\acute{a}x} = 1,5$	$0,51 \pm 0,01$	3,1	3,30	6,38	$\leq 15\%$	Sim
		10	$0,56 \pm 0,01$	3,38	4,30	27,01	$\leq 15\%$	Não
		20	$0,49 \pm 0,01$	2,94	3,70	25,67	$\leq 15\%$	Não
Campo4 (convexo)	20x20	$d_{m\acute{a}x} = 1,5$	$0,99 \pm 0,01$	5,52	6,00	8,59	$\leq 15\%$	Sim
		10	$0,94 \pm 0,01$	5,69	5,50	3,36	$\leq 15\%$	Sim
		20	$0,71 \pm 0,01$	4,27	4,00	6,44	$\leq 15\%$	Sim

Para os campos com formato complexo cerca de 83% dos resultados mostraram-se dentro dos níveis de tolerância, uma concordância boa para esse tipo de geometria de campo. Vale a pena ressaltar que as discordâncias ocorreram para o campo côncavo, e nesse formato de campo o raio central está sendo colimado, dessa forma é esperado que as incertezas sejam grandes.

Teste de Fótons 7 - Filtros Manuais

As tabelas 3-77 e 3-78 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos com filtros 60°R e 60°L.

Direção do Filtro - 60°R

Tabela 3-77: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C

Tamanhos (cm²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade de	Concordância
5x5	$d_{m\acute{a}x} = 1,5$	$3,13 \pm 0,01$	18,63	18,00	3,42	$\leq 10\%$	Sim
10x10	$d_{m\acute{a}x} = 1,5$	$3,32 \pm 0,01$	19,79	18,80	5,03	$\leq 10\%$	Sim
15x28	$d_{m\acute{a}x} = 1,5$	$3,59 \pm 0,01$	21,42	19,90	7,13	$\leq 10\%$	Sim
5x5	10	$2,06 \pm 0,01$	12,30	12,00	2,47	$\leq 3\%$	Sim
10x10	10	$2,31 \pm 0,01$	13,75	13,50	1,83	$\leq 3\%$	Sim
15x28	10	$2,58 \pm 0,01$	15,39	14,40	6,49	$\leq 3\%$	Não

Direção perpendicular ao Filtro - 60° L

Tabela 3-78: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	d _{máx} = 1,5	3,16 ± 0,01	18,83	19,20	1,92	≤ 10%	Sim
10x10	d _{máx} = 1,5	3,36 ± 0,01	20,02	20,00	0,10	≤ 10%	Sim
15x28	d _{máx} = 1,5	3,63 ± 0,01	21,64	21,30	1,57	≤ 10%	Sim
5x5	10	2,08 ± 0,01	12,40	12,60	1,54	≤ 3%	Sim
10x10	10	2,32 ± 0,01	13,81	14,20	2,78	≤ 3%	Sim
15x28	10	2,59 ± 0,01	15,46	15,20	1,71	≤ 3%	Sim

Cerca de 92% dos resultados para os testes para os campos com filtros estavam dentro dos níveis de tolerância, representando uma concordância muito boa entre os valores experimentais e os gerados pelo SPTC.

As tabelas 3-79 e 3-80 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos com filtros 60°R e 60°L e "off- axis".

Direção do Filtro - 60°R – "Off- Axis"

Tabela 3-79: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R e "off- axis" para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C

d ^{"off- axis"} (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5x5	d _{máx} = 1,5	3,01 ± 0,01	17,92	17,30	3,51	≤ 15%	Sim
	10x10	d _{máx} = 1,5	3,20 ± 0,01	19,08	18,20	4,65	≤ 15%	Sim
	15x28	d _{máx} = 1,5	3,47 ± 0,01	20,70	19,20	7,25	≤ 15%	Sim
	5x5	10	1,99 ± 0,01	11,89	11,60	2,49	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,23 ± 0,01	13,30	13,00	2,31	≤ 4%	Sim
	15x28	10	2,49 ± 0,01	14,88	14,20	4,61	≤ 4%	Não
1	5x5	d _{máx} = 1,5	2,89 ± 0,01	17,24	16,60	3,75	≤ 15%	Sim
	10x10	d _{máx} = 1,5	6,09 ± 0,01	36,27	34,80	4,07	≤ 15%	Sim
	15 x28	d _{máx} = 1,5	3,35 ± 0,01	19,99	18,60	6,98	≤ 15%	Sim
	5x5	10	1,93 ± 0,01	11,50	11,30	1,74	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,16 ± 0,01	12,89	12,70	1,51	≤ 4%	Sim
	15x28	10	2,42 ± 0,01	14,44	14,00	3,07	≤ 4%	Sim
1,5	5x5	d _{máx} = 1,5	2,78 ± 0,01	16,54	15,60	5,72	≤ 15%	Sim
	10x10	d _{máx} = 1,5	2,98 ± 0,01	17,73	16,90	4,69	≤ 15%	Sim
	15x28	d _{máx} = 1,5	3,24 ± 0,01	19,28	17,90	7,18	≤ 15%	Sim
	5x5	10	1,85 ± 0,01	11,01	11,00	0,13	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,09 ± 0,01	12,43	12,20	1,91	≤ 4%	Sim

15x28	10	2,35 ± 0,01	13,98	13,00	7,06	≤ 4%	Não
-------	----	-------------	-------	-------	------	------	-----

Direção perpendicular ao Filtro - 60° L – “Off- Axis”

Tabela 3- 80: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L e “off- axis” para a Máquina Nova – 6 MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundida de (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabili dade	Concordân cia
0,5	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,24 ± 0,01	19,32	19,90	2,96	≤ 15%	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,45 ± 0,01	20,53	20,80	1,27	≤ 15%	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,74 ± 0,01	22,26	22,10	0,72	≤ 15%	Sim
	5x5	10	2,14 ± 0,01	12,73	13,00	2,09	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,39 ± 0,01	14,25	14,70	3,11	≤ 4%	Não
	15x28	10	2,67 ± 0,01	15,90	15,70	1,29	≤ 4%	Sim
1	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,35 ± 0,01	19,99	20,50	2,53	≤ 15%	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,58 ± 0,01	21,31	21,60	1,32	≤ 15%	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,87 ± 0,01	23,04	22,90	0,64	≤ 15%	Sim
	5x5	10	2,19 ± 0,01	13,06	13,30	1,82	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,76 ± 0,01	16,44	15,10	8,19	≤ 4%	Não
	15x28	10	2,46 ± 0,01	14,68	16,20	10,31	≤ 4%	Não
1,5	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,46 ± 0,01	20,63	20,60	0,16	≤ 15%	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	3,72 ± 0,01	22,15	22,50	1,57	≤ 15%	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	4,01 ± 0,01	23,91	23,90	0,03	≤ 15%	Sim
	5x5	10	2,24 ± 0,01	13,35	13,50	1,09	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,54 ± 0,01	15,11	15,60	3,17	≤ 4%	Não
	15x28	10	2,84 ± 0,01	16,90	16,80	0,61	≤ 4%	Sim

Para os campos com filtro e “off- axis” cerca de 83% dos resultados mostraram- se dentro dos níveis de tolerância, representando uma concordância boa entre os valores experimentais e os medidos pelo SPTC.

A tabela 3-81 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para SSD de 80 cm com filtros 60°R.

Para uma SSD de 80 cm - Filtro 60° R

Tabela 3- 81: Resultados dos testes dosimétricos para uma SSD de 80 cm com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundida de (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabi lidade	Concordân cia
0	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	5,46 ± 0,01	32,53	31,70	2,58	≤ 10%	Sim
		10	3,68 ± 0,01	21,91	21,50	1,88	≤ 3%	Sim
		20	2,14 ± 0,01	12,77	12,60	1,39	≤ 3%	Sim

0,5	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$5,25 \pm 0,01$	31,30	30,30	3,21	$\leq 10\%$	Sim
		10	$3,53 \pm 0,01$	21,06	20,70	1,72	$\leq 3\%$	Sim
		20	$2,07 \pm 0,01$	12,34	12,20	1,18	$\leq 3\%$	Sim
1	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$5,00 \pm 0,01$	29,79	29,00	2,67	$\leq 10\%$	Sim
		10	$3,40 \pm 0,01$	20,27	19,80	2,35	$\leq 3\%$	Sim
		20	$2,00 \pm 0,01$	11,94	11,70	2,01	$\leq 3\%$	Sim
1,5	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$4,81 \pm 0,01$	28,65	27,70	3,33	$\leq 10\%$	Sim
		10	$3,28 \pm 0,01$	19,55	19,10	2,31	$\leq 3\%$	Sim
		20	$1,94 \pm 0,01$	11,56	11,30	2,32	$\leq 3\%$	Sim

A concordância obtida para os testes de campos com filtro em uma SSD de 80 cm foi excelente com 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância.

Teste de Fótons 9 - Perdas por espalhamento

A tabela 3-82 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento.

Tabela 3-82: Resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C

Localização	Tamanhos (cm ²)	Profundidade de (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
L1	15x15	10	$2,41 \pm 0,01$	14,36	14,00	2,54	$\leq 4\%$	Sim
L2	15x15	10	$5,95 \pm 0,01$	35,46	35,30	0,46	$\leq 4\%$	Sim
L3	15x15	10	$2,45 \pm 0,01$	14,62	14,40	1,50	$\leq 4\%$	Sim

Para os campos com perdas por espalhamento a concordância entre os valores experimentais e gerados pelo Eclipse também foi excelente para a máquina nova 6 MV - 2100C, com mais uma vez 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância.

Teste de Fótons 10 - Comportamento em regiões de "Build-Up"

As tabelas 3-83, 3-84 e 3-85 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para regiões de "build-up" na ausência de filtro e colimação, na presença de colimação e na presença de 60°R e colimação, respectivamente.

Sem Bloco e Sem Filtro

Tabela 3- 83: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build- up” na ausência de bloco e de filtro para a Máquina Nova: 6 MV - 2100C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério	
						Aceitabilidade	Concordância
5x5	1,5	7,92 ± 0,02	47,19	47,00	0,41	≤ 10%	Sim
10x10	1,5	8,40 ± 0,01	50,08	49,60	0,96	≤ 10%	Sim
15x28	1,5	8,89 ± 0,01	52,97	51,60	2,59	≤ 10%	Sim

Com Bloco

Tabela 3- 84: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build- up” na presença de bloco: 6 MV - 2100C

	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
4 blocos de 2 cm	5x5	1,5	7,63 ± 0,01	45,46	46,60	2,50	≤ 15%	Sim
4 blocos de 3 cm	10x10	1,5	8,09 ± 0,01	48,22	50,20	4,09	≤ 15%	Sim
4 blocos de 5 cm	15x28	1,5	8,65 ± 0,01	51,56	51,60	0,07	≤ 15%	Sim

Com bloco com filtro - 60° R

Tabela 3- 85: Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build- up” na presença de bloco e filtro 60°R: 6 MV - 2100C

	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
4 blocos de 2 cm	5x5	1,5	3,03 ± 0,01	18,03	18,60	3,12	≤ 15%	Sim
4 blocos de 3 cm	10x10	1,5	3,22 ± 0,01	19,22	19,60	1,98	≤ 15%	Sim
4 blocos de 5 cm	15x28	1,5	3,55 ± 0,01	21,16	20,40	3,59	≤ 15%	Sim

Para campos na região de “build- up” novamente 100% dos resultados estavam dentro dos níveis de tolerância, mostrando uma concordância excelente entre os valores experimentais e os gerados pelo SPTC.

b- 5) RESULTADOS DOS TESTES DOSIMÉTRICOS PARA A MÁQUINA NOVA – 600C – 6 MV

Teste de Fótons 1 - Campos Quadrados e Retangulares

As tabelas 3- 86 e 3- 87 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e Retangulares

Campos Quadrados

Tabela 3-86: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados para a Máquina Nova: 6MV - 600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5 x 5	10	10,23 ± 0,01	54,86	55,00	0,24	≤2%	Sim
10 x 10	10	11,40 ± 0,01	61,13	62,00	1,40	≤2%	Sim
20 x 20	10	6,24 ± 0,01	33,44	34,00	1,64	≤2%	Sim
26 x 26	10	6,40 ± 0,01	34,34	34,90	1,62	≤2%	Sim
10 x 10	20	3,27 ± 0,01	17,57	17,90	1,86	≤2%	Sim
24 x 24	20	3,93 ± 0,01	21,08	21,10	0,08	≤2%	Sim

Campos Retangulares

Tabela 3-87: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares para a Máquina Nova: 6MV - 600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade de	Concordância
5 x 26	10	5,55 ± 0,01	29,77	30,00	0,76	≤2%	Sim
26 x 5	10	5,48 ± 0,01	29,38	29,70	1,07	≤2%	Sim
5 x 24	20	3,14 ± 0,01	16,84	17,10	1,52	≤2%	Sim
24 x 5	20	3,11 ± 0,01	16,66	16,90	1,38	≤2%	Sim

A concordância entre os valores experimentais e gerados pelo Eclipse para a máquina nova – 6 MV – 600C foi de 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância, confirmando a boa compatibilidade entre os valores.

As tabelas 3-88 e 3-89 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares “off- axis” .

Campos Quadrados “Off- Axis”

Tabela 3-88: Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados “off- axis” para a Máquina Nova: 6MV - 600C

d ^{“off- axis”} (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade de	Concordância
0,5	5 x 5	10	5,12 ± 0,01	29,84	29,80	0,15	≤ 3%	Sim
	10 x 10	10	5,69 ± 0,01	33,21	33,20	0,02	≤ 3%	Sim

1	20 x 20	10	6,22 ± 0,01	36,29	36,70	1,12	≤ 3%	Sim
	5 x 5	10	5,10 ± 0,01	29,764	29,60	0,55	≤ 3%	Sim
	10 x 10	10	5,70 ± 0,01	33,27	33,20	0,23	≤ 3%	Sim
1,5	20 x 20	10	6,23 ± 0,01	36,35	36,70	0,95	≤ 3%	Sim
	5 x 5	10	5,06 ± 0,01	29,49	29,30	0,64	≤ 3%	Sim
	10 x 10	10	5,70 ± 0,01	33,28	33,20	0,23	≤ 3%	Sim
	20 x 20	10	6,25 ± 0,01	36,43	36,80	0,99	≤ 3%	Sim

Campos Retangulares "Off- Axis"

Tabela 3-89: Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares "off- axis" para a Máquina Nova: 6MV - 600C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5 x 26	10	5,53 ± 0,01	32,26	32,20	0,19	≤ 3%	Sim
	26 x 5	10	5,47 ± 0,01	31,92	32,00	0,22	≤ 3%	Sim
1	5 x 26	10	5,51 ± 0,01	32,13	32,00	0,42	≤ 3%	Sim
	26 x 5	10	5,49 ± 0,01	32,01	32,10	0,26	≤ 3%	Sim
1,5	5 x 26	10	5,44 ± 0,01	31,75	31,60	0,48	≤ 3%	Sim
	26 x 5	10	5,49 ± 0,01	32,06	32,10	0,11	≤ 3%	Sim

Para os campos quadrados e retangulares "off- axis" 100% dos resultados se apresentaram dentro dos níveis de tolerância, ou seja uma concordância excelente entre os valores obtidos experimentalmente e os valores provenientes do SPTC.

As tabelas 3-90(a), 3-90(b), e 3-91(a), 3-91(b) apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares angulados.

Campos Quadrados Angulados

Tabela 3-90(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados para a Máquina Nova: 6MV - 600C

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
30°	5 x 5	10	0,16 ± 0,01	0,88	0,80	9,86	≤ 30%	Sim
	10 x 10	10	4,59 ± 0,01	24,61	29,40	19,44	≤ 30%	Sim
	20 x 20	10	6,15 ± 0,01	32,99	36,50	10,63	≤ 30%	Sim
45°	5 x 5	10	0,07 ± 0,01	0,39	0,40	0,78	≤ 30%	Sim
	10 x 10	10	0,39 ± 0,01	2,13	2,20	2,93	≤ 30%	Sim

60°	20 x 20	10	5,75 ± 0,01	30,84	34,40	11,52	≤ 30%	Sim
	5 x 5	10	0,05 ± 0,01	0,24	0,30	21,60	≤ 30%	Sim
	10 x 10	10	0,21 ± 0,01	1,13	1,30	14,88	≤ 30%	Sim
	20 x 20	10	4,57 ± 0,01	24,49	29,90	22,08	≤ 30%	Sim

Tabela 3-90(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados para a Máquina Nova: 6MV - 600C, considerando a transmissão do colimador

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
30°	5 x 5	10	0,003	0,80	9,09	Sim
	10 x 10	10	0,098	29,50	19,87	Sim
	20 x 20	10	0,132	36,63	11,03	Sim
45°	5 x 5	10	0,001	0,40	2,56	Sim
	10 x 10	10	0,008	2,21	3,75	Sim
	20 x 20	10	0,123	34,52	11,93	Sim
60°	5 x 5	10	0,001	0,30	25,00	Sim
	10 x 10	10	0,004	1,30	15,04	Sim
	20 x 20	10	0,098	30,00	22,50	Sim

Campos Retangulares Angulados

Tabela 3-91(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados para a Máquina Nova: 6MV - 600C

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
30°	5 x 26	10	0,36 ± 0,01	1,91	1,70	11,45	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	5,45 ± 0,01	29,25	31,80	8,71	≤ 30%	Sim
45°	5 x 26	10	0,19 ± 0,01	1,01	1,10	8,23	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	5,15 ± 0,01	27,61	30,30	9,70	≤ 30%	Sim
60°	5 x 26	10	4,13 ± 0,01	22,17	26,50	19,48	≤ 30%	Sim
	26 x 5	10	0,12 ± 0,01	0,65	0,80	22,26	≤ 30%	Sim

Tabela 3-91(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados para a Máquina Nova: 6MV - 600C, considerando a transmissão do colimador.

Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
30°	5 x 26	10	0,008	1,71	10,47	Sim
	26 x 5	10	0,117	31,92	9,13	Sim
45°	5 x 26	10	0,004	1,10	8,91	Sim
	26 x 5	10	0,110	30,41	10,14	Sim
60°	5 x 26	10	0,089	26,59	19,94	Sim
	26 x 5	10	0,003	0,80	23,08	Sim

Para os campos quadrados e retangulares angulados foi obtida também uma concordância excelente com 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância. Nesse último feixe a ser analisado verificou-se novamente que a transmissão do colimador altera pouco nos resultados finais de dose.

As tabelas 3-92(a), 3-92(b), e 3-93(a), 3-93(b) apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados e retangulares angulados e "off-axis".

Campos Quadrados Angulados e "Off-Axis"

Tabela 3-92(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados e "off-axis" para a Máquina Nova: 6MV - 600C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeço te	Tamanhos (cm ²)	Profundi dade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabili dade	Concor dância
0,5	30°	5 x 5	10	0,14 \pm 0,01	0,81	0,60	25,99	\leq 40%	Sim
	45°	10 x 10	10	2,98 \pm 0,01	17,37	1,80	89,64	\leq 40%	Não
	60°	20 x 20	10	6,15 \pm 0,01	35,9	29,50	17,82	\leq 40%	Sim
1	30°	5 x 5	10	0,06 \pm 0,01	0,34	0,50	42,87	\leq 40%	Não
	45°	10 x 10	10	0,29 \pm 0,01	1,68	1,60	4,91	\leq 40%	Sim
	60°	20 x 20	10	5,76 \pm 0,01	33,61	29,50	12,22	\leq 40%	Sim
1,5	30°	5 x 5	10	0,03 \pm 0,01	0,21	0,50	141,47	\leq 40%	Não
	45°	10 x 10	10	0,15 \pm 0,01	0,89	1,40	56,36	\leq 40%	Não
	60°	20 x 20	10	4,50 \pm 0,01	26,27	29,60	12,64	\leq 40%	Sim

Tabela 3-92(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos quadrados angulados e "off-axis" para a Máquina Nova: 6MV - 600C, considerando a transmissão do colimador

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeço te	Tamanhos (cm ²)	Profun didade (cm)	Transmissão Colimador (0,004 * D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordân cia
0,5	30°	5 x 5	10	0,003	0,60	25,92	Sim
	45°	10 x 10	10	0,069	1,87	89,23	Não
	60°	20 x 20	10	0,144	29,64	17,44	Sim
1	30°	5 x 5	10	0,001	0,50	47,06	Não
	45°	10 x 10	10	0,007	1,61	4,17	Sim
	60°	20 x 20	10	0,134	29,63	11,84	Sim
1,5	30°	5 x 5	10	0,001	0,50	138,09	Não
	45°	10 x 10	10	0,003	1,40	57,30	Não
	60°	20 x 20	10	0,105	29,70	13,06	Sim

Campos Retangulares Angulados e "Off- Axis"

Tabela 3- 93(a): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados e "off- axis" para a Máquina Nova: 6MV - 600C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	30°	5 x 26	10	0,31 \pm 0,01	1,83	1,50	18,09	\leq 40%	Sim
	45°	26 x 5	10	5,48 \pm 0,01	31,94	30,60	4,22	\leq 40%	Sim
1	30°	5 x 26	10	0,16 \pm 0,01	0,91	1,40	52,88	\leq 40%	Não
	45°	26 x 5	10	5,22 \pm 0,01	30,47	30,90	1,41	\leq 40%	Sim
1,5	30°	5 x 26	10	0,10 \pm 0,01	0,58	1,20	105,73	\leq 40%	Não
	45°	26 x 5	10	4,25 \pm 0,01	24,78	31,10	25,5	\leq 40%	Sim

Tabela 3- 93(b): Resultados dos testes dosimétricos para campos retangulares angulados e "off- axis" para a Máquina Nova: 6MV - 600C, considerando a transmissão do colimador

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Cabeçote	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Transmissão Colimador (0,004*D _{abs})	Dose final (cGy) (D _{SPTC} + Trans. Col.)	Diferença %	Concordância
0,5	30°	5 x 26	10	0,007	1,51	17,49	Sim
	45°	26 x 5	10	0,128	30,73	3,79	Sim
1	30°	5 x 26	10	0,004	1,40	53,85	Não
	45°	26 x 5	10	0,122	31,02	1,80	Sim
1,5	30°	5 x 26	10	0,002	1,20	106,89	Não
	45°	26 x 5	10	0,099	31,20	25,91	Sim

Para os campos quadrados e retangulares angulados e "off- axis" a concordância entre os valores experimentais e gerados pelo SPTC foi abaixo do esperado com somente 60% dos resultados dentro dos níveis de tolerância. Mesmo tratando-se de uma geometria mais delicada com pontos de medida fora dos limites do campo prevê-se uma concordância melhor, ainda mais, porque a análise dos dados que caracterizam a máquina de tratamento no Eclipse está compatível com os dados do recomissionamento, inclusive nas regiões onde o sistema faz interpolações dos dados. Alguns pontos discordantes apresentaram valores de diferença percentual muito distantes dos critérios de aceitabilidade, portanto, nesse caso, a repetição das medidas seria o meio provável para se investigar as discordâncias.

Teste de Fótons 2 - Campos Assimétricos

As tabelas 3- 94 e 3- 95 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos e assimétricos com filtro 60° R.

Campos Assimétricos

Tabela 3-94: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos para a Máquina Nova: 6MV - 600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
X1 = 5, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	5,04 ± 0,01	27,04	15,00	44,54	≤ 3%	Não
X1 = 5, X2 = 0, Y1 = 5, Y2 = 5	10	5,27 ± 0,01	28,25	17,30	38,76	≤ 3%	Não
X1 = 5, X2 = 2,5, Y1 = 2,5, Y2 = 5	10	5,40 ± 0,01	28,98	29,70	2,46	≤ 3%	Sim
X1 = 0, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	4,75 ± 0,01	25,49	6,30	75,29	≤ 3%	Não

Campos Assimétricos com Filtros – 60°R

Tabela 3-95: Resultados dos testes dosimétricos para campos assimétricos com filtro 60° R para a Máquina Nova: 6MV - 600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
X1 = 5, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	2,07 ± 0,01	11,12	6,20	44,25	≤ 4%	Não
X1 = 5, X2 = 0, Y1 = 5, Y2 = 5	10	2,19 ± 0,01	11,79	7,70	34,72	≤ 4%	Não
X1 = 5, X2 = 2,5, Y1 = 2,5, Y2 = 5	10	2,23 ± 0,01	11,97	12,30	2,75	≤ 4%	Sim
X1 = 0, X2 = 5, Y1 = 0, Y2 = 5	10	1,94 ± 0,01	10,38	2,30	77,85	≤ 4%	Não

Somente 25% dos resultados para campos assimétricos e assimétricos com filtro se apresentaram dentro dos níveis de tolerância, mostrando uma compatibilidade muito baixa entre os valores medidos e os valores gerados pelo SPTC. Para os arranjos com assimetrias desses tipos, como foi visualizado para ambas as máquinas e para todos os feixes uma investigação mais apurada deve ser realizada.

Teste de Fótons 3 - Formato dos Campos

A tabela 3-96 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para campos com formatos complexos.

Tabela 3-96: Resultados dos testes dosimétricos para campos complexos para a Máquina Nova: 6 MV - 600C.

Campo	Tamanhos (cm²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
Campo1 (bloco corda no raio central)	20x20	d _{máx} = 1,5	0,62 ± 0,01	3,74	4,00	6,94	≤ 15%	Sim
		10	0,81 ± 0,01	4,87	5,30	8,71	≤ 15%	Sim
		20	1,49 ± 0,01	9,01	10,20	13,13	≤ 15%	Sim
Campo2 (4 blocos laterais, 1/2 corda)	20x20	d _{máx} = 1,5	8,29 ± 0,01	49,92	50,00	0,15	≤ 15%	Sim
		10	5,68 ± 0,01	34,14	36,20	6,01	≤ 15%	Sim
		20	3,41 ± 0,01	20,49	23,00	12,24	≤ 15%	Sim
Campo3 (côncavo)	20x20	d _{máx} = 1,5	0,51 ± 0,01	3,10	2,90	6,51	≤ 15%	Sim
		10	0,56 ± 0,01	3,38	4,10	21,11	≤ 15%	Não
		20	0,49 ± 0,01	2,94	3,60	22,27	≤ 15%	Não
Campo4 (convexo)	20x20	d _{máx} = 1,5	0,92 ± 0,01	5,52	6,40	15,83	≤ 15%	Não
		10	0,95 ± 0,01	5,69	5,50	3,36	≤ 15%	Sim
		20	0,71 ± 0,01	4,27	4,00	6,44	≤ 15%	Sim

Para os campos com formato mais complexos somente 2 resultados do campo côncavo e 1 do campo convexo não se mostraram dentro dos níveis de tolerância, assim sendo de forma geral a concordância foi razoável com 75% dos resultados de acordo com os critérios de aceitabilidade.

Teste de Fótons 7 - Filtros Manuais

As tabelas 3-97 e 3-98 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para campos com filtros 60°R e 60°L.

Direção do Filtro - 60°R

Tabela 3-97: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R para a Máquina Nova: 6 MV - 600C

Tamanhos (cm²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	d _{máx} = 1,5	3,26 ± 0,01	17,51	18,20	3,95	≤ 10%	Sim
10x10	d _{máx} = 1,5	3,45 ± 0,01	18,48	19,20	3,84	≤ 10%	Sim
15x28	d _{máx} = 1,5	3,70 ± 0,01	19,86	20,20	1,68	≤ 10%	Sim
5x5	10	2,11 ± 0,01	11,29	11,80	4,47	≤ 3%	Não
10x10	10	2,35 ± 0,01	12,59	12,90	2,44	≤ 3%	Sim
15x28	10	2,62 ± 0,01	14,04	14,30	1,82	≤ 3%	Sim

Direção perpendicular ao Filtro - 60° L

Tabela 3- 98: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L para a Máquina Nova: 6 MV - 600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	d _{máx} = 1,5	3,29 ± 0,01	17,64	19,00	7,66	≤ 10%	Sim
10x10	d _{máx} = 1,5	3,47 ± 0,01	18,61	20,40	9,63	≤ 10%	Sim
15x28	d _{máx} = 1,5	3,73 ± 0,01	20,01	20,70	3,42	≤ 10%	Sim
5x5	10	2,12 ± 0,01	11,36	11,70	2,97	≤ 3%	Sim
10x10	10	2,37 ± 0,01	12,69	13,90	9,52	≤ 3%	Não
15x28	10	2,64 ± 0,01	14,14	14,50	2,48	≤ 3%	Sim

Cerca de 83% dos resultados para campos com filtros se apresentaram dentro dos níveis de tolerância, mostrando uma concordância boa entre os valores medidos e os provenientes do Eclipse.

Direção do Filtro - 60°R - "Off- Axis"

Tabela 3- 99: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°R e "off- axis" para a Máquina Nova – 6 MV - 600C

d ^{off-axis} (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5x5	d _{máx} = 1,5	3,15 ± 0,01	16,89	17,50	3,57	≤ 15%	Sim
	10x10	d _{máx} = 1,5	3,33 ± 0,01	17,86	18,50	3,57	≤ 15%	Sim
	15x28	d _{máx} = 1,5	3,58 ± 0,01	19,21	19,40	0,95	≤ 15%	Sim
	5x5	10	2,04 ± 0,01	11,91	11,50	3,51	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,28 ± 0,01	13,31	13,00	2,37	≤ 4%	Sim
	15x28	10	2,55 ± 0,01	14,86	13,80	7,16	≤ 4%	Não
1	5x5	d _{máx} = 1,5	3,01 ± 0,01	17,56	16,70	4,94	≤ 15%	Sim
	10x10	d _{máx} = 1,5	3,19 ± 0,01	18,61	18,10	2,72	≤ 15%	Sim
	15 x28	d _{máx} = 1,5	3,44 ± 0,01	20,08	18,80	6,41	≤ 15%	Sim
	5x5	10	1,96 ± 0,01	11,46	10,90	4,89	≤ 4%	Não
	10x10	10	2,20 ± 0,01	12,86	12,60	2,03	≤ 4%	Sim
	15x28	10	2,46 ± 0,01	14,36	13,90	3,24	≤ 4%	Sim
1,5	5x5	d _{máx} = 1,5	2,88 ± 0,01	16,83	15,80	6,12	≤ 15%	Sim
	10x10	d _{máx} = 1,5	3,08 ± 0,01	17,99	17,30	3,87	≤ 15%	Sim
	15x28	d _{máx} = 1,5	3,33 ± 0,01	19,42	18,10	6,79	≤ 15%	Sim
	5x5	10	1,89 ± 0,01	11,01	10,90	1,01	≤ 4%	Sim
	10x10	10	2,13 ± 0,01	12,45	12,00	3,63	≤ 4%	Sim
	15x28	10	2,39 ± 0,01	13,93	12,90	7,44	≤ 4%	Não

Direção perpendicular ao Filtro - 60° L – “Off- Axis”

Tabela 3- 100: Resultados dos testes dosimétricos para campos com filtro 60°L e “off- axis” para a Máquina Nova: 6 MV - 600C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade de (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
0,5	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$3,41 \pm 0,01$	18,27	20,20	10,51	$\leq 15\%$	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$3,59 \pm 0,01$	19,28	21,30	10,46	$\leq 15\%$	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$3,84 \pm 0,01$	20,69	22,40	8,21	$\leq 15\%$	Sim
	5x5	10	$2,18 \pm 0,01$	12,71	12,90	1,45	$\leq 4\%$	Sim
	10x10	10	$2,44 \pm 0,01$	14,21	14,40	1,32	$\leq 4\%$	Sim
	15x28	10	$2,71 \pm 0,01$	15,83	15,60	1,47	$\leq 4\%$	Sim
1	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$3,52 \pm 0,01$	20,54	20,80	1,22	$\leq 15\%$	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$3,73 \pm 0,01$	21,75	22,20	2,02	$\leq 15\%$	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$3,99 \pm 0,01$	23,31	23,30	0,07	$\leq 15\%$	Sim
	5x5	10	$2,24 \pm 0,01$	13,08	13,10	0,11	$\leq 4\%$	Sim
	10x10	10	$2,52 \pm 0,01$	14,67	14,90	1,53	$\leq 4\%$	Sim
	15x28	10	$2,80 \pm 0,01$	16,34	16,10	1,52	$\leq 4\%$	Sim
1,5	5x5	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$3,63 \pm 0,01$	21,16	20,10	5,01	$\leq 15\%$	Sim
	10x10	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$3,88 \pm 0,01$	22,61	23,10	2,15	$\leq 15\%$	Sim
	15x28	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$4,15 \pm 0,01$	24,22	24,20	0,10	$\leq 15\%$	Sim
	5x5	10	$2,29 \pm 0,01$	13,40	15,20	13,40	$\leq 4\%$	Não
	10x10	10	$2,60 \pm 0,01$	15,17	15,40	1,45	$\leq 4\%$	Sim
	15x28	10	$2,89 \pm 0,01$	16,90	16,70	1,23	$\leq 4\%$	Sim

Para casos campos com filtro e “off- axis” cerca de 89% dos resultados se mostraram de acordo com os critérios de tolerância indicando uma concordância muito boa entre os valores medidos e os determinados pelo SPTC.

A tabela 3- 101 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para SSD de 80 cm com filtros 60°R.

Para uma SSD de 80 cm - Filtro 60° R

Tabela 3- 101: Resultados dos testes dosimétricos para uma SSD de 80 cm com filtro 60°R e “off- axis” para a Máquina Nova: 6 MV – 600C

$d_{\text{off-axis}}$ (cm)	Tamanhos (cm ²)	Profundidade de (cm)	Média $\pm \sigma$ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade de	Concordância
0	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$5,61 \pm 0,02$	32,71	32,10	1,88	$\leq 10\%$	Sim
		10	$3,75 \pm 0,01$	21,89	21,40	2,25	$\leq 3\%$	Sim
		20	$2,18 \pm 0,01$	12,73	12,40	2,63	$\leq 3\%$	Sim
0,5	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	$5,39 \pm 0,01$	31,44	30,70	2,37	$\leq 10\%$	Sim

		10	3,61 ± 0,01	21,07	20,50	2,72	≤ 3%	Sim
		20	2,11 ± 0,01	12,32	12,00	2,63	≤ 3%	Sim
1	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	5,14 ± 0,02	30,01	29,40	2,04	≤ 10%	Sim
		10	3,47 ± 0,01	20,25	19,70	2,72	≤ 3%	Sim
		20	2,04 ± 0,01	11,92	11,60	2,72	≤ 3%	Sim
1,5	15x15	$d_{\text{máx}} = 1,5$	4,96 ± 0,01	28,95	28,10	2,94	≤ 10%	Sim
		10	3,35 ± 0,01	19,55	19,00	2,81	≤ 3%	Sim
		20	1,98 ± 0,01	11,53	11,20	2,92	≤ 3%	Sim

Obteve-se uma excelente concordância para os campos com filtro e uma SSD de 80 cm, com 100% dos resultados dentro dos níveis de tolerância.

Teste de Fótons 9 - Perdas por espalhamento

A tabela 3-102 apresenta os resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento.

Tabela 3-102: Resultados dos testes dosimétricos para campos com perdas por espalhamento para a Máquina Nova: 6 MV - 600C

Localização	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
L1	15x15	10	0,29 ± 0,01	1,72	1,77	2,86	≤ 4%	Sim
L2	15x15	10	0,13 ± 0,01	0,78	0,77	1,84	≤ 4%	Sim
L3	15x15	10	0,22 ± 0,01	1,30	1,40	7,15	≤ 4%	Não

Para os campos com perdas por espalhamento 2/3 dos resultados encontraram-se dentro dos níveis de tolerância, representando uma boa compatibilidade entre os valores experimentais e gerados pelo SPTC, para esse tipo de geometria.

Teste de Fótons 10 - Comportamento em regiões de "Build-Up"

As tabelas 3-103, 3-104 e 3-105 apresentam os resultados dos testes dosimétricos para regiões de "build-up" na ausência de filtro e colimação, na presença de colimação e na presença de 60°R e colimação, respectivamente.

*Sem Bloco e Sem Filtro***Tabela 3-103:** Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na ausência de bloco e de filtro para a Máquina Nova: 6 MV - 600C

Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
5x5	1,5	8,15 ± 0,01	43,73	47,20	7,93	≤ 10%	Sim
10x10	1,5	8,56 ± 0,01	45,89	49,70	8,29	≤ 10%	Sim
15x28	1,5	8,96 ± 0,03	48,03	51,70	7,62	≤ 10%	Sim

*Com Bloco***Tabela 3-104:** Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na presença de bloco para a Máquina Nova: 6 MV - 600C

	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
4 blocos de 2 cm	5x5	1,5	7,62 ± 0,01	44,47	45,80	2,98	≤ 15%	Sim
4 blocos de 3 cm	10x10	1,5	8,26 ± 0,01	48,17	48,00	0,37	≤ 15%	Sim
4 blocos de 5 cm	15x28	1,5	8,69 ± 0,01	50,71	49,90	1,61	≤ 15%	Sim

*Com bloco com filtro - 60° R***Tabela 3-105:** Resultados dos testes dosimétricos para regiões de “build-up” na presença de bloco e filtro 60°R para a Máquina Nova: 6 MV - 600C

	Tamanhos (cm ²)	Profundidade (cm)	Média ± σ (nC)	Dose Absoluta (cGy)	Dose SPTC (cGy)	Diferença %	Critério Aceitabilidade	Concordância
4 blocos de 2 cm	5x5	1,5	2,64 ± 0,01	15,41	17,00	10,31	≤ 15%	Sim
4 blocos de 3 cm	10x10	1,5	2,99 ± 0,01	17,44	19,60	12,34	≤ 15%	Sim
4 blocos de 5 cm	15x28	1,5	3,26 ± 0,01	19,02	20,40	7,21	≤ 15%	Sim

Para a máquina nova, 6 MV – 600C as medidas na região de “build-up” também apresentaram um excelente resultado, com 100% dos valores dentro dos níveis de tolerância.

A tabela 3-106 apresenta o resumo dos resultados obtidos para os testes dosimétricos de comissionamento.

Tabela 3-106: Resumo dos resultados dos testes dosimétricos

Testes	Dif. % entre medidas e SPTC- Máquina Nova- 6 MV 600C	Dif. % entre medidas e SPTC- Máquina Nova- 6 MV 2100C	Dif. % entre medidas e SPTC- Máquina Nova- 15 MV 2100C	Dif. % entre medidas e SPTC- Máquina Velha- 6 MV 2100C/600C	Dif. % entre medidas e SPTC- Máquina Velha- 15 MV 2100C	Critério de Aceitabilidade
Campos Quadrados e Retangulares	100% $\leq \pm 2\%$	100% $\leq \pm 2\%$	80% $\leq \pm 2\%$	90% $\leq \pm 2\%$	70% $\leq \pm 2\%$	$\leq \pm 2\%$
Campos Quadrados e Retangulares e "Off- Axis"	100% $\leq \pm 3\%$	100% $\leq \pm 3\%$	93% $\leq \pm 3\%$	100% $\leq \pm 3\%$	86% $\leq \pm 3\%$	$\leq \pm 3\%$
Campos Angulados (30°, 45° e 60°)	100% $\leq \pm 30\%$	100% $\leq \pm 30\%$	93% $\leq \pm 30\%$	100% $\leq \pm 30\%$	93% $\leq \pm 30\%$	$\leq \pm 30\%$
Campos Angulados e "Off- Axis"	60% $\leq \pm 40\%$	73% $\leq \pm 40\%$	93% $\leq \pm 40\%$	73% $\leq \pm 40\%$	100% $\leq \pm 40\%$	$\leq \pm 40\%$
Campos Assimétricos e assimétricos com filtros	25% $\leq \pm 3\%$ a $\pm 4\%$	50% $\leq \pm 3\%$ a $\pm 4\%$	50% $\leq \pm 3\%$ a $\pm 4\%$	50% $\leq \pm 3\%$ a $\pm 4\%$	50% $\leq \pm 3\%$ a $\pm 4\%$	$\leq \pm 3\%$ a $\pm 4\%$
Campos Complexos – Côncavos, Convexos, com proteção no raio central.	75% $\leq \pm 15\%$	83% $\leq \pm 15\%$	92% $\leq \pm 15\%$	83% $\leq \pm 15\%$	83% $\leq \pm 15\%$	$\leq \pm 15\%$
Campos com Filtros Manuais 60°R e 60°L	83% $\leq \pm 3\%$	92% $\leq \pm 3\%$	92% $\leq \pm 3\%$	100% $\leq \pm 3\%$	100% $\leq \pm 3\%$	$\leq \pm 3\%$
Campos com Filtros Manuais 60°R e 60°L e "Off- Axis"	89% $\leq \pm 4\%$	83% $\leq \pm 4\%$	94% $\leq \pm 4\%$	94% $\leq \pm 4\%$	100% $\leq \pm 4\%$	$\leq \pm 4\%$
Campos com Filtros para SSD de 80 cm	100% $\leq \pm 3\%$	100% $\leq \pm 3\%$	75% $\leq \pm 3\%$	83% $\leq \pm 3\%$	92% $\leq \pm 3\%$	$\leq \pm 3\%$
Campos com perdas por espalhamento	67% $\leq \pm 4\%$	100% $\leq \pm 4\%$	33% $\leq \pm 4\%$	100% $\leq \pm 4\%$	67% $\leq \pm 4\%$	$\leq \pm 4\%$
Região de "Build-up"	100% $\leq \pm 15\%$	100% $\leq \pm 15\%$	100% $\leq \pm 15\%$	100% $\leq \pm 15\%$	100% $\leq \pm 15\%$	$\leq \pm 15\%$

A partir da tabela 3-106 é possível observar que os testes dosimétricos de feixes fótons apresentaram de forma geral bons resultados, sendo que as discordâncias maiores ocorreram para campos assimétricos e assimétricos com filtros. Dessa maneira, foi possível determinar quais os arranjos mais problemáticos, em que o cálculo de dose determinado pelo Eclipse se distancia dos valores experimentais. Para esses arranjos, como já mencionado anteriormente,

sugere-se uma investigação mais completa, com a realização de uma maior número de medições, uma análise estatística completa, e quando necessário um estudo do algoritmo.

Nesse trabalho a pouca quantidade de medições em alguns casos não permite que nenhuma conclusão seja tirada sobre a acurácia do sistema de planejamento. Entretanto, os resultados permitiram a análise de desempenho global do sistema, mostrando os arranjos mais delicados, e os arranjos em que o sistema funciona da forma esperada.

Para um programa de controle de qualidade, o essencial é que a distribuição do tratamento ocorra de forma segura, ou seja, que a equipe tenha controle sobre o plano e a liberação do tratamento, além dos erros e incertezas presentes em cada etapa do planejamento. Sendo assim, os testes como apresentados nesse trabalho são suficientes para garantir uma análise do SPTC, já que permitem verificar o desempenho do sistema em diversas situações pontuando aspectos críticos e garantindo a sua boa funcionabilidade situações cujos os resultados estejam próximos ao ideal sugerido pelo TRS430.

Esses testes proporcionam à equipe responsável pelo planejamento o conhecimento de como o SPTC procede nas diversas regiões do feixe de radiação, quais os cálculos mais próximos dos níveis de tolerância e quais os mais distantes, e assim, quais os cálculos mais confiáveis e quais os cálculos que precisam ser monitorados.

3.2.5 RESULTADO DOS TESTES DE COMISSONAMENTO – UNIDADES MONITORAS

Os testes de unidade monitora compararam os valores de UMs gerados pelo SPTC com os valores calculados manualmente (através da equação 6). Para as máquinas antigas, os cálculos manuais foram realizados utilizando tabelas elaboradas a partir dos dados provenientes da caracterização das máquinas no CadPlan, e para as máquinas novas, novas tabelas foram confeccionadas a partir dos dados do recomissionamento dos aceleradores. Essas novas tabelas foram montadas com mais detalhes do que as tabelas antigas, a fim de tornar os cálculos manuais e os valores gerados pelo Eclipse o mais compatível possível.

Para ambas as máquinas foram realizados cálculos com arranjos simples, arranjos com modificadores de feixe, e para casos clínicos. O TRS 430 sugere que para cálculos no raio central o nível de tolerância para a diferença percentual (determinada pela equação 10) seja $\leq 2\%$, e para cálculos de campos com modificadores de feixe, ou conformacionados seja $\leq 3\%$.

$$\delta = \frac{(UM_{SPTC} - UM_{calc.})}{UM_{calc.}} \quad (10)$$

No caso dos testes realizados para a máquina antiga, tanto para o feixe de 6MV - 2100C/600C, quanto para o feixe de 15 MV - 2100C encontrou-se uma diferença de até 2% para os campos de arranjos simples (raio central e distâncias "off-axis" pequenas), mas para campos com modificadores de feixes e campos conformacionados, a diferença percentual entre os cálculos manuais e os cálculos provenientes do SPTC variaram de 3% a 4%, valores um pouco maiores do que o nível de tolerância estipulado pelo TRS 430. Como os dados transferidos do CadPlan não têm procedência conhecida, a qualidade desses dados pode ser o principal fator dessa diferença percentual acima do critério de aceitabilidade.

Os feixes de 15 MV – 2100C, 6 MV – 2100C , e 6 MV - 600C da máquina nova também apresentaram diferenças de até 2% para os campos de arranjos simples, e para campos com modificadores de feixes e conformados a diferença variou de 2% a 3%, ou seja, diferenças dentro dos níveis de tolerância sugeridos pelo TRS 430. Um resultado esperado, já que os dados das tabelas de cálculo manual são idênticos aos dados inseridos no Eclipse (exceto pelas interpolações realizadas pelo SPTC) para a caracterização das máquinas novas . Os fatores de correções, como o fator filtro, e fator de espalhamento, utilizados pelo SPTC e para o cálculo manual, apresentam valores também compatíveis.

Assim sendo, o sistema de planejamento apresentou de modo geral um bom desempenho tanto nos cálculos de UMs quanto nos cálculos de dose absoluta. E suas ferramentas funcionaram de acordo com as indicações fornecidas pelo fabricante.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O programa de controle de qualidade estabelecido para o sistema de planejamento recentemente instalado no HC, o Eclipse 7.3.10[®] da Varian, seguindo o mais recente documento da AIEA o TRS 430¹⁸, foi implantado com sucesso considerando as necessidades do serviço de radioterapia desse hospital.

Para tanto, foram realizados testes de aceitação, de comissionamento, e foram estabelecidas as diretrizes para os testes rotineiros, assim como suas frequências, e um roteiro para controle individual do paciente.

Os testes de aceitação foram realizados durante a instalação do sistema, e todos os testes apresentaram funcionamento adequado e excelente concordância com as especificações do fabricante.

Os testes de comissionamento não dosimétricos também apresentaram resultados excelentes, com praticamente todas as ferramentas e desempenho geral do sistema estando de acordo com as recomendações estipuladas no TRS 430. O Eclipse não permite planejamentos que contenham incoerências físicas. Nesses casos, o sistema mostra uma mensagem de erro e não permite a continuidade do planejamento.

Os testes que comparavam os valores de UMs gerados pelo SPTC com os calculados manualmente mostraram cerca de 2% de diferença percentual para campos com geometrias simples tanto para os dados da máquina antiga, como para os dados da máquina nova. Para campos que continham modificadores de feixes, e campos conformacionados os cálculos para a máquina antiga apresentaram diferença percentual de 3% a 4%, e os valores da diferença percentual para os dados da máquina nova variaram de 2% a 3%.

O nível de tolerância determinado pelo TRS 430 para diferenças percentuais no cálculo de UMs é de 2% para campos com geometrias simples, e 3% para campos com modificadores de feixe e conformacionados. Dessa forma, verificou-se que os dados da máquina nova apresentaram resultados melhores do que os dados da máquina antiga, mostrando os valores de diferença percentual dentro dos critérios de aceitabilidade.

Esse resultado já era esperado, tendo em vista que os dados provenientes do CadPlan não têm procedência conhecida e portanto, a qualidade dos dados não pode ser confirmada. Os dados da máquina nova foram cuidadosamente obtidos com o auxílio do objeto simulador "Blue Phantom", e inseridos no SPTC, validando a qualidade dos dados de caracterização da máquina nova.

Através dos testes dosimétricos foi possível constatar que o Eclipse desempenha de forma satisfatória o cálculo de doses para diversas situações de planejamento, sendo que a maioria dos testes para diversas regiões do feixe e geometrias de campo apresentaram de 80% a 90% dos pontos de medições dentro dos níveis de tolerância, tanto para a máquina antiga quanto para a nova. Alguns casos apresentaram de 80% a 70% dos pontos dentro dos níveis de tolerância e poucas situações mostraram menos de 70% dos pontos em concordância com os critérios de aceitabilidade.

As diferenças mais críticas ocorreram para campos assimétricos e assimétricos com filtro para ambas as máquinas (50% dos pontos abaixo dos níveis de tolerância para todos os feixes, exceto para o feixe 6 MV- 600C da máquina nova que apresentou 75% dos pontos discordantes), e para campos com perdas por espalhamento para os feixes: 15MV – 2100C da máquina antiga (67% dos pontos discordantes), 5MV – 2100C da máquina nova (33% dos pontos discordantes), e 6 MV – 600C da máquina nova (67% de pontos discordantes). É importante ressaltar também que os resultados para o feixe de 15 MV da Máquina Nova apresentou resultados menos satisfatórios do que os outros feixes para os diversos arranjos experimentais.

Nesses casos para uma conclusão efetiva sobre as diferenças encontradas um número bem maior de medidas seria requerido para a realização de uma análise estatística mais refinada.

Apesar do número pequeno de medidas foi possível confirmar o bom desempenho do Eclipse, e pontuar as situações de planejamento mais delicadas que necessitam de maior cautela por parte da equipe responsável pelo plano de tratamento. Dessa forma, os testes desempenharam a sua função dentro de um programa de controle de qualidade, ou seja, caracterizaram o SPTC para diversas regiões de feixe e geometrias de campo. Caso seja desejada uma análise mais

precisa sobre a acurácia do sistema sugere-se que um grande número de medidas sejam realizadas, e que o método do Δ seja aplicado à esses dados.

O TRS 430 apresenta também os testes a serem aplicados para feixes de elétrons. Dessa forma, para a análise completa do SPTC é necessário que os testes para feixes de elétrons sejam executados e submetidos aos critérios de aceitabilidade sugeridos pelo documento em questão. Trabalhos realizando essa pesquisa, contribuiriam de forma significativa e complementar à caracterização do SPTC.

O programa de controle de qualidade apresentado nesse trabalho, se mostrou exequível dentro da prática clínica. Logo, é indicado que programas desse tipo sejam implementados para outros sistemas de planejamentos. Sugere-se também, que os testes apresentados pelo TRS 430 sejam aplicados em SPTCs que utilizam algoritmos baseados no método de Monte Carlo.

ANEXO I

ALGORITMO DE CÁLCULO DE DOSE PARA FEIXE DE FÓTONS – “PENCIL BEAM CONVOLUTION”

Para feixes de fótons o algoritmo de cálculo de dose utilizado pelo Eclipse é o “Pencil Beam Convolution”². O processo de cálculo desse algoritmo para a determinação da distribuição de dose segue três etapas. São elas: (1) Reconstrução do feixe – a dose é calculada em um objeto simulador homogêneo e com superfície lisa; (2) Modelagem do paciente – correção para a geometria do paciente; (3) Cálculo de UM – cálculo de UM a partir das distribuições de dose geradas. O fabricante garante que a acurácia do cálculo de dose pelo sistema para feixes de fótons em situações clínicas varia de 2% a 3%.

O modelo de reconstrução do feixe pelo algoritmo utiliza-se de um meio equivalente a água e homogêneo, sendo que os modificadores de feixes são levados em consideração somente em uma etapa posterior. Esse algoritmo é baseado em um modelo de convolução para kernels de “pencil beam”, sendo que inicialmente o cálculo é realizado para uma geometria SSD. Como representado na figura anexa I:

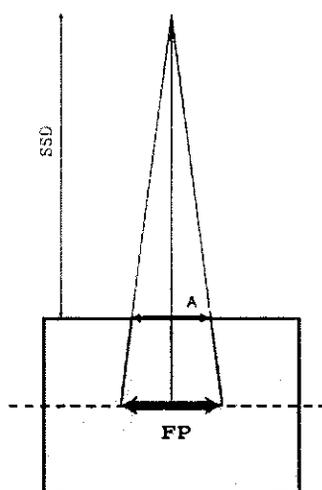


Figura Anexa I: Esquema de tratamento SSD

Em princípio a dose para o volume inteiro pode ser calculada pelo “pencil beam convolution”, mas isso requer uma demanda muito grande de tempo, sendo assim, a convolução é usada para calcular a dose somente em cinco planos perpendiculares ao feixe, e a dose para os outros pontos do volume é interpolada.

Uma vez que a dose foi reconstruída num meio equivalente a água para

uma geometria SSD, ela é transladada para uma geometria CSSD como na figura anexa II, que representa a verdadeira distância no eixo central do foco do campo até a pele do paciente. Essa translação é feita pelo método padrão que se utiliza do fator F de Mayneord's e da correção de TAR, esse método está detalhado no capítulo 9 da referência²⁵. Finalmente o modelo do paciente é aplicado para corrigir a curvatura da pele.

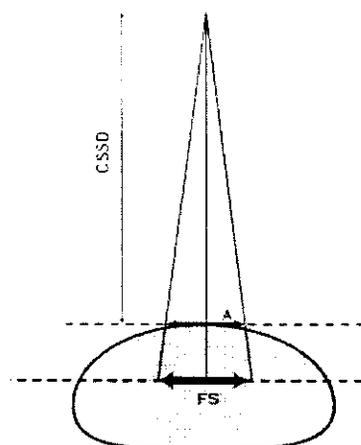


Figura Anexa II: Esquema CSSD, tratamento SSD corrigido para a curvatura do paciente

A equação básica utilizada pelo algoritmo para calcular a dose D em um ponto arbitrário (x, y, z) para um campo F é:

$$D(x, y, z) = D_o(z; F) \times P(x, y, z; F) \times C_0 \quad (i)$$

em que:

D (x, y, z) - dose em um ponto arbitrário para um campo F.

Reconstrução do modelo do feixe:

$D_a(z; F)$ - dose em profundidade através do eixo efetivo do campo.

$P(x, y, z; F)$ – razão "off- axis".

Modelo do paciente:

C_0 – Correção para a obliquidade da pele.

Na equação (i) o modelo de reconstrução do feixe para o cálculo de dose

em um ponto arbitrário é decomposto em dois fatores: a profundidade de dose e as distâncias “off- axis”. Para o cálculo de dose no volume o método da convolução usa kernels de “pencil beam” que representam a distribuição de dose absorvida em um objeto simulador de água em uma geometria SSD resultante de um feixe de fótons circular muito pequeno, a convolução é feita somando-se cada “pencil beam”, e atribuindo pesos de acordo com a intensidade do feixe, para obter a contribuição total da dose. A convolução é expressa pela equação (ii) abaixo:

$$D(x, y, z; F) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(x', y') P_{int}(x', y', z) K(x - x', y - y', z) dx' dy' \quad (iii)$$

em que:

$K(x, y, z)$ – kernel de “pencil beam”.

$K(r, z)$ – kernel de “pencil beam” quando a simetria de rotação é levada em conta.

$F(x, y)$ – Função da intensidade de campo.

$P_{int}(x, y, z)$ – perfil de intensidade (fluência normalizada para os fótons primários na profundidade).

O perfil de intensidade (P_{int}) calcula a não planura do feixe pra campos abertos e variações da fluência em profundidade em um objeto simulador de água. As variações são devido às variações do espectro de energia do feixe em função das distâncias “off- axis.”

A convolução é feita em 5 profundidades padrões para cada medida de feixe, a dose em pontos arbitrários fora das profundidades padrões é interpolado ao longo desses planos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] EVANS, M.D.C., "Computerized Treatment Planning Systems for External Photon Beam Radiotherapy", Review of Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, ch. 11. Disponível em:

<<http://www-naweb.iaea.org/nahu/dmrp/syllabus.shtm>> Acessado em: 26/05/2004

[2] VARIAN MEDICAL SYSTEMS, Planning Reference Guide for Eclipse, 2004.

[3] DYK J. V.; BARNETT, R. B., BATTISTA J. J., "Computerized Radiation Treatment Planning Systems", The Modern Technology of Radiation Oncology: A Compendium for Medical Physicists and Radiation Oncologists (VAN DYK, J., Ed.), Medical Physics Publishing, Madison, WI, ch. 8, 1999.

[4] TSIEN, K. C. "The application of automatic computing machines to radiation treatment planning", *Br. J. Radiol.*, v. 28, p.432- 439, 1985.

[5] ASPIN, N., H. E. JOHNS, R. J. HORSLEY. "Depth dose data for rectangular fields." *Radiol.*, v. 76, p. 76- 81, 1961.

[6] CLARCKSON, J. R., "A note on depth doses in fields of irregular shape." *Br. J. Radiol.*, v. 14, p. 265 – 267, 1941.

[7] TSIEN, K. C., AND M. COHEN., "Isodose Charts and Tables for Medium Energy X-Rays." (London: Butterworth), 1962.

[8] McCULLOUGH, E. G., KRUEGER, A. M., "Performance evaluation of computerized treatment planning systems for radiotherapy: External photon beams." *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, v. 6, p. 1599- 1605, 1980.

[9] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Use of Computers in External Beam Radiotherapy Procedures with High- energy Photons and Electrons, Rep. 42, ICRU, Bethesda, MD, 1987.

[10] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, "Comprehensive QA for Radiation Oncology", AAPM Rep. 46, *Med. Phys.*, v. 21,

issue 4, 1994.

[11] VAN DYK, J., BARNETT, R. B., CYGLER, J. E., SHRAGGE, P.C., "Commissioning and Quality Assurance of Treatment Planning Computers." *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, v. 26, p. 261- 273, 1993.

[12] DAHL, R. A., McCULLOUGH, E. G., MELLENBERG, D. E., "A Quality Assurance Program for Monitor Unit Calculators", *Med. Phys.*, v. 17, p. 103-105, 1990.

[13] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE RADIATION THERAPY COMMITTEE TASK GROUP 53, "Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning", *Med. Phys.*, v. 25, p. 1773- 1829, 1998.

[14] SWISS SOCIETY OF RADIOBIOLOGY AND MEDICAL PHYSICS, Quality control of treatment planning systems for teletherapy, Recommendations N° 7, SSRPM, 1999.

[15] IEC REPORT 62083. Medical electrical equipment – Requirements for the safety of radiotherapy treatment planning systems. International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2000.

[16] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Prevention of Accidental Exposures to Patients Undergoing Radiation Therapy, Publication 86, Pergamon Press, Oxford and New York, 2000.

[17] KEHOE, T., RUGG, L., J., "From technical quality assurance of radiotherapy to a comprehensive quality of service management system", *Radiotherapy and Oncology*, v. 51, p. 281-290, 1999.

[18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Commissioning and quality assurance of computerized planning systems for radiation treatment of cancer – TRS 430, IAEA, Vienna, 2004.

[19] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, (ICRU), "Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy - Supplement to ICRU Report 50", ICRU Report 62, Bethesda, Maryland, USA, 1999.

[20] PODGORSK, E. B., "External Photon Beams: Physical Aspects", Review of Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, ch. 6. Disponível em: <<http://www-naweb.iaea.org/nahu/dmrp/syllabus.shtm>>. Acessado em: 15/08/2005

[21] SCAFF, L. A. M., Física da Radioterapia, São Paulo, Sarvier, 1997.

[22] ESTRO BOOKLET 7, Quality Assurance in Treatment Planning Systems Practical Examples for Non-IMRT Photon Beams, ESTRO, Brussels, Belgium, 2004.

[23] MÜLLER, M. R., "Cálculo Independente das Unidades Monitoras e Tempos de Tratamento em Radioterapia", Tese de Mestrado, 2004.

[24] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water – TRS 398, IAEA, Vienna, 2001.

[25] VENSELAAR, J., WELLEWEERD, H., MIJNHEER, B., "Tolerances for the accuracy of photon beam dose calculations of treatment planning systems", *Radiother. Oncol.*, v. 60, p. 191-201, 2001.

[26] The Physics of Radiation Therapy, Faiz M. Khan, second edition, Williams & Wilkins, 1994.

[27] VENSELAAR, J., WELLEWEERD, H., "Application of a test package in a intercomparison of the photon dose calculation performance of treatment planning systems used in a clinical setting", *Radiother. Oncol.*, v. 60, p. 203-213, 2001.

GLOSÁRIO

beam's eye view (BEV). Projeção 3-D da anatomia do paciente e geometria de campo, vistos a partir da fonte de radiação.

bolus. Material tecido-equivalente colocado sob a superfície do paciente para homogeneizar a dose superficial.

DICOM. Padrão de formato de arquivo e protocolos de transferência para imagem.

digitally reconstructed radiograph DRR. É uma imagem calculada a partir das imagens e TC do paciente, que simulam filmes de megavoltagem.

dose-volume histogram (DVH). Trata-se de um histograma que mostra o número de voxels de uma estrutura que recebe uma dada dose

multileaf collimator (MLC). Um sistema de colimação que incorpora montagem de lâminas controladas por computadores criando as aberturas de feixes definidas pelo usuário.



M23282



Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Diretoria de Ensino & Informação Científica e Tecnológica
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone/Fax(0XX11) 3816 - 9148
SÃO PAULO - São Paulo - Brasil
<http://www.ipen.br>

O Ipen é uma autarquia vinculada à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico e Turismo do Estado de São Paulo, gerida técnica, administrativa e financeiramente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do Ministério da Ciência e Tecnologia, e associada à Universidade de São Paulo.