

Validação de Filtro Dinâmico em um acelerador linear Clinac 2100 CD

Validation of the Enhanced Dynamic Wedge in a linear accelerator Clinac 2100 CD

Larissa Frediani¹, Camila Pessoa de Sales², Caroline Zeppellini dos Santos Emiliozzi², Gabriela Reis Santos de Jesus², Laura Furnari²,

¹Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
²Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Resumo

O filtro dinâmico otimizado (*Enhanced Dynamic Wedge, EDW*) utiliza o movimento dos colimadores para a criação de feixes com perfis inclinados, simulando o filtro físico com a vantagem de diminuir o tempo de tratamento. Para validação do sistema foram feitas comparações entre dados medidos e calculados pelo sistema de planejamento. Na comparação da fluência de perfil dos feixes e das fluências de planos de tratamentos utilizou-se a análise *gamma*. Para a avaliação do fator filtro e da PDP (Porcentagem de Dose Profunda) analisaram-se os desvios entre os resultados das medições e os valores esperados. Os resultados da análise *gamma* variaram entre 96% e 100% para os perfis de feixe e foram da ordem de 100% para os planos de tratamento. Os desvios encontrados para o fator filtro e a PDP foram inferiores a 1,9%. Assim os resultados se mostraram satisfatórios.

Palavras-chave: Filtro Dinâmico, Tabelas Segmentadas de Tratamentos, Fator Filtro.

Abstract

The Enhanced Dynamic Wedge (EDW) uses the jaw's motion to create the sloping profiles, simulating the hard wedge with the advantage of decreasing the treatment time. To validate the system, some comparisons were performed between data measured and calculated by the treatment planning system. The gamma analysis was used to compare the beam profile fluence and treatment plane fluences. For the evaluation of the filter factor and the PDD (Percentage Depth Dose) the deviations between the results of the measurements and the expected values were analyzed. The results of the gamma analysis were between 96% and 100% for beam profile and around 100% for treatment planes. The deviations found for the filter factor and PDD were lower than 1.9%. Thus the results were satisfactory.

Keywords: *Enhanced Dynamic Wedge; Segmented Treatment Tables; Wedge Factor.*

1. Introdução

Para se atingir o objetivo de entregar uma dose homogênea nos tumores e uma dose mínima nos órgãos sadios adjacentes em tratamentos conformacionais, pode-se utilizar alguns acessórios, como os filtros. Estes são aparatos que são sobrepostos ao feixe com a finalidade de modificá-lo, criando um perfil inclinado, e assim compensando a falta de tecido.

Com o surgimento de novas tecnologias, como *Field in Field*, radioterapia de intensidade modulada (IMRT) e até mesmo o uso do filtro dinâmico, os filtros físicos passaram a ser uma tecnologia ultrapassada, pois além de modificar o feixe e a energia, eles são pesados e nada práticos².

O EDW utiliza movimento dos colimadores para a criação de perfis de dose semelhantes aos do filtro físico¹. Suas características principais estão descritas na Tabela 1. Para isso, um dos colimadores fica estático enquanto o oposto se movimenta no sentido do primeiro (Figura 1). Esse movimento é controlado pelas Tabelas Segmentadas de Tratamento (STT)¹.

As STTs estão armazenadas no console do acelerador e especificam o movimento dos colimadores com passos igualmente espaçados

como uma função de dose cumulativa³. Sendo assim, tanto a taxa de dose quanto a velocidade do colimador, variam durante o tratamento.

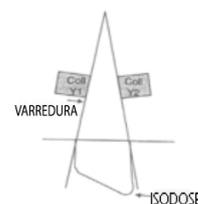


Figura 1. O esquema mostra o perfil de dose inclinado, simulando um filtro físico, resultante do movimento do colimador Y1 em direção ao Y2¹.

Tabela 1 – Características do Filtro Dinâmico

Ângulos disponíveis	10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 45°, 60°
Campos	Simétricos e Assimétricos
Orientação	Y1-in; Y2-out
Limites do tamanho de campo	Y estático=10cm; Y move =20 cm
Energias	Todas

A definição para o ângulo do filtro dinâmico é diferente da definição para o ângulo do filtro

físico^{1,4,5}: o ângulo do filtro dinâmico é determinado pelo ângulo formado pela reta que une dois pontos eqüidistantes sobre a isodose que cruza o eixo central na profundidade de 10 cm, e um eixo perpendicular ao eixo central (Figura 2A), enquanto o ângulo do filtro físico é definido utilizando-se o ângulo entre uma isodose de 80% e o eixo central de um campo (10x10)cm² (Figura 2B).

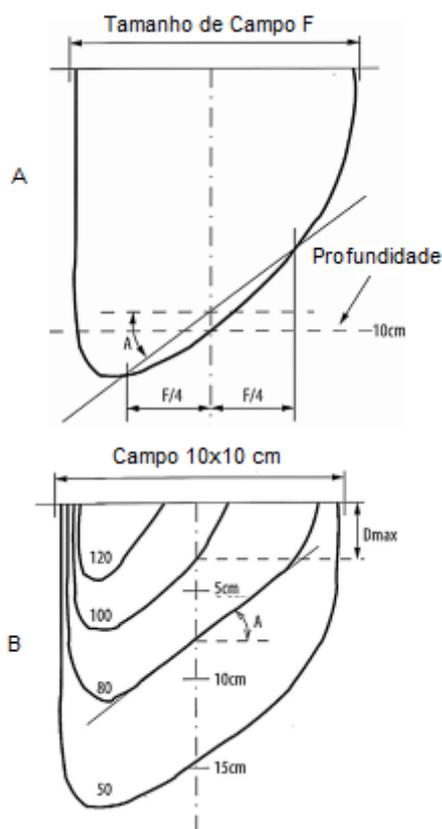


FIGURA 2- Ilustração da definição do ângulo do filtro dinâmico (A), Ilustração do filtro físico (B) de acordo com o ICRU.

Uma das ferramentas utilizadas na avaliação dos resultados foi a análise *gamma*, que é um mapa do grau de concordância entre as matrizes de dados planares medidos e calculados levando em consideração diferenças de dose e de distância-para-concordância (DTA)⁶.

O critério de diferença de dose é a comparação direta de dose entre um ponto na imagem medida e o mesmo ponto da imagem de referência.

O critério de diferença de posição baseado no DTA, corresponde à distância espacial entre um ponto na distribuição de dose de referência e o ponto mais próximo na distribuição medida, com a mesma dose,

Com o intuito de otimizar o tratamento dos pacientes, e devido ao grande número de pacientes tratados diariamente iniciou-se a utilização do filtro dinâmico nas máquinas do Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. O objetivo deste trabalho foi realizar testes de validação do EDW em um dos aceleradores lineares do serviço.

2. Materiais e Métodos

Para a implementação do sistema, foram feitos quatro testes para as energias de 6 MV e 15 MV no acelerador linear da Varian® 2100 CD.

2.1 Comparações dos perfis de feixe

Foi feita uma comparação entre as fluências de feixe calculadas pelo sistema de planejamento e aquelas medidas na máquina de tratamento para um tamanho de campo de 20x20 cm² para cada ângulo disponível, para os dois sentidos in e out nas energias de 6 MV e 15 MV. A fluência foi medida com o detector planar Matrixx Evolution® (Iba Dosimetry). Para garantir o espalhamento do feixe, foram utilizadas placas de água sólida, sendo o *set-up* de medida formado por 5 cm de placas de água sólida sob o Matrixx e mais 5 cm sobre ele. A configuração utilizada foi isocêntrica e a distância fonte-superfície (DFS) definida para as medidas foi de 95 cm. Essas medidas foram comparadas com perfis de feixe calculados no sistema de planejamento Eclipse® v.13.0 (Varian Medical Systems).

A análise da comparação de fluência, foi feita com o *software* OmniPro IMRT® v1.7b (Scanditronix Wellhofer, Iba), que possibilita a comparação entre a dose planar medida e a planejada, permitindo a intercomparação desses perfis através do cálculo do índice *gamma*. Foi utilizado um critério gama de 3% e 3 mm global para analisar a distribuição de dose planar do feixe, segundo a literatura, podemos encontrar uma diferença de dose de 3% entre os valores medidos e calculados, porém, na região de penumbra, observa-se uma região de incertezas como mostram as figuras 3 e 4, nessa região de penumbra pode ser encontrada uma incerteza de dose de até 15%⁷. Portanto foi considerado também um critério de dose de 15% e 1 mm para verificar a influência da região de penumbra.

2.2 Comparações de planos de tratamentos

O segundo teste foi a comparação de planejamentos de tratamento realizados no Eclipse® e medidos com o Matrixx®. Isso é necessário para se garantir que o cálculo do sistema de planejamento seja concordante com o que é entregue ao paciente, uma vez que há um movimento dinâmico interferente do colimador. Os planejamentos escolhidos foram de sítios anatômicos comuns à rotina do serviço tais como: região cervical, torácica e pélvica. Tais sítios foram considerados com diferentes composições de campos e filtros conforme consta na Tabela 2.

Tabela 2. Planejamentos executados no sistema de planejamento e medidos com o Matrixx®.

Região	Campo1	Campo2	Campo3
Tórax 1	30 in	45 out	30 out
Tórax 2	25 in	30 out	Sem filtro
Cervical 1	20 in	30 out	45 in
Cervical 2	Sem filtro	Sem filtro	30 in
Pelve	20 out	45 in	45 in

Utilizou-se o mesmo objeto simulador e o mesmo *set-up* que para medidas dos perfis de feixe

Os campos foram medidos com ângulos de *gantry*, colimador e mesa iguais a zero.

2.3 Fator Filtro

Mediu-se, ainda, o fator filtro de campos quadrados⁸ de 4x4 cm² até 20x20 cm² com incrementos de 2x2 cm², DFS fixa de 100 cm, a uma profundidade de 10 cm, essas medidas foram realizadas com uma câmara tipo Farmer modelo FC65-P (Scanditronix-Wellhofer/Iba). O eletrômetro utilizado foi o Dose 1 (Scanditronix – Wellhofer/Iba) e o objeto simulador de água tinha dimensões de 30x30x40 cm³. A finalidade da medida foi analisar a dependência do filtro com o tamanho de campo e comparar o fator filtro com o calculado através das STTs.

Baseados no princípio de filtro universal^{8,9}, a STT para um dado ângulo $STT_{\theta}(Y)$ e para o colimador numa dada posição Y pode ser derivada pela combinação linear da $STT_G(0)$ *Golden* do campo aberto com a $STT_G(Y)$ *Golden* do campo aberto em Y , como indicado na equação 1⁸.

$$STT_{\theta}(Y) = \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan 60^{\circ}}\right) \cdot STT_G(0) + \frac{\tan \theta}{\tan 60^{\circ}} \cdot STT_G(Y) \quad (1)$$

Os valores *Golden* são as STT do filtro de 60° e encontram-se no guia de implementação da Varian¹.

A partir da $STT_{\theta}(Y)$, tendo-se a posição do colimador que se move e a do colimador estático (Y_S), pode-se escrever, com aproximação, o fator EDW (equação 2). O fator EDW é a razão da STT quando o colimador móvel está no centro geométrico do campo aberto (Y_C) e a STT da posição mais fechada possível.

$$EDWF = \frac{STT(Y = Y_C)}{STT(Y = Y_S - 0,5)} \quad (2)$$

2.4 PDP

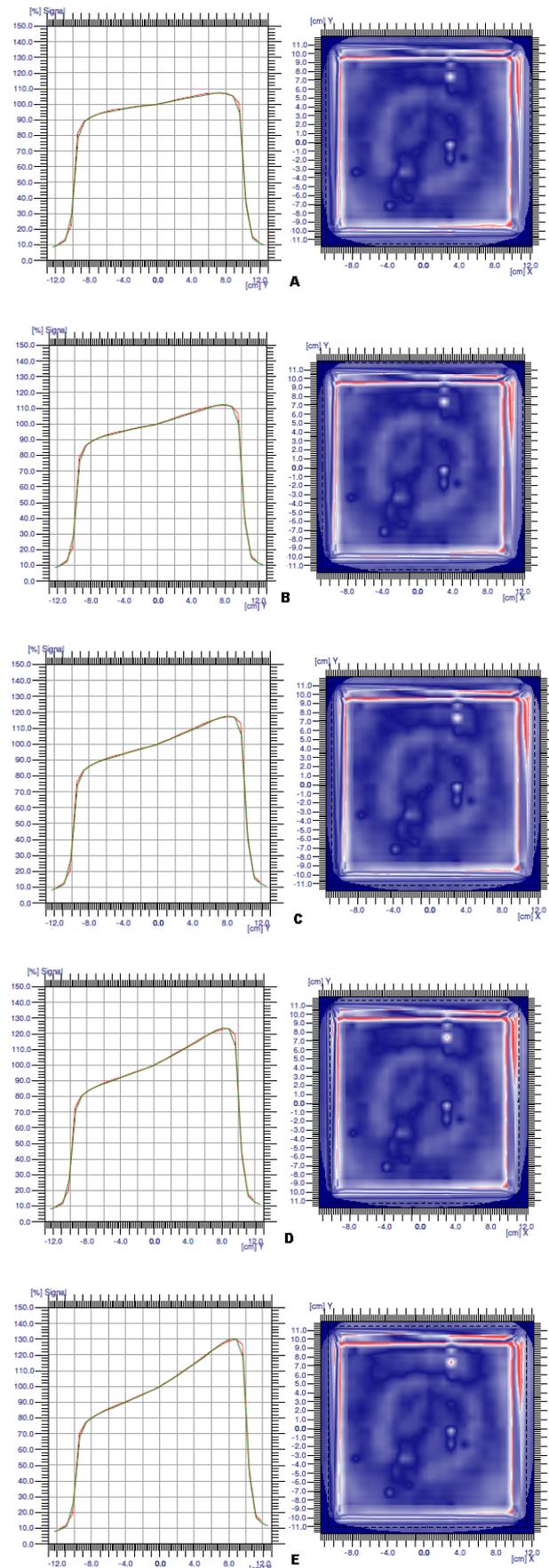
A fim de observar se a presença do filtro EDW causa endurecimento do feixe foram realizadas medidas da PDP do feixe de 6 MV, com tamanho de campo de 10x10 cm², para os filtros 30° e 60°, com orientação *in* e DFS fixa de 100 cm. A câmara de ionização foi posicionada no raio central em 11 profundidades diferentes a fim de ser obter a curva de PDP para comparação com o sistema de planejamento.

3. Resultados

3.1 Comparações do perfil do feixe

A figura 3 apresenta os resultados das análises *gamma* entre as fluências medidas e as apresentadas pelo sistema de planejamento, para

feixes de campos quadrados com filtro dinâmico nas energias de 6 MV.



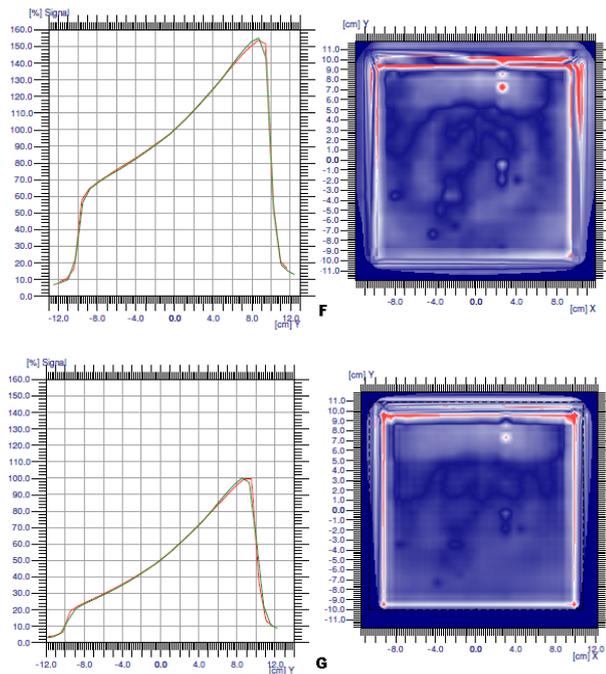


Figura 3- Análise *gamma*, com critério de 3%, 3 mm, dos perfis de fluência de filtro de energia 6 MV. Os filtros são: 10°in (A); 15°in (B); 20°in (C); 25°in (D);30°in (E);45°in (F); 60°in (G)

Nas figuras da direita as regiões vermelhas indicam discrepância entre os valores medidos e os de referência.

As imagens da esquerda apresentam o gráfico de perfil *inline* de dose que mostra as curvas medidas (em verde) e calculadas (em vermelho) evidenciando a concordância entre elas.

Os resultados de índice *gamma* das comparações entre o medido e o planejado estão apresentados com critério de 3%, 3 mm na tabela 3, além desses a tabela 4 mostra os valor de *gamma* com critério 15%,1 mm.

Tabela 3. Índice *gamma* com critério de 3%, 3 mm – Perfil do Feixe

Angulação do filtro	6 MV IN	6 MV OUT	15 MV IN	15 MV OUT
10°	97,29	96,88	98,44	98,54
15°	97,01	96,67	98,48	98,99
20°	96,93	96,74	98,35	98,42
25°	96,83	96,78	98,36	98,44
30°	96,70	96,73	99,50	98,33
45°	96,56	96,00	99,11	97,98
60°	97,29	98,40	97,72	97,38

Tabela 4. Índice *gamma* com critério de 15%, 1 mm – Perfil do Feixe

Angulação do filtro	6 MV IN	6 MV OUT	15 MV IN	15 MV OUT
10°	100,00	100,00	100,00	100,00
15°	100,00	100,00	100,00	100,00
20°	100,00	100,00	100,00	100,00
25°	99,98	99,96	100,00	100,00
30°	99,94	99,84	98,75	100,00
45°	99,77	99,23	100,00	100,00
60°	99,84	100,00	99,93	99,95

3.2 Comparações de planos de tratamento

Os resultados do índice *gamma* obtidos pela comparação das fluências (Figura 4) entre os planos de tratamentos medidos e planejados são apresentados na tabela 5.

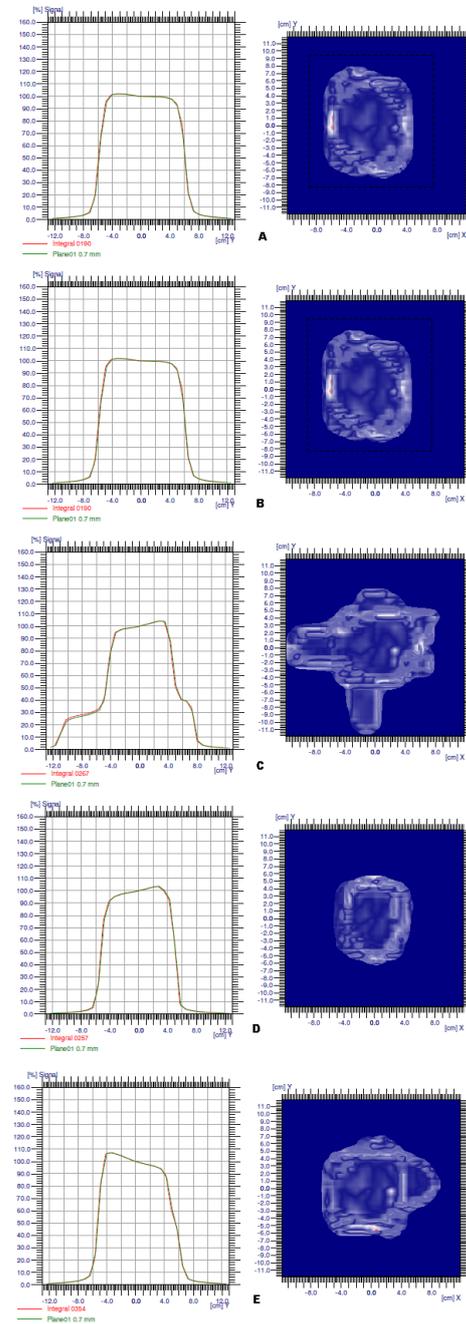


Figura 4. Comparação dos planos calculados e medidos. Tórax1 (A); Tórax 2(B); Cervical 1(C); Cervical 2(D); Pelve(E).

Tabela 5. Índice *gamma* com critério de 3%, 3 mm

Região	Percentual do Índice Gama
Tórax 1	99,50%
Tórax 2	99,67%
Cervical 1	99,93%
Cervical 2	100,00%
Pelve	99,21%

3.3 Fator Filtro

Os fatores filtro calculados através da razão entre as medidas de dose de campo com filtro e sem filtro estão nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Fator Filtro medido para a energia de 6 MV

Campo (cm ²)	10°	15°	20°	25°	30°	45°	60°
4x4	0,982	0,970	0,962	0,953	0,946	0,914	0,862
6x6	0,969	0,953	0,943	0,925	0,909	0,862	0,788
8x8	0,957	0,938	0,920	0,901	0,881	0,813	0,718
10x10	0,947	0,923	0,898	0,870	0,849	0,766	0,655
12x12	0,933	0,904	0,874	0,846	0,816	0,721	0,599
14x14	0,922	0,886	0,852	0,818	0,785	0,677	0,548
16x16	0,908	0,867	0,827	0,789	0,751	0,637	0,504
18x18	0,892	0,845	0,801	0,760	0,719	0,597	0,461
20x20	0,870	0,817	0,770	0,724	0,681	0,554	0,416

Tabela 7. Fator Filtro medido para a energia de 15 MV

Campo (cm ²)	10°	15°	20°	25°	30°	45°	60°
4x4	0,987	0,981	0,975	0,968	0,962	0,936	0,895
6x6	0,981	0,972	0,961	0,949	0,938	0,897	0,833
8x8	0,974	0,958	0,944	0,928	0,913	0,855	0,773
10x10	0,965	0,944	0,927	0,907	0,886	0,817	0,719
12x12	0,955	0,931	0,906	0,884	0,860	0,777	0,669
14x14	0,945	0,918	0,889	0,862	0,833	0,741	0,623
16x16	0,934	0,902	0,870	0,837	0,806	0,705	0,580
18x18	0,922	0,886	0,851	0,814	0,780	0,670	0,540
20x20	0,910	0,867	0,827	0,790	0,750	0,636	0,503

A comparação entre os fatores filtros dinâmicos calculados a partir da equação 2 e os medidos são apresentados nas Figuras 5 e 6. A partir dos gráficos observou-se que a variação máxima encontrada para o fator filtro de 6 MV foi para o filtro de 60° no campo 18x18 cm² no valor de 1,5%, enquanto para o fator filtro de 15 MV foi de 1,6 % para o mesmo filtro e o mesmo tamanho de campo.

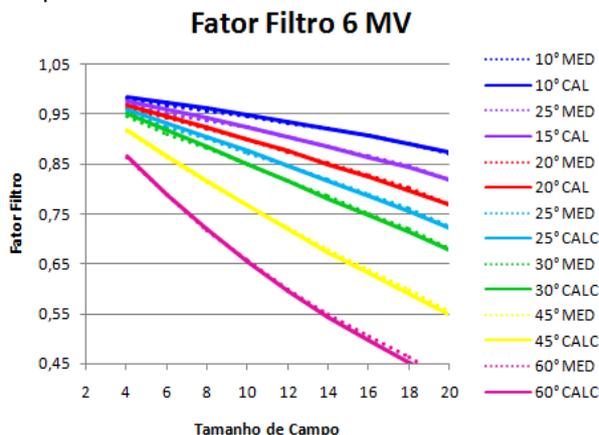


Figura 5. Fator filtro para o feixe de 6 MV.

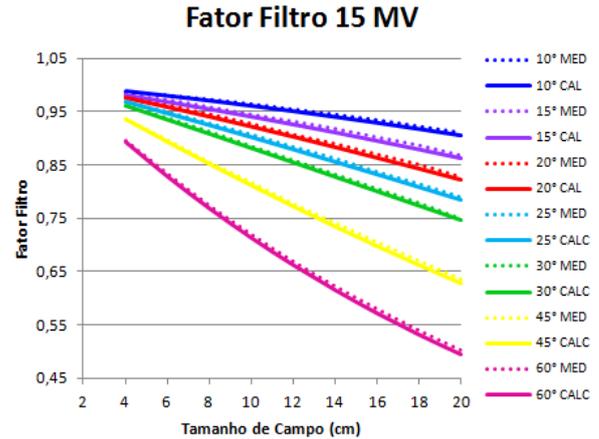


Figura 6. Fator filtro para o feixe de 15 MV.

3.4 PDP

Por fim, os valores das PDP tanto medidas quanto calculadas, podem ser encontradas na Figura 7.

A diferença percentual entre os dados medidos e os dados calculados no sistema de planejamento para ambos os filtros estão representados na tabela abaixo (tabela 8).

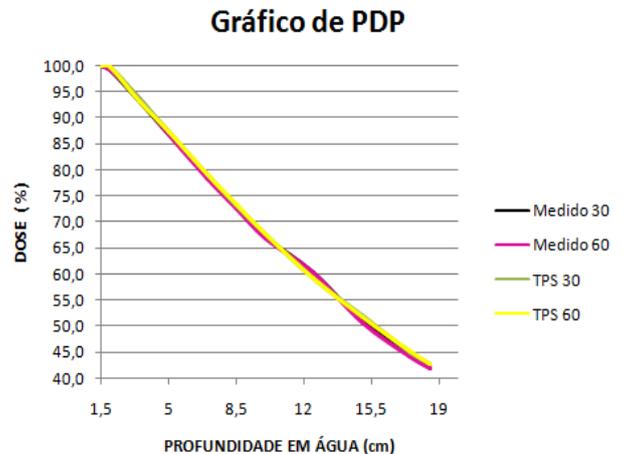


Figura 7. PDP dos filtros de 30° e 60° para o feixe de 6 MV.

Tabela 8. Variação entre os valores medidos e calculados no TPS

Prof (cm)	EDW30 (dif %)	EDW60 (dif %)
1,5	0,00	0,00
2,0	0,70	0,60
3,5	0,75	-0,53
5,0	0,69	0,69
7,0	0,51	0,89
8,5	0,55	0,96
10,0	0,89	1,20
12,5	1,66	1,50
15,0	1,90	1,90
17,5	0,89	0,20
18,5	1,67	1,90

4. Discussões

4.1 Comparações do perfil do feixe

O resultado do índice gama das comparações feitas entre fluências que foram apresentadas na tabela 3, utilizando um critério de 3%, 3 mm e na tabela 4 utilizando o critério de 15%, 1 mm, a fim de se observar a incerteza de dose sem a interferência da região de penumbra, foram satisfatórios. O percentual do índice *gamma* aceitável era de 95%⁹ e todas as fluências medidas apresentaram valores maiores que 96,5%.

4.2 Comparações dos planos de tratamento

Foi utilizado um critério de 3%, 3 mm e também foi definido que no mínimo 95% dos pontos tivessem índice *gamma* menor ou igual a 1. Como o menor valor foi de 99,21%, os resultados obtidos foram satisfatórios para esse teste.

4.3 Fator Filtro

Os fatores *output* dos filtros apresentaram uma boa concordância com os valores calculados. Também foi encontrada uma boa concordância com os valores publicados na literatura^{8,10, 11,12}, a diminuição do fator filtro com o aumento do tamanho de campo está relacionada com o aumento da dose no eixo central.

4.4 PDP

Pôde-se observar que a maior diferença foi de 1,9% para uma profundidade grande, a literatura mostra que nesses casos pode-se encontrar até 2%¹² de variação. Verificou-se também que o filtro não modifica a energia feixe, ou seja, não o endurece, uma vez que para os dois filtros distintos, obteve-se aproximadamente a mesma curva de PDP como pode ser observado na Figura 7.

5. Conclusões

Os testes realizados se mostraram robustos na validação do sistema, já que foram capazes de verificar todos os parâmetros requeridos. Os resultados da validação do filtro dinâmico foram satisfatórios, já que apresentam uma concordância entre os valores medidos e planejados.

Conclui-se que o uso do filtro dinâmico é seguro para o serviço.

6. Referências

1. Varian Oncology Systems. Enhanced Dynamic Wedge™ Implementation Guide. January 2002
2. Njeh CF, Suh TS, Orton CG. Point/Counterpoint. Radiotherapy using hard wedges is no longer appropriate and should be discontinued. Med Phys. 2016 Mar;43(3):1031-4. doi: 10.1118/1.4939262.

3. Koken PW, Heukelom S, Cuijpers JP. On the practice of clinic implementation of Enhanced Dynamic Wedge. Medical Dosimetry. 2003 Spring;28(1):13-9.
4. International Commission on radiation Units and Measurements. Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures. ICRU report 24; 1976.
5. Kowalik A, Litoborski M. Multienergetic verification of dynamic wedge angles in medical accelerators using multichannel linear array. Rep Pract Oncol Radiother. 2013 May 23;18(4):220-34. doi: 10.1016/j.rpor.2013.04.029. eCollection 2
6. Low DA¹, Harms WB, Mutic S, Purdy JA. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. Med Phys. 1998 May;25(5):656-61.
7. AAPM TASK GROUP 53. Quality Assurance for Clinical Radiotherapy Treatment Planning Med Phys 25C 1773-1836, (1998)
8. Njeh CF. Enhanced Dynamic wedge output factors for Varian 2300CD and the case for a reference database. 2015 Sep 8;16(5):5498.
9. Petti PL, Siddon RL. Effective wedge angles with a universal wedge. Phys Med Biol. 1985 Sep;30(9):985-91
10. Salk JE, Rottinger EM. Calculation of effective Enhanced Dynamic Wedge Factors From Segmented Treatment Tables for symmetric and asymmetric photon beams. Department of Radiotherapy, University of Ulm, Germany. 2010.
11. Gibbons JP. Calculation of enhanced Dynamic wedge for symmetric and asymmetric photon fields. MedPhys. 1998 Aug;25(8):1411-8
12. Chang SX, Gibbons JP. Clinical Implementation of Non Physical Wedges. 1999 AAPM Refresher Course

Contato:

Larissa Frediani
larissa.frediani@hc.fm.usp.br