

6

Discussão

No presente trabalho foram realizadas medições para avaliação do TCI por treze aceleradores lineares em uso nos serviços de radioterapia localizados no Rio de Janeiro. Para a realização das medições foram utilizados três procedimentos distintos:

- Procedimento A – A medição do TCI foi feita com régua. Este procedimento é convencionalmente realizado nos serviços de radioterapia, porém, considerando os recentes requisitos da RDC/ANVISA Nº 20, é incompleto, por não fazer uso do densitômetro óptico para marcação do campo irradiado real. O campo irradiado forma uma espécie de sombra (penumbra) que não pode ser detectada sem o auxílio de um densitômetro óptico.
- Procedimento B – A medição do TCI foi feita com densitômetro óptico manual e régua. Este procedimento tem por base o requisito recentemente publicado na RDC/ANVISA Nº 20, que exige o uso de densitômetro óptico. Esse instrumento de medição também é recomendado pelo protocolo TECDOC-1151 em uso no Brasil. Dentre os serviços de radioterapia aos quais pertencem os aceleradores lineares avaliados, o único que faz uso convencional do densitômetro óptico para avaliação do TCI é o serviço no qual se encontra o acelerador 10, porém utilizando filme radiográfico.
- Procedimento C – A medição do TCI foi feita utilizando scanner de transmissão. Este procedimento também atende ao requisito da ANVISA com relação ao uso de densitômetro óptico, mas não atende à exigência do uso de densitômetro óptico com faixa de trabalho até 4,0, já que este requisito de densidade é necessário ao se utilizar filmes de verificação

radiográficos. No entanto, no presente trabalho, a faixa de densidade óptica não ultrapassou 1,0 com o uso de filme de verificação radiocrômico. Desta maneira, a faixa de trabalho do scanner atende às necessidades do presente trabalho ao se utilizarem filmes radiocrômicos RTQA ou EBT QD+.

Os maiores valores de incerteza de medição foram observados nas medições utilizando o Procedimento C, no qual se utiliza um scanner de transmissão, sendo que o procedimento $C_{EBT\ QD+}$, no qual a radiação é aplicada em filme radiocrômico EBT QD+, apresentou maior homogeneidade do campo irradiado (por apresentar menor dispersão dos resultados) quando comparado ao filme radiocrômico RTQA (Figura 36).

Avaliando-se os resultados da medição do erro do tamanho de campo para ambos os eixos X e Y (Tabelas 6 e 7), sem considerar a faixa de incerteza de medição, o percentual de detecção de não-conformidade foi maior ao se utilizar o Procedimento C.

O procedimento B, que utiliza o densitômetro óptico convencional, atende ao requisito da RDC/ANVISA Nº 20 e à recomendação do protocolo TECDOC-1151. Os resultados obtidos na Tabela 11 indicam que é necessário considerar a estimativa da incerteza de medição ao realizar a avaliação de conformidade por meio deste procedimento, pois existe a probabilidade de 33% dos aceleradores lineares apresentarem falsa conformidade ao se desconsiderar a incerteza de medição.

Na Tabela 12 são apresentados os valores de incerteza de medição do tamanho de campo irradiado por aceleradores lineares, avaliados por meio dos procedimentos A, B e C. Nessa tabela se encontra expressa a contribuição das distintas fontes de incerteza para cada um dos procedimentos utilizados para medição do comprimento dos eixos do campo irradiado.

Tabela 12 – Valores de incertezas de medição absolutas (68%)

ACELERADOR	VALORES DE INCERTEZAS ABSOLUTAS TIPO A (em cm) Desvio Padrão entre X (a,b,c) e Y(a,b,c)									
	EIXO X					EIXO Y				
	A (EBT)	A(RTQA)	B (EBT)	C (RTQA)	C (EBT)	A (EBT)	A(RTQA)	B (EBT)	C (RTQA)	C (EBT)
1	0,03	0,06	0,08	0,23	0,02	0,08	0,08	0,03	0,66	0,06
2	0,03	0,03	-	-	-	0,05	0,05	-	-	-
3	0,00	0,10	0,00	0,04	0,02	0,00	0,06	0,03	0,64	0,04
4	-	0,10	-	0,34	-	-	0,06	-	0,07	-
5	-	0,00	-	0,04	-	-	0,00	-	0,04	-
6	-	0,06	-	0,24	-	-	0,10	-	0,05	-
7	0,10	0,00	0,03	0,27	0,13	0,08	0,12	0,03	0,05	0,04
8	0,05	0,12	0,03	0,36	0,25	0,05	0,12	0,03	0,41	0,12
9	0,00	0,03	0,05	0,04	0,09	0,03	0,06	0,03	0,03	0,22
10	0,03	0,03	0,05	-	0,11	0,03	0,00	0,05	-	0,02
11	0,06	0,06	0,00	0,59	0,03	0,05	0,06	0,10	0,74	0,09
12	0,05	0,03	0,08	0,40	0,12	0,03	0,06	0,05	0,15	0,74
13	0,00	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,02

VALORES DE INCERTEZA (em cm) POR PROCEDIMENTOS					
FONTES DE INCERTEZA	A (EBT)	A(RTQA)	B (EBT)	C (RTQA)	C (EBT)
DFS*	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
CERTIFICADO DA RÉGUA	0,0048	0,0048	0,0048	-	-
RESOLUÇÃO DA RÉGUA	0,02	0,02	0,02	-	-
RESOLUÇÃO DO SCANNER	-	-	-	0,0049	0,0049
REPETITIVIDADE DO METODO	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03

* NO ACELERADOR 2, O VALOR DE INCERTEZA RELACIONADO À DFS É IGUAL A 0,025 cm, POIS A DFS É IGUAL A 80 cm. EM TODOS OS OUTROS ACELERADORES OS VALORES DE DFS SÃO IGUAIS A 100 cm.

Conforme apresentado na Tabela 12 (Valores de incerteza por procedimento), utilizando o Procedimento A, os melhores resultados de repetitividade do método foram observados no Procedimento A_{EBT}. O uso do scanner no Procedimento C resultou em menores contribuições da resolução na incerteza, mas a repetitividade do método não apresentou melhores resultados quando se compara com os outros métodos. Na mesma Tabela 12 estão apresentados os valores da incerteza tipo A estimadas durante a medição do comprimento dos eixo X e Y em três diferentes posições (Figura 23) para cada acelerador linear avaliado. Verifica-se que as medições realizadas por meio do Procedimento C indicaram elevadas incertezas tipo A (aceleradores **1; 3; 7; 8; 9; 11 e 12**). Tais resultados caracterizam a grande variabilidade da dimensão do eixo

X ou Y, entre os três diferentes pontos nos quais a medição foi realizada em cada eixo, conforme evidenciado detalhadamente na Tabela 8.

Um resumo dos resultados de incerteza de medição associadas às avaliações realizadas com os diferentes procedimentos é apresentado na Figura 36 e destaca os elevados valores de incerteza Tipo A observados nas medições com scanner. Considerando que este procedimento tenha descartado a penumbra gerada pelo acelerador linear, estes níveis de incerteza podem estar melhor indicando a irregularidade do campo irradiado, já que o mensurando é variável e foi medido em três posições distintas de um mesmo eixo.

Tais resultados podem apontar para a possibilidade de uma maior capacidade do Procedimento C para detectar as não-uniformidades dos limites de campo irradiado, quando comparado aos demais procedimentos.

A incerteza da repetitividade do método pode ter sido maior no Procedimento C devido o impacto da luz do Scanner no filme EBT.

Estudos publicados em 2007, realizados com filme radiocrômico EBT irradiado por acelerador linear e, após 6 horas, digitalizada a imagem por meio de Scanner Epson, no modo de transmissão, destacam a necessidade de cinco varreduras e aproveitando somente as 3 últimas digitalizações para análise da densidade óptica [56].

No presente trabalho, no entanto, os filmes radiocrômicos foram digitalizados uma única vez na avaliação dos aceleradores lineares e três vezes para as medições para determinação da repetitividade do método, sendo todas as digitalizações consideradas. Uma possível razão para as distorções encontradas entre os resultados apresentados nas medições por meio dos **Procedimentos C_{RTQA}** e **C_{EBT}** podem estar associadas aos diferentes tipos de digitalização utilizados no Scanner Microtek para cada um dos filmes: no modo de reflexão para **C_{RTQA}** e no modo de transmissão para **C_{EBT}**.

Estudos utilizando o filme radiocrômico MD55 irradiado por equipamento de teleterapia com Co^{60} , nos quais a varredura foi realizada após 4 dias utilizando Scanner HP Scanjet 4570c, no modo de transmissão e, da mesma forma que no **Procedimento C_{EBT}**,

selecionando-se o canal vermelho por meio do software Image J, mas realizando segunda varredura no modo de reflexão, apontaram para a superioridade na estabilidade das leituras do filme utilizando o modo de reflexão [63].

Outros estudos, porém, utilizando o mesmo filme radiocrômico do **Procedimento C_{EBT}** [58], indicam melhores resultados com a digitalização no modo de transmissão. Estes autores destacam ainda que o nível de ruído observado nas medições com os Scanners Epson 1680, Epson 4990 e Vidar VXR-16 são menores que 1% da faixa de uso em densidade óptica. No presente trabalho utilizou-se o Scanner Microtek, cujo nível de ruído indicado por J. BAKER et al., em ANO, é de 5%, mas os mesmos autores obtêm resultados caracterizando os Scanners Epson e Microtek com sensibilidades próximas [59].

Por outro lado, recentes estudos dosimétricos com radiação beta, também utilizando o filme radiocrômico modelo EBT e comparando o desempenho de sistemas de medição utilizando scanner de transmissão *Microtek XL 9800*, densitômetro óptico *X-Rite modelo 369* e espectrofotômetro *Shimadzu UV Mini 1240*, indicaram que, para campos não-homogêneos ou para mapeamento de campos de radiação, o uso de scanner é preferencial, por possibilitar identificar anisotropias em duas dimensões [64].

Desta forma, considerando o fato de que a grandeza medida no presente trabalho é um mensurando variável, os maiores níveis de incerteza obtidos no **Procedimento C** podem se dever à maior capacidade do scanner para detectar irregularidades na dimensão do campo irradiado. Apesar dos elevados valores de incerteza de medição observados neste procedimento, a classificação de conformidade não se alterou ao incorporar-se a mesma na avaliação. Isto se deveu ao fato dos valores médios dos erros observados nas medições com scanner terem sido muito elevados e isoladamente já serem responsáveis pela não-conformidade.

Dentre todos os aceleradores lineares avaliados, somente um (acelerador 13) apresentou-se em conformidade para todos os

procedimentos utilizados para a avaliação do parâmetro de tamanho de campo de radiação.

Os procedimentos realizados podem ser comparados nas Figuras 47 a 54 para o eixo X e nas Figuras 55 a 62 para o eixo Y.

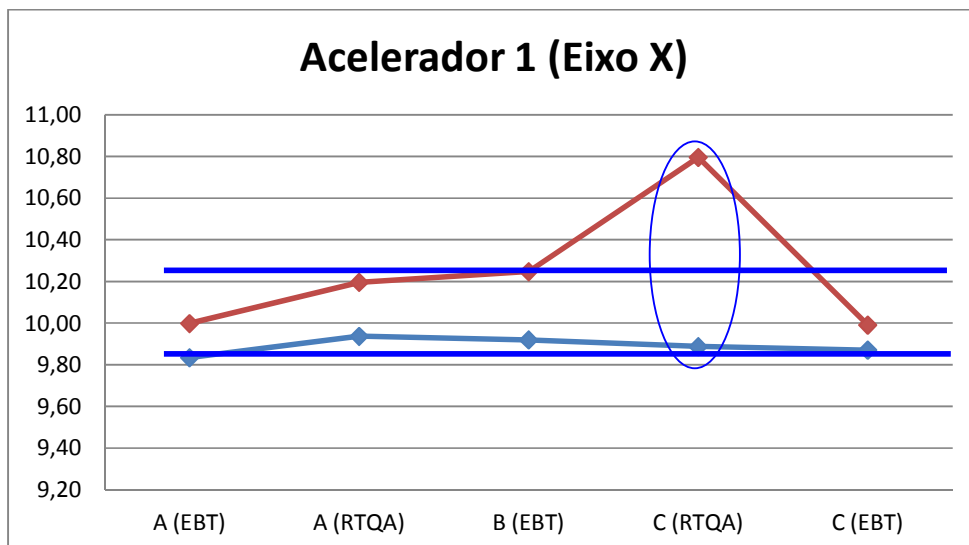


Figura 47 – Faixa de valores de comprimento do eixo X do tamanho de campo irradiado pelo acelerador 1, avaliada por cada um dos procedimentos realizados, determinada pela incerteza de medição. Sua relação com os limites de ZC é apresentada.

O acelerador linear 1 apresentou no eixo X maior dispersão do comprimento por meio do Procedimento C_{RTQA}. Devido a essa dispersão, o acelerador foi considerado não-conforme, em todos os outros procedimentos ele é considerado conforme.

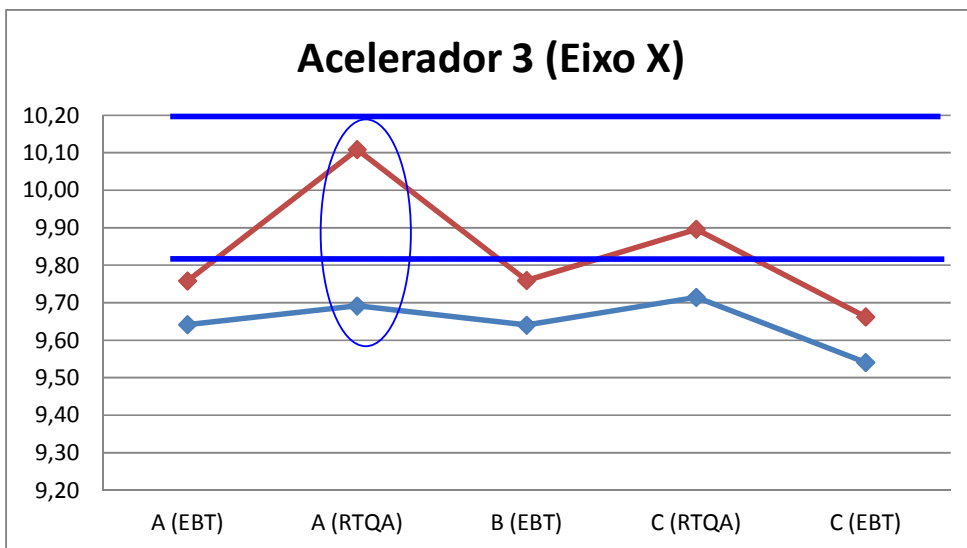


Figura 48 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 3 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 3 apresentou no eixo X uma alta probabilidade de indicar um diagnóstico de falsa conformidade por meio do Procedimento A_{RTQA}.

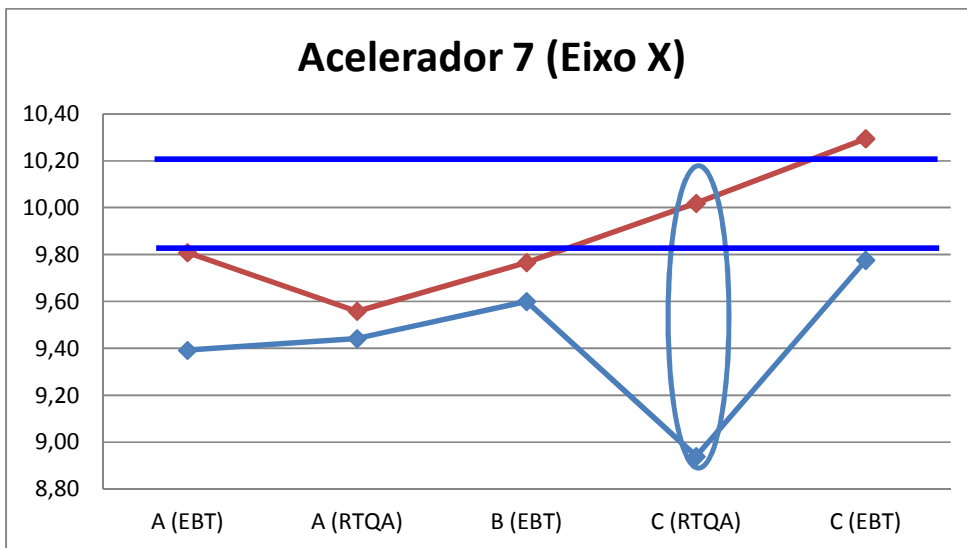


Figura 49 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 7 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 7 apresentou maior dispersão do comprimento na avaliação por meio do Procedimento C_{RTQA}, no eixo X.

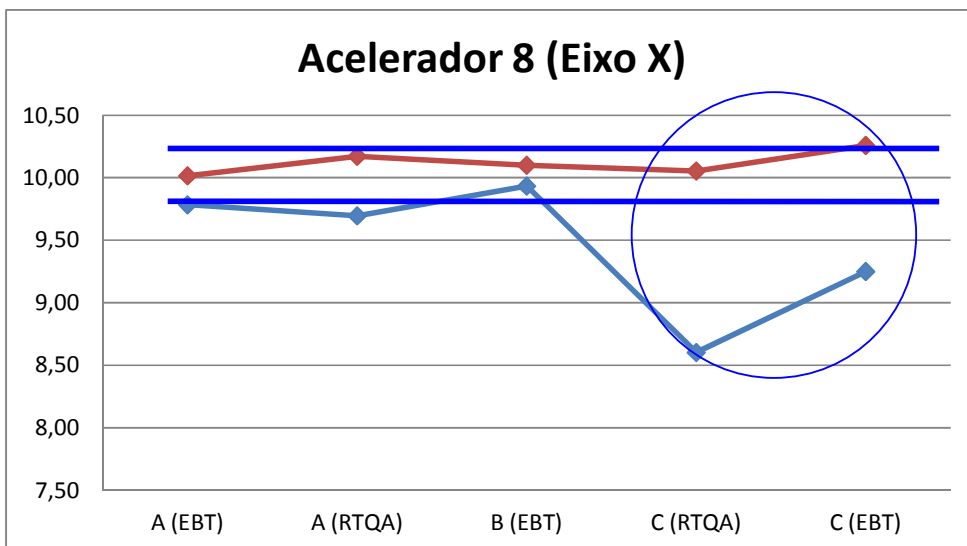


Figura 50 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 8 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 8 apresentou maior dispersão do comprimento no eixo X por meio do Procedimento C. A não-conformidade do acelerador praticamente só é detectada devido a essa dispersão. Este acelerador linear apresentou divergência entre o Procedimento C_{EBT QD+} e o Procedimento B_{EBT QD+}.

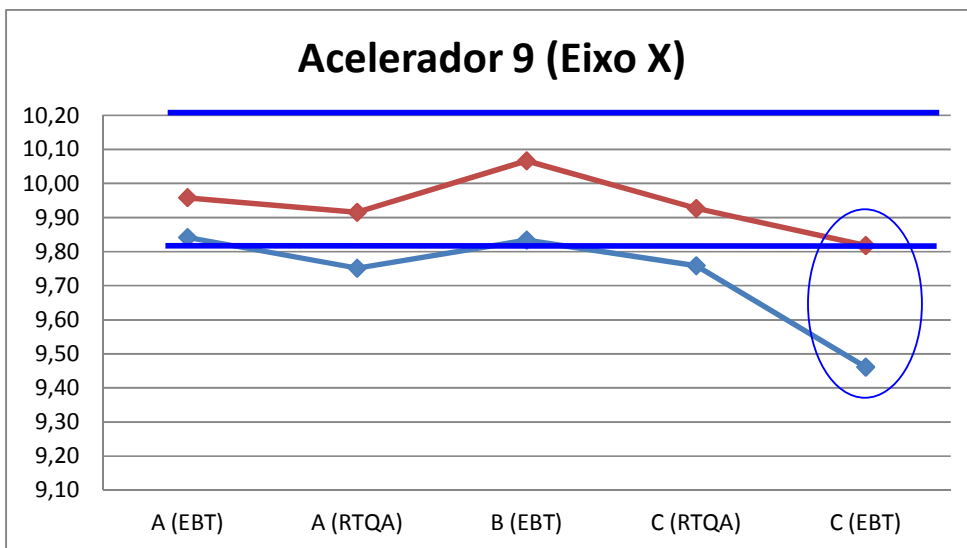


Figura 51 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 9 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 9 apresentou divergência entre o Procedimento C_{EBT QD+} e o Procedimento B_{EBT QD+}. A maior dispersão do comprimento no

eixo X foi detectada por meio do Procedimento $C_{EBT\ QD+}$. A não conformidade do acelerador é mais visível através deste procedimento.

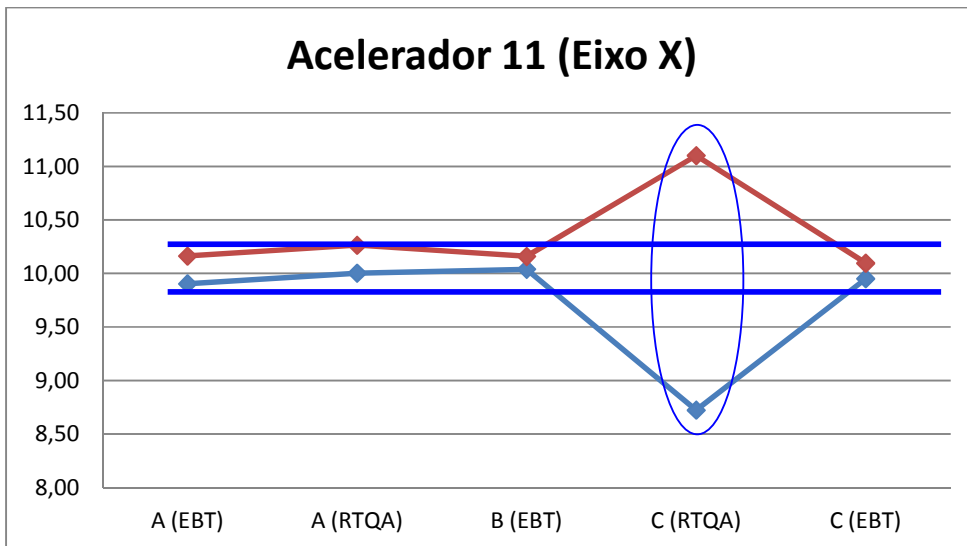


Figura 52 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 11 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 11 apresentou maior dispersão do comprimento por meio do Procedimento C_{RTQA} , devido a essa dispersão, o acelerador estava não-conforme.

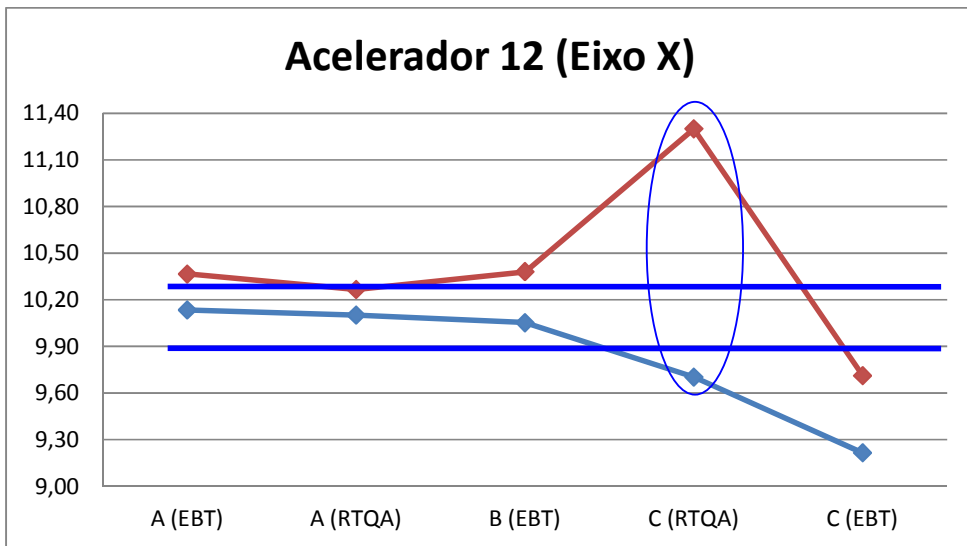


Figura 53 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 12 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 12 apresentou discordância entre os resultados apresentados pelo Procedimento C_{EBT} em relação aos Procedimentos A e

B. A maior dispersão do comprimento foi detectada pelo Procedimento C_{RTQA} .

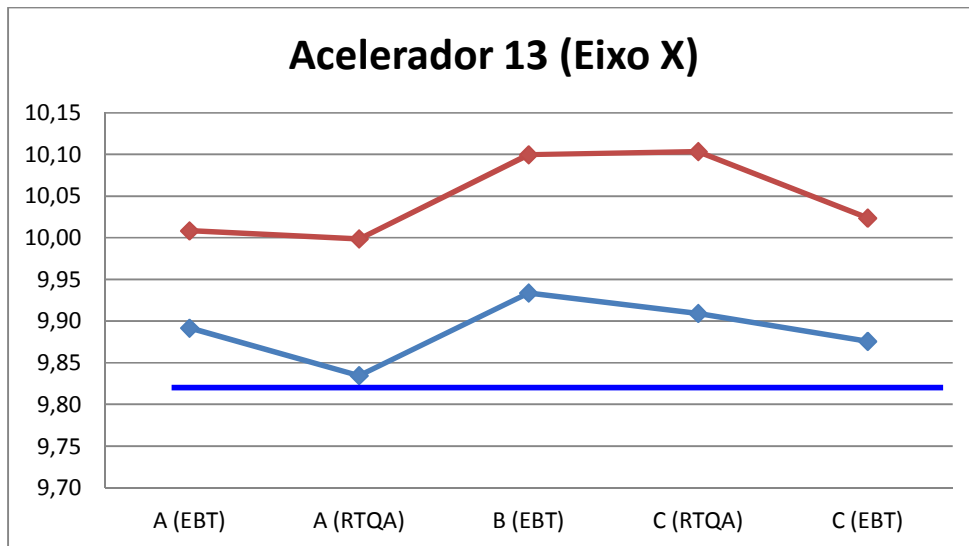


Figura 54 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 13 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 13 apresentou conformidade em todos os procedimentos realizados para medição do comprimento do eixo X.

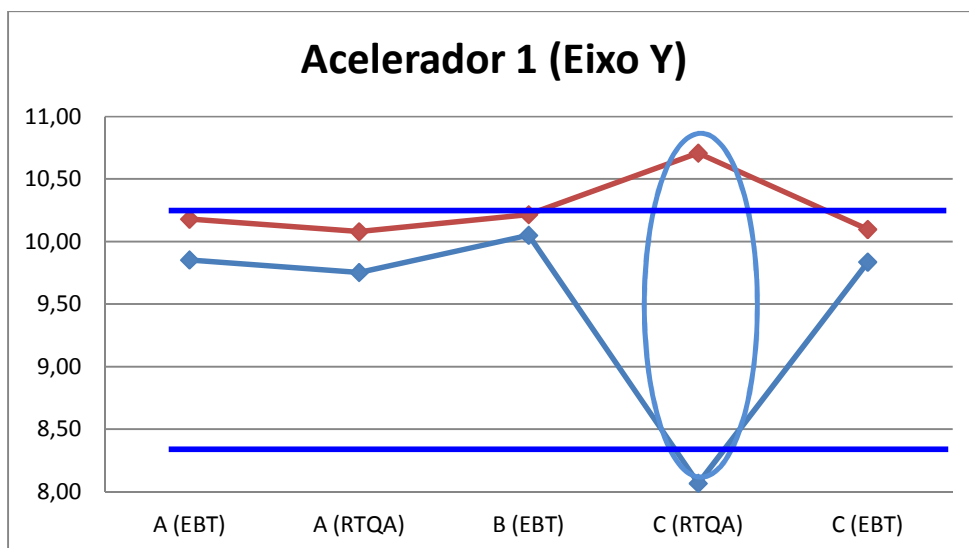


Figura 55 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 1 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 1 apresentou no eixo Y maior dispersão do comprimento por meio do Procedimento C_{RTQA} . O acelerador foi

considerado não-conforme no Procedimento C_{RTQA} , em todos os outros procedimentos ele foi considerado conforme.

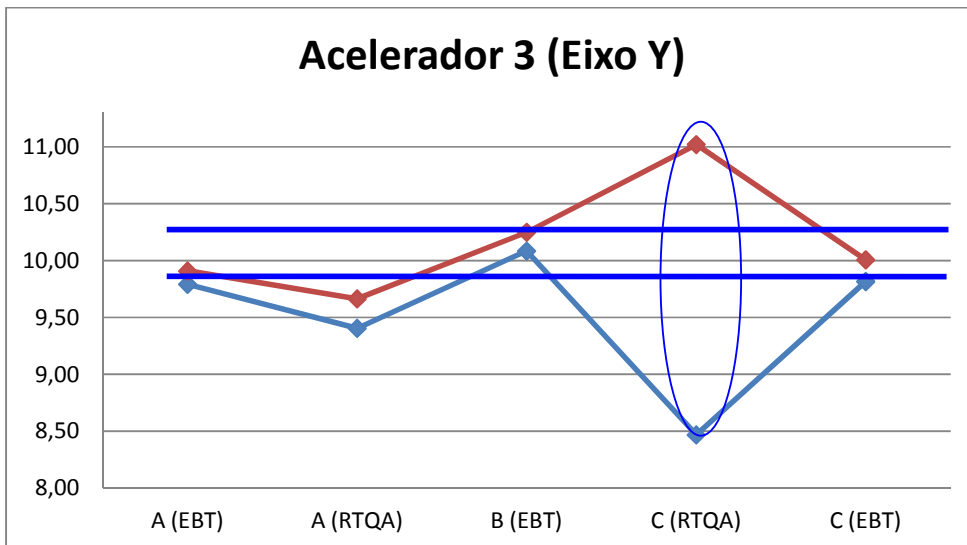


Figura 56 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 3 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 3 apresentou maior dispersão do comprimento por meio do Procedimento C_{RTQA} para medição no eixo Y.

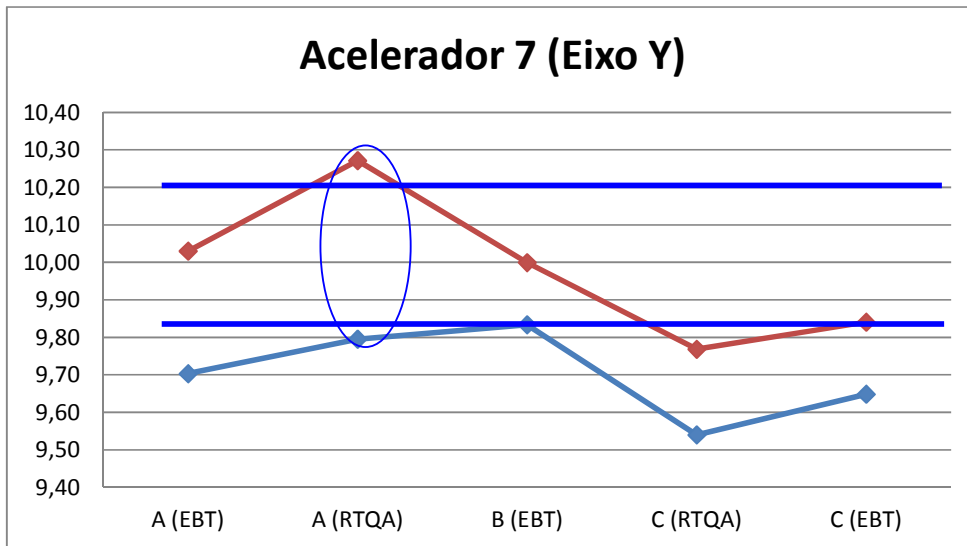


Figura 57 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 7 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 7 apresentou no eixo Y maior dispersão do comprimento na avaliação por meio do Procedimento A_{RTQA} .

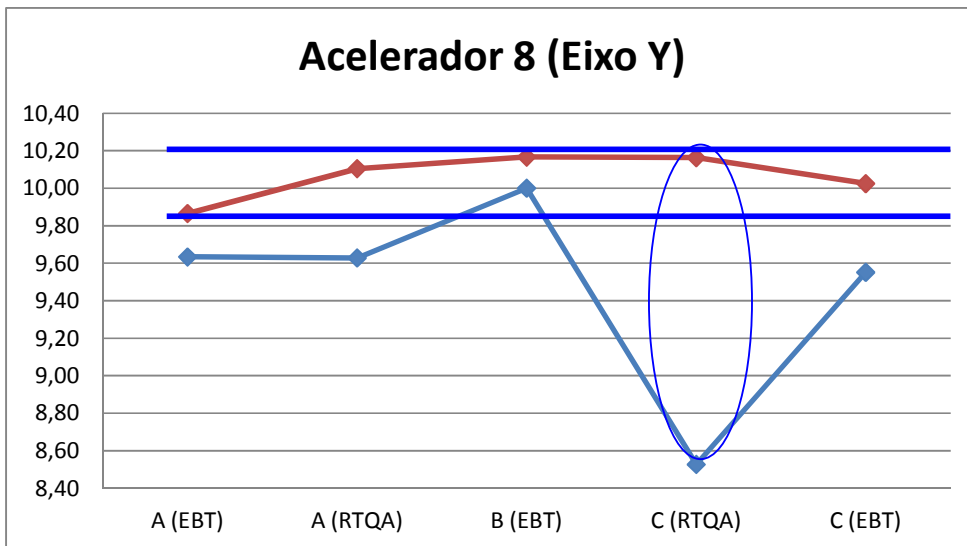


Figura 58 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 8 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 8 apresentou no eixo Y maior dispersão do comprimento na avaliação por meio do Procedimento C_{RTQA} . Este acelerador linear apresentou divergência entre o Procedimento $C_{EBT QD+}$ e o Procedimento $B_{EBT QD+}$.

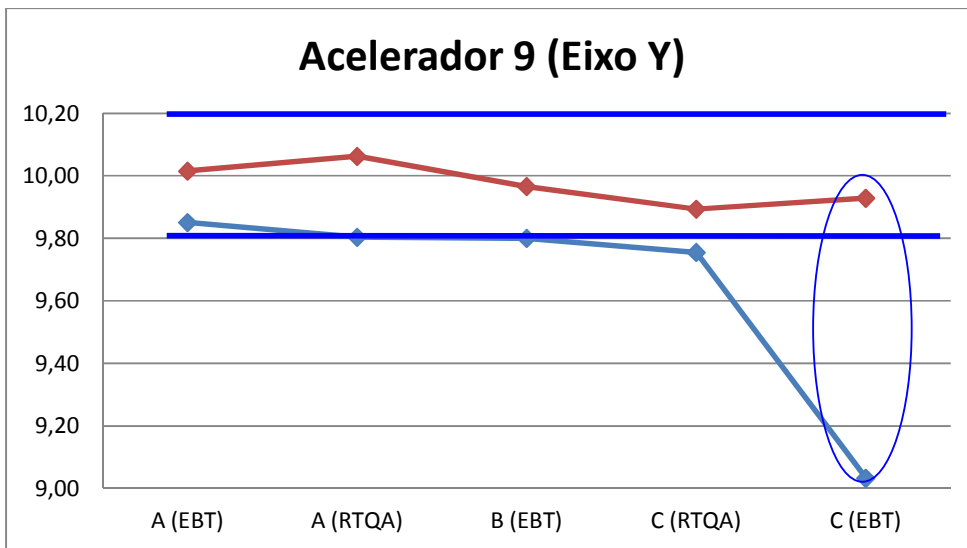


Figura 59 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 9 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 9 apresentou no eixo Y maior dispersão do comprimento por meio do Procedimento $C_{EBT QD+}$. Somente no Procedimento C é encontrada a não conformidade do acelerador.

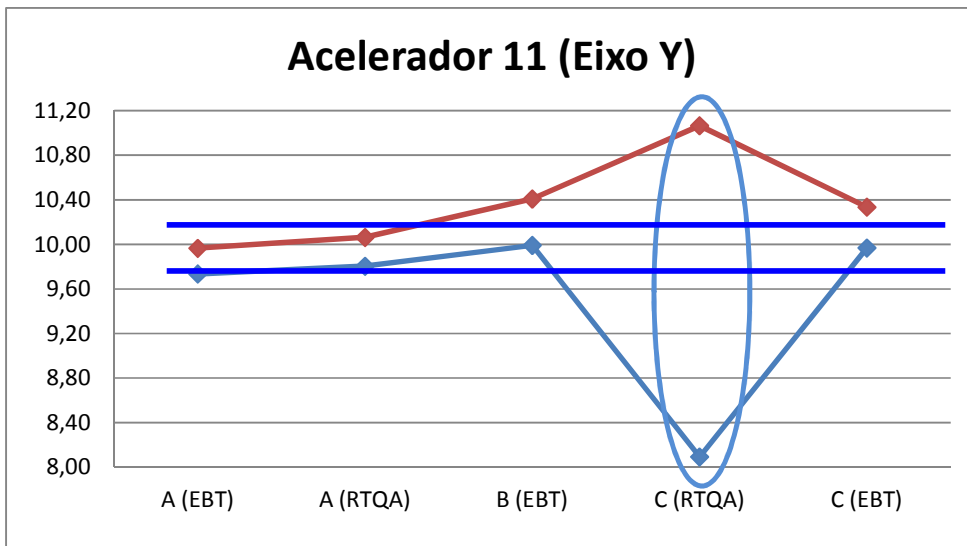


Figura 60 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 11 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 11 apresentou no eixo Y maior dispersão do comprimento por meio do Procedimento C_{RTQA} e discordância entre o resultado obtido pelo Procedimento A.

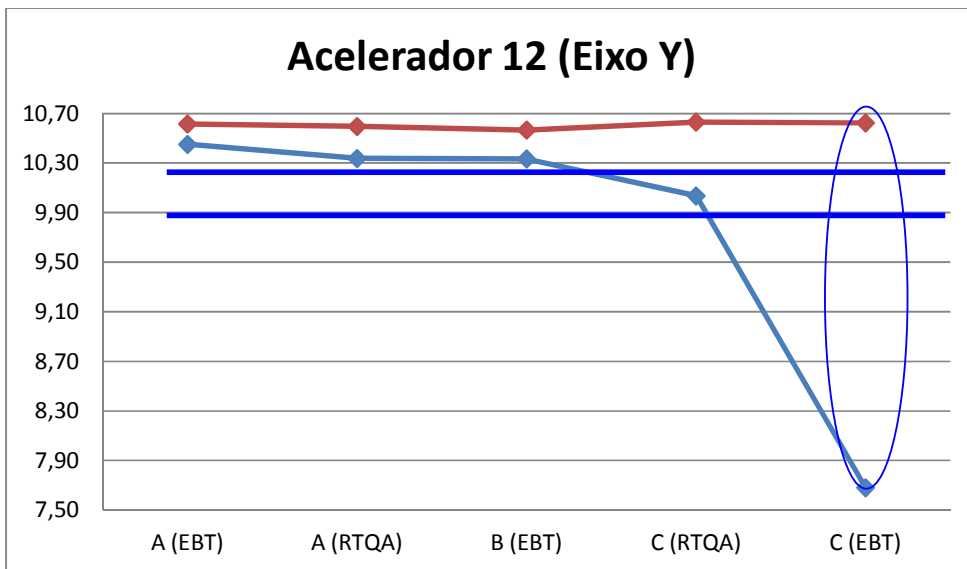


Figura 61 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 12 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 12 apresentou no eixo Y maior dispersão do comprimento por meio do Procedimento $C_{EBT QD+}$.

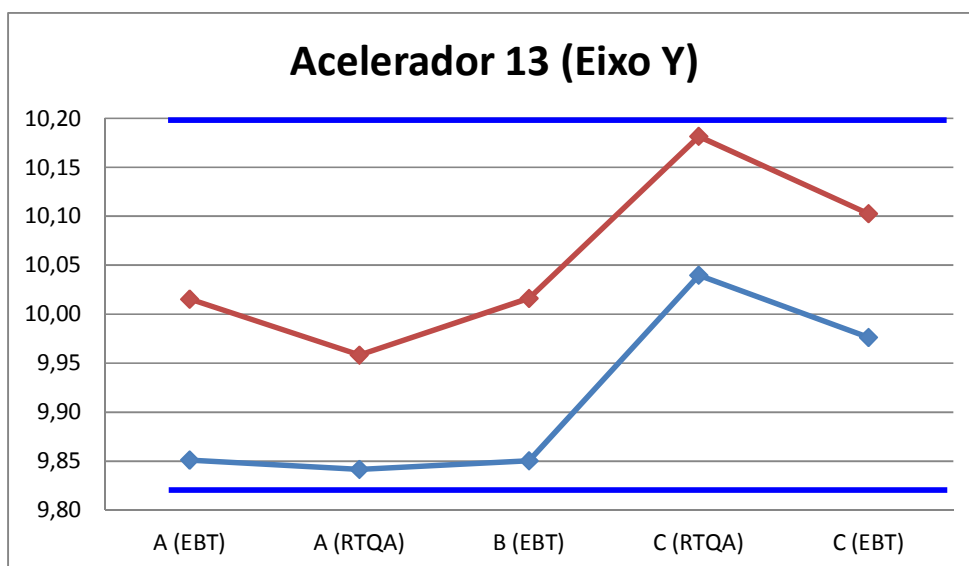


Figura 62 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 13 avaliado por todos os procedimentos realizados.

O acelerador linear 13 apresentou resultados para o parâmetro do TCI em conformidade, independentemente do procedimento utilizada na avaliação.

À exceção do acelerador 9, em que a maior dispersão dos resultados de medição ocorreram ao realizar-se o procedimento $C_{EBT QD+}$, e do acelerador 13, no qual os resultados foram inteiramente conformes, para todos os outros aceleradores evidenciou-se a maior dispersão, em ao menos um dos eixos (aceleradores 3, 7, 12) e nos dois eixos (aceleradores 1, 8, 11), ao utilizar-se o procedimento C_{RTQA} .

Resultados descritos na literatura indicam diferenças na detecção de dose absorvida em filme EBT QD+ [64], utilizando o scanner Microtek XL 9800 (o mesmo utilizado no presente trabalho) e densitômetro óptico (X-Rite). Os autores destacam uma inadequação no uso do densitômetro óptico quando existem não-homogeneidades de campo irradiado, e nestes casos, a possibilidade de identificar anisotropias em duas dimensões torna a técnica baseada no uso de scanner a mais indicada [64].

Desta maneira, o Procedimento $C_{EBT QD+}$, não apresentou diferença de classificação de conformidade ao considerar-se somente o valor médio entre os três pontos ou incorporando-se sua faixa de incerteza no critério de avaliação (Tabela 11).