

5

Resultados

Utilizando critérios de avaliação da confiabilidade metrológica recomendados no Protocolo TECDOC-1151, e incorporando o aspecto metodológico proposto no presente trabalho, foram analisados 13 aceleradores lineares pertencentes aos serviços de radioterapia que colaboraram com a presente pesquisa, e que integram o conjunto de 19 serviços do Estado do Rio de Janeiro que são credenciados pela CNEN e se encontram em funcionamento (Tabela 1).

O aspecto metodológico adicional para avaliação do TCI proposto no presente trabalho consiste em incorporar os cálculos da incerteza de medição para avaliação do atendimento ao erro máximo admissível recomendado pelo TECDOC-1151. Para cada acelerador linear foram realizados os procedimentos descritos no capítulo 4. Alguns aceleradores não foram avaliados utilizando alguns dos procedimentos por razões como:

- não homogeneidade da imagem obtida com os filmes radiocrômicos, impossibilitando sua avaliação pelo *software* DoseLab 4 (acelerador 2 para ambos os filmes radiocrômicos e o acelerador 10 para o filme RTQA);

- indisponibilidade do filme EBT QD+ no momento da irradiação possibilitando a realização das medições somente com filme radiocrômico RTQA (aceleradores 4, 5 e 6).

A Tabela 5 detalha os procedimentos realizados em cada um dos aceleradores avaliados nos serviços de radioterapia participantes da pesquisa.

Resultados

Tabela 5 – Tipos de Procedimentos realizados para medição do tamanho de campo nas avaliações de cada acelerador linear.

LINAC	PROCEDIMENTOS				
	A _{E_{EBT} QD+}	A _{RTQA}	B _{E_{EBT} QD+}	C _{RTQA}	C _{E_{EBT} QD+}
1	X	X	X	X	X
2	X	X			
3	X	X	X	X	X
4		X		X	
5		X		X	
6		X		X	
7	X	X	X	X	X
8	X	X	X	X	X
9	X	X	X	X	X
10	X	X	X		X
11	X	X	X	X	X
12	X	X	X	X	X
13	X	X	X	X	X

LEGENDA:

■ Filmes EBT QD+ não disponíveis.

■ Não-homogeneidade da imagem obtida com o filme radiocrômico

5.1.**Erros no Tamanho de Campo Irradiado**

As incongruências entre os resultados da medição de TCI e o tamanho de campo nominal de 10 cm x 10 cm, determinadas por meio de medições utilizando os procedimentos A, B e C, estão indicadas nas Tabelas 6 e 7.

Analisando-se os erros médios no tamanho de campo irradiado em relação ao erro máximo admissível, encontrados nas medições ao longo do **Eixo X**, utilizando o **Procedimento A_{E_{EBT} QD+}**, 40% dos aceleradores lineares avaliados (aceleradores **3**; **7**; **10** e **12**) estavam não-conformes. Em relação ao **Procedimento A_{RTQA}** o percentual de não-conformidade foi de 23% dos aceleradores lineares avaliados (aceleradores **2**; **7** e **10**).

Resultados

Por meio do **Procedimento B_{EBT QD+}**, 33% dos aceleradores lineares avaliados (aceleradores **3; 7 e 12**) foram considerados não-conformes. Utilizando o **Procedimento C_{RTQA}**, 55% dos aceleradores lineares avaliados (aceleradores **1; 4; 6; 7; 8 e 12**) foram considerados não-conformes e com o **Procedimento C_{EBT QD+}** 56% dos aceleradores lineares avaliados (aceleradores **3; 8; 9; 10 e 12**) estavam não-conformes.

Tabela 6 – Erros médios do tamanho de campo irradiado em relação ao tamanho de campo nominal de 10 cm x 10 cm, ao longo do eixo X, para cada acelerador linear.

ERROS MÉDIOS DO COMPRIMENTO DO EIXO X DOS CAMPOS IRRADIADOS					
LINAC	PROCEDIMENTO (valor de erro em cm)				
	A _{EBT QD+}	A _{RTQA}	B _{EBT QD+}	C _{RTQA}	C _{EBT QD+}
1	-0,08	0,07	0,08	0,34	-0,07
2	-0,18	-0,63	-	-	-
3	-0,30	-0,10	-0,30	-0,19	-0,40
4	-	-0,20	-	-0,26	-
5	-	-0,10	-	0,10	-
6	-	-0,17	-	-0,21	-
7	-0,40	-0,50	-0,32	-0,52	0,04
8	-0,10	-0,07	0,02	-0,67	-0,25
9	-0,10	-0,17	-0,05	-0,16	-0,36
10	-0,28	-0,32	-0,15	-	-0,41
11	0,03	0,13	0,10	-0,09	0,02
12	0,25	0,18	0,22	0,50	-0,54
13	-0,05	-0,08	0,02	0,01	-0,05
Não-conformes	40%	23%	33%	55%	56%

Analisando-se os erros no TCI em relação ao tamanho de campo nominal de 10 cm x 10 cm, obtidos nas medições ao longo do **Eixo Y**, utilizando o **Procedimento A_{EBT QD+}**, 30% dos aceleradores lineares avaliados (aceleradores **8; 10 e 12**) foram considerados não-conformes em relação à zona de conformidade recomendada no TECDOC-1151 (± 2 mm). Por meio do **Procedimento A_{RTQA}**, 31% dos aceleradores lineares avaliados (aceleradores **2; 3; 10 e 12**) foram considerados não-conformes. No **Procedimento B_{EBT QD+}**, 11% dos aceleradores lineares avaliados (acelerador **12**) foram considerados não-conformes. Utilizando o **Procedimento C_{RTQA}**, 55% dos aceleradores lineares avaliados (aceleradores **1; 3; 7; 8; 11 e 12**) foram considerados não-conformes e

Resultados

com o **Procedimento C_{E_{BT} QD+}**, 56% dos aceleradores lineares avaliados (aceleradores **7; 8; 9; 10 e 12**) foram considerados não-conformes em relação ao erro máximo admissível.

Tabela 7 – Erros médios do tamanho de campo irradiado em relação ao nominal de 10cm x 10cm, ao longo do eixo Y, para cada acelerador linear avaliado.

ERROS MÉDIOS DO COMPRIMENTO NO EIXOS Y DOS CAMPOS IRRADIADOS					
LINAC	PROCEDIMENTO (valor de erro em cm)				
	A _{E_{BT} QD+}	A _{RTQA}	B _{E_{BT} QD+}	C _{RTQA}	C _{E_{BT} QD+}
1	0,02	-0,08	0,13	-0,61	-0,03
2	-0,15	-0,25	-	-	-
3	-0,15	-0,47	0,17	-0,26	-0,09
4	-	-0,03	-	0,17	-
5	-	-0,10	-	0,05	-
6	-	0,00	-	0,04	-
7	-0,13	0,03	-0,08	-0,35	-0,26
8	-0,25	-0,13	0,08	-0,65	-0,21
9	-0,07	-0,07	-0,12	-0,18	-0,52
10	-0,42	-0,30	-0,10	-	-0,47
11	-0,15	-0,07	0,20	-0,42	0,15
12	0,53	0,47	0,45	0,33	-0,85
13	-0,07	-0,10	-0,07	0,11	0,04
Não-conformes	30%	31%	11%	55%	56%

Avaliando-se os erros dos tamanhos de campos irradiados para ambos os eixos X e Y (Tabelas 6 e 7), o percentual de detecção de não-conformidade foi maior ao se utilizar o Procedimento C.

5.2.

Incerezas de medição dos Tamanhos de Campos Irrradiados estimadas para os procedimentos A, B e C

O TCI avaliado na presente pesquisa trata de um mensurando variável, pois a formatação do campo 10cm x 10cm planejado indica um campo quadrado, porém na obtenção real do campo irradiado pode-se obter uma geometria irregular com tamanhos diferentes para um mesmo eixo, se avaliado de diferentes posições.

Resultados

As figuras 32 e 33 apresentam graficamente os resultados da Tabela 3, realizando-se três medições em cada um dos três pontos especificados nos eixos X (X_a , X_b , X_c) e Y (Y_a , Y_b , Y_c), para a medição do TCI emitido por um determinado acelerador. A incerteza apresentada indica a repetitividade do método, correspondendo à Incerteza tipo A estimada considerando-se três medições repetidas em cada um dos três pontos medidos ao longo do eixo (Tabela 3).

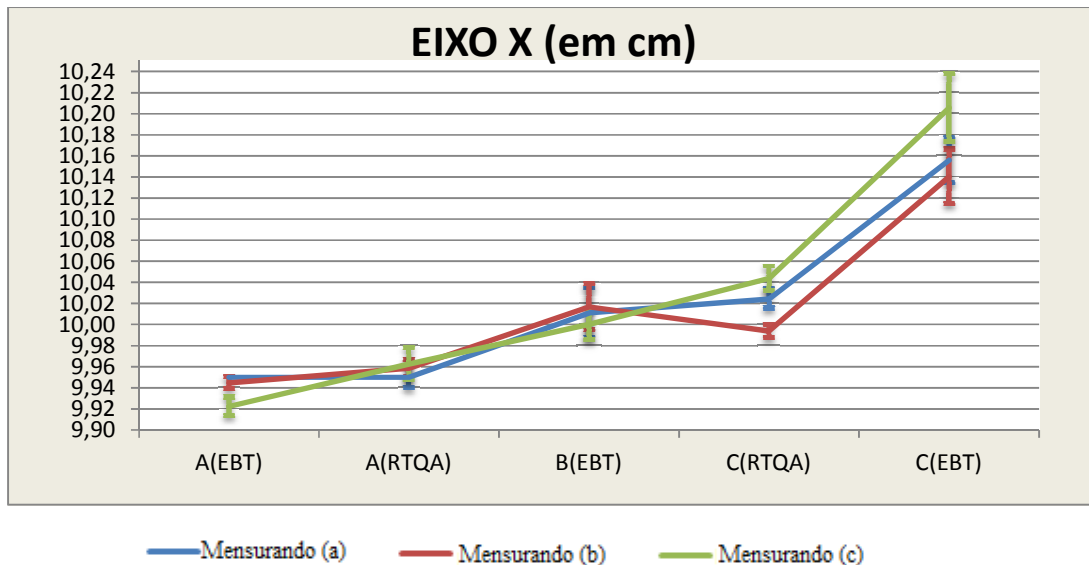


Figura 32 – Valores médios do comprimento do eixo X e correspondente incerteza da repetitividade do método.

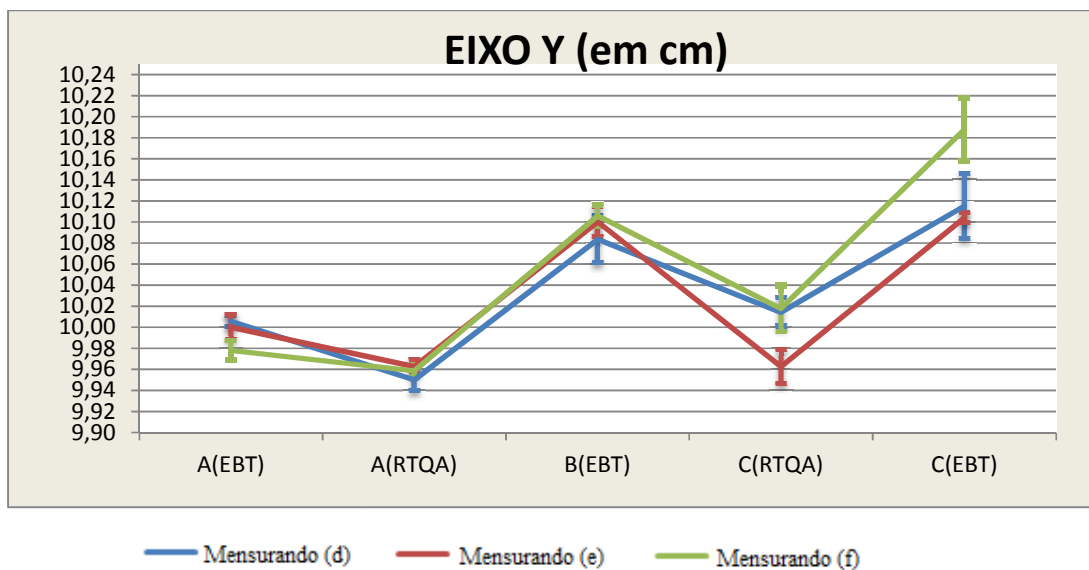


Figura 33 – Valores médios do comprimento do eixo Y e correspondente incerteza da repetitividade do método.

Resultados

A faixa de incerteza destacada corresponde à repetitividade do método e é uma das fontes de incerteza consideradas na incerteza expandida do método (Tabela 4). Em relação à repetitividade do mensurando variável (considerando o valor do eixo a combinação das medições em três diferentes pontos do eixo), foi calculado o desvio padrão entre os três diferentes valores de comprimento de cada eixo do campo irradiado e para os diferentes procedimentos realizados (Figura 34 e Figura 35).

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos em cada posição de medição ao longo dos eixos X e Y, para os diferentes procedimentos utilizados e para cada acelerador avaliado. A incerteza expandida associada ao método de medição destacados na Tabela 4, são incluídos nos resultados de medição do comprimento do eixo em cada ponto de medição ($X_a, X_b, X_c, Y_a, Y_b, Y_c$).

Tabela 8 – Dimensão do eixo X e Y nos três diferentes pontos de medição realizados em cada eixo, para cada acelerador. Os valores de incerteza do método específico, apresentados na Tabela, são associados ao resultado de cada mensurando. Os valores destacados em vermelho indicam que a faixa correspondente à dimensão (também considerando a incerteza) ultrapassa os limites de especificação de conformidade.

Acelerador	Mensurando	Proc. A _{E_{BT}}	Proc. A _{R_{TQA}}	Proc. B _{E_{BT}}	Proc. C _{R_{TQA}}	Proc. C _{E_{BT}}	Conformidade
1	X (a)	9,90 ± 0,06	10,10 ± 0,07	10,00 ± 0,07	10,59 ± 0,06	9,91 ± 0,08	NÃO
	X (b)	9,95 ± 0,06	10,10 ± 0,07	10,10 ± 0,07	10,30 ± 0,06	9,94 ± 0,08	NÃO
	X (c)	9,90 ± 0,06	10,00 ± 0,07	10,15 ± 0,07	10,14 ± 0,06	9,95 ± 0,08	NÃO
	desvio padrão X (a, b, c)	0,03	0,06	0,08	0,23	0,02	
	Y (a)	10,00 ± 0,06	9,85 ± 0,07	10,15 ± 0,07	9,88 ± 0,06	9,93 ± 0,08	NÃO
	Y (b)	10,10 ± 0,06	9,90 ± 0,07	10,15 ± 0,07	9,65 ± 0,06	10,04 ± 0,08	NÃO
	Y (c)	9,95 ± 0,06	10,00 ± 0,07	10,10 ± 0,07	8,64 ± 0,06	9,94 ± 0,08	NÃO
	desvio padrão Y (a, b, c)	0,08	0,08	0,03	0,66	0,06	
2	X (a)	9,80 ± 0,06	9,35 ± 0,07	- -	- -	- -	NÃO
	X (b)	9,85 ± 0,06	9,40 ± 0,07	- -	- -	- -	NÃO
	X (c)	9,80 ± 0,06	9,35 ± 0,07	- -	- -	- -	NÃO
	desvio padrão X (a, b, c)	0,03	0,03	-	-	-	
	Y (a)	9,80 ± 0,06	9,80 ± 0,07	- -	- -	- -	NÃO
	Y (b)	9,90 ± 0,06	9,70 ± 0,07	- -	- -	- -	NÃO
	Y (c)	9,85 ± 0,06	9,75 ± 0,07	- -	- -	- -	NÃO
	desvio padrão Y (a, b, c)	0,05	0,05	-	-	-	

Resultados

3	X (a)	9,70 ± 0,06	9,90 ± 0,07	9,70 ± 0,07	9,84 ± 0,06	9,58 ± 0,08	NÃO
	X (b)	9,70 ± 0,06	10,00 ± 0,07	9,70 ± 0,07	9,76 ± 0,06	9,62 ± 0,08	NÃO
	X (c)	9,70 ± 0,06	9,80 ± 0,07	9,70 ± 0,07	9,81 ± 0,06	9,61 ± 0,08	NÃO
	desvio padrão X (a, b, c)	0,00	0,10	0,00	0,04	0,02	
	Y (a)	9,85 ± 0,06	9,50 ± 0,07	10,15 ± 0,07	10,40 ± 0,06	9,87 ± 0,08	NÃO
	Y (b)	9,85 ± 0,06	9,60 ± 0,07	10,15 ± 0,07	9,70 ± 0,06	9,95 ± 0,08	NÃO
	Y (c)	9,85 ± 0,06	9,50 ± 0,07	10,20 ± 0,07	9,81 ± 0,06	9,91 ± 0,08	NÃO
	desvio padrão Y (a, b, c)	0,00	0,06	0,03	0,64	0,04	
4	X (a)	- -	9,70 ± 0,07	- -	9,41 ± 0,06	- -	NÃO
	X (b)	- -	9,80 ± 0,07	- -	9,70 ± 0,06	- -	NÃO
	X (c)	- -	9,90 ± 0,07	- -	10,10 ± 0,06	- -	SIM
	desvio padrão X (a, b, c)	-	0,10	-	0,34	-	
4	Y (a)	- -	10,00 ± 0,07	- -	10,25 ± 0,06	- -	NÃO
	Y (b)	- -	10,00 ± 0,07	- -	10,13 ± 0,06	- -	SIM
	Y (c)	- -	9,90 ± 0,07	- -	10,13 ± 0,06	- -	SIM
	desvio padrão Y (a, b, c)	-	0,06	-	0,07	-	
5	X (a)	- -	9,90 ± 0,07	- -	10,08 ± 0,06	- -	SIM
	X (b)	- -	9,90 ± 0,07	- -	10,08 ± 0,06	- -	SIM
	X (c)	- -	9,90 ± 0,07	- -	10,15 ± 0,06	- -	NÃO
	desvio padrão X (a, b, c)	-	0,00	-	0,04	-	
	Y (a)	- -	9,90 ± 0,07	- -	10,05 ± 0,06	- -	SIM
	Y (b)	- -	9,90 ± 0,07	- -	10,00 ± 0,06	- -	SIM
	Y (c)	- -	9,90 ± 0,07	- -	10,09 ± 0,06	- -	SIM
desvio padrão Y (a, b, c)	-	0,00	-	0,04	-		
6	X (a)	- -	9,80 ± 0,07	- -	10,04 ± 0,06	- -	NÃO
	X (b)	- -	9,90 ± 0,07	- -	9,75 ± 0,06	- -	NÃO
	X (c)	- -	9,80 ± 0,07	- -	9,57 ± 0,06	- -	NÃO
	desvio padrão X (a, b, c)	-	0,06	-	0,24	-	
	Y (a)	- -	9,90 ± 0,07	- -	10,01 ± 0,06	- -	SIM
	Y (b)	- -	10,00 ± 0,07	- -	10,00 ± 0,06	- -	SIM
	Y (c)	- -	10,10 ± 0,07	- -	10,10 ± 0,06	- -	SIM
desvio padrão Y (a, b, c)	-	0,10	-	0,05	-		
7	X (a)	9,70 ± 0,06	9,50 ± 0,07	9,65 ± 0,07	9,77 ± 0,06	10,01 ± 0,08	NÃO
	X (b)	9,50 ± 0,06	9,50 ± 0,07	9,70 ± 0,07	9,65 ± 0,06	10,18 ± 0,08	NÃO
	X (c)	9,60 ± 0,06	9,50 ± 0,07	9,70 ± 0,07	9,48 ± 0,06	9,92 ± 0,08	NÃO
	desvio padrão X (a, b, c)	0,10	0,00	0,03	0,15	0,13	
	Y (a)	9,95 ± 0,06	10,10 ± 0,07	9,95 ± 0,07	9,62 ± 0,06	9,71 ± 0,08	NÃO
	Y (b)	9,85 ± 0,06	9,90 ± 0,07	9,90 ± 0,07	9,62 ± 0,06	9,73 ± 0,08	NÃO
	Y (c)	9,80 ± 0,06	10,10 ± 0,07	9,90 ± 0,07	9,72 ± 0,06	9,79 ± 0,08	NÃO
desvio padrão Y (a, b, c)	0,08	0,12	0,03	0,05	0,04		
8	X (a)	9,95 ± 0,06	10,00 ± 0,07	10,05 ± 0,07	9,72 ± 0,06	9,72 ± 0,08	NÃO
	X (b)	9,90 ± 0,06	9,80 ± 0,07	10,00 ± 0,07	9,25 ± 0,06	10,02 ± 0,08	NÃO
	X (c)	9,85 ± 0,06	10,00 ± 0,07	10,00 ± 0,07	9,91 ± 0,06	9,52 ± 0,08	NÃO
	desvio padrão X (a, b, c)	0,05	0,12	0,03	0,36	0,25	

Resultados

	Y (a)	9,80 ± 0,06	9,80 ± 0,07	10,10 ± 0,07	9,76 ± 0,06	9,75 ± 0,08	NÃO
	Y (b)	9,75 ± 0,06	9,80 ± 0,07	10,10 ± 0,07	9,34 ± 0,06	9,70 ± 0,08	NÃO
	Y (c)	9,70 ± 0,06	10,00 ± 0,07	10,05 ± 0,07	8,94 ± 0,06	9,92 ± 0,08	NÃO
	desvio padrão Y (a, b, c)	0,05	0,12	0,03	0,41	0,12	
9	X (a)	9,90 ± 0,06	9,85 ± 0,07	10,00 ± 0,07	9,88 ± 0,06	9,62 ± 0,08	NÃO
	X (b)	9,90 ± 0,06	9,85 ± 0,07	9,95 ± 0,07	9,82 ± 0,06	9,57 ± 0,08	NÃO
	X (c)	9,90 ± 0,06	9,80 ± 0,07	9,90 ± 0,07	9,83 ± 0,06	9,74 ± 0,08	NÃO
	desvio padrão X (a, b, c)	0,00	0,03	0,05	0,04	0,09	
	Y (a)	9,90 ± 0,06	9,90 ± 0,07	9,90 ± 0,07	9,83 ± 0,06	9,45 ± 0,08	NÃO
	Y (b)	9,95 ± 0,06	9,90 ± 0,07	9,90 ± 0,07	9,80 ± 0,06	9,72 ± 0,08	NÃO
	Y (c)	9,95 ± 0,06	10,00 ± 0,07	9,85 ± 0,07	9,85 ± 0,06	9,27 ± 0,08	NÃO
desvio padrão Y (a, b, c)	0,03	0,06	0,03	0,03	0,22		
10	X (a)	9,70 ± 0,06	9,70 ± 0,07	9,90 ± 0,07	- -	9,57 ± 0,08	NÃO
	X (b)	9,70 ± 0,06	9,70 ± 0,07	9,85 ± 0,07	- -	9,72 ± 0,08	NÃO
	X (c)	9,75 ± 0,06	9,65 ± 0,07	9,80 ± 0,07	- -	9,50 ± 0,08	NÃO
	desvio padrão X (a, b, c)	0,03	0,03	0,05	-	0,11	
	Y (a)	9,60 ± 0,06	9,70 ± 0,07	9,95 ± 0,07	- -	9,51 ± 0,08	NÃO
	Y (b)	9,60 ± 0,06	9,70 ± 0,07	9,90 ± 0,07	- -	9,53 ± 0,08	NÃO
	Y (c)	9,55 ± 0,06	9,70 ± 0,07	9,85 ± 0,07	- -	9,55 ± 0,08	NÃO
desvio padrão Y (a, b, c)	0,03	0,00	0,05	-	0,02		
11	X (a)	10,00 ± 0,06	10,10 ± 0,07	10,10 ± 0,07	9,36 ± 0,06	10,00 ± 0,08	NÃO
	X (b)	10,00 ± 0,06	10,20 ± 0,07	10,10 ± 0,07	9,84 ± 0,06	10,06 ± 0,08	NÃO
	X (c)	10,10 ± 0,06	10,10 ± 0,07	10,10 ± 0,07	10,54 ± 0,06	10,02 ± 0,08	NÃO
	desvio padrão X (a, b, c)	0,06	0,06	0,00	0,59	0,03	
	Y (a)	9,90 ± 0,06	9,90 ± 0,07	10,10 ± 0,07	10,34 ± 0,06	10,08 ± 0,08	NÃO
	Y (b)	9,80 ± 0,06	10,00 ± 0,07	10,20 ± 0,07	9,54 ± 0,06	10,25 ± 0,08	NÃO
	Y (c)	9,85 ± 0,06	9,90 ± 0,07	10,30 ± 0,07	8,86 ± 0,06	10,12 ± 0,08	NÃO
desvio padrão Y (a, b, c)	0,05	0,06	0,10	0,74	0,09		
12	X (a)	10,30 ± 0,06	10,20 ± 0,07	10,30 ± 0,07	10,11 ± 0,06	9,43 ± 0,08	NÃO
	X (b)	10,25 ± 0,06	10,20 ± 0,07	10,20 ± 0,07	10,48 ± 0,06	9,36 ± 0,08	NÃO
	X (c)	10,20 ± 0,06	10,15 ± 0,07	10,15 ± 0,07	10,91 ± 0,06	9,60 ± 0,08	NÃO
	desvio padrão X (a, b, c)	0,05	0,03	0,08	0,40	0,12	
	Y (a)	10,55 ± 0,06	10,50 ± 0,07	10,50 ± 0,07	10,21 ± 0,06	9,08 ± 0,08	NÃO
	Y (b)	10,55 ± 0,06	10,50 ± 0,07	10,45 ± 0,07	10,29 ± 0,06	9,92 ± 0,08	NÃO
	Y (c)	10,50 ± 0,06	10,40 ± 0,07	10,40 ± 0,07	10,50 ± 0,06	8,45 ± 0,08	NÃO
desvio padrão Y (a, b, c)	0,03	0,06	0,05	0,15	0,74		
13	X (a)	9,95 ± 0,06	9,90 ± 0,07	10,00 ± 0,07	10,11 ± 0,06	9,91 ± 0,08	SIM
	X (b)	9,95 ± 0,06	9,95 ± 0,07	10,00 ± 0,07	10,08 ± 0,06	9,97 ± 0,08	SIM
	X (c)	9,95 ± 0,06	9,90 ± 0,07	10,05 ± 0,07	10,14 ± 0,06	9,96 ± 0,08	SIM
	desvio padrão X (a, b, c)	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	
	Y (a)	9,90 ± 0,06	9,90 ± 0,07	9,90 ± 0,07	9,99 ± 0,06	10,02 ± 0,08	SIM
	Y (b)	9,95 ± 0,06	9,90 ± 0,07	9,95 ± 0,07	9,97 ± 0,06	10,06 ± 0,08	SIM
	Y (c)	9,95 ± 0,06	9,90 ± 0,07	9,95 ± 0,07	10,06 ± 0,06	10,04 ± 0,08	SIM
desvio padrão Y (a, b, c)	0,03	0,00	0,03	0,04	0,02		

A Tabela 9 apresenta todas as incertezas de medição tipo A, estimadas considerando-se três medições realizadas em pontos distintos ao longo do eixo, uma única vez, conforme descrito no item 4.2.1.

Tabela 9 – Incertezas de medição do tamanho de campo irradiado em relação ao tamanho de campo nominal de 10 cm x 10 cm, ao longo do eixo X e Y, para cada acelerador linear avaliado.

ACELERADOR	INCERTEZAS DE MEDIÇÃO EXPANDIDA DO COMPRIMENTO DO EIXO DO CAMPO IRRADIADO (em cm)									
	EIXO X					EIXO Y				
	A(EBT QD+)	A(RTQA)	B(EBT QD+)	C(RTQA)	C(EBT QD+)	A(EBT QD+)	A(RTQA)	B(EBT QD+)	C(RTQA)	C(EBT QD+)
1	0,08	0,14	0,17	0,46	0,09	0,16	0,17	0,09	1,32	0,14
2	0,08	0,09	-	-	-	0,12	0,12	-	-	-
3	0,06	0,21	0,07	0,10	0,09	0,06	0,14	0,09	1,28	0,11
4	-	0,21	-	0,69	-	-	0,14	-	0,15	-
5	-	0,07	-	0,10	-	-	0,07	-	0,10	-
6	-	0,14	-	0,48	-	-	0,21	-	0,12	-
7	0,21	0,07	0,09	0,54	0,27	0,16	0,24	0,09	0,12	0,11
8	0,12	0,24	0,09	0,73	0,51	0,12	0,24	0,09	0,82	0,24
9	0,06	0,09	0,12	0,09	0,19	0,08	0,14	0,09	0,08	0,45
10	0,08	0,09	0,12	-	0,24	0,08	0,07	0,12	-	0,09
11	0,13	0,14	0,07	1,19	0,10	0,12	0,14	0,21	1,49	0,19
12	0,12	0,09	0,17	0,80	0,26	0,08	0,14	0,12	0,30	1,47
13	0,06	0,09	0,09	0,11	0,10	0,08	0,07	0,09	0,08	0,09

As figuras 34 e 35 representam graficamente os resultados da Tabela 9 e indicam que as maiores variabilidades do comprimento dos eixos ao longo do plano do campo irradiado foram evidenciadas por meio dos procedimentos C.

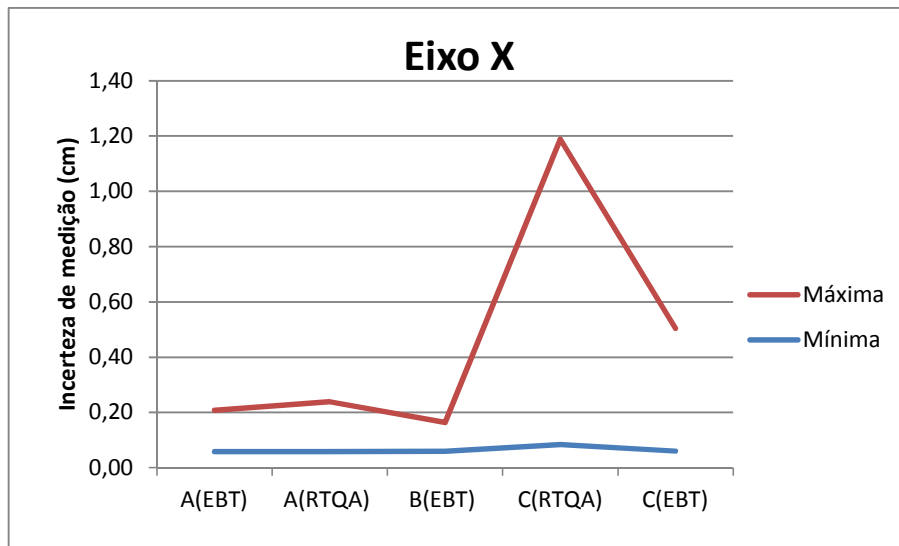


Figura 34 – Valores mínimos e máximos das estimativas de incerteza de medição obtidas na realização dos procedimentos A, B e C utilizados para medição do comprimento do Eixo X do campo irradiado pelos aceleradores lineares avaliados.

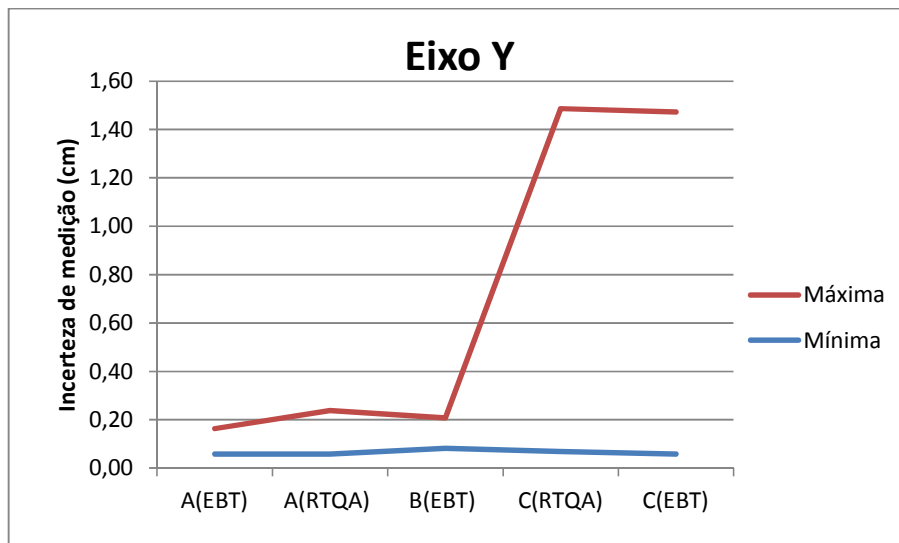


Figura 35 – Valores mínimos e máximos das estimativas de incerteza de medição obtidas na realização dos procedimentos A, B e C utilizados para medição do comprimento do Eixo Y do campo irradiado pelos aceleradores lineares avaliados.

Na Figura 36 é apresentado um resumo dos resultados de incerteza de medição associadas às avaliações realizadas com os diferentes procedimentos utilizados no trabalho para medição do tamanho de campo de irradiação.

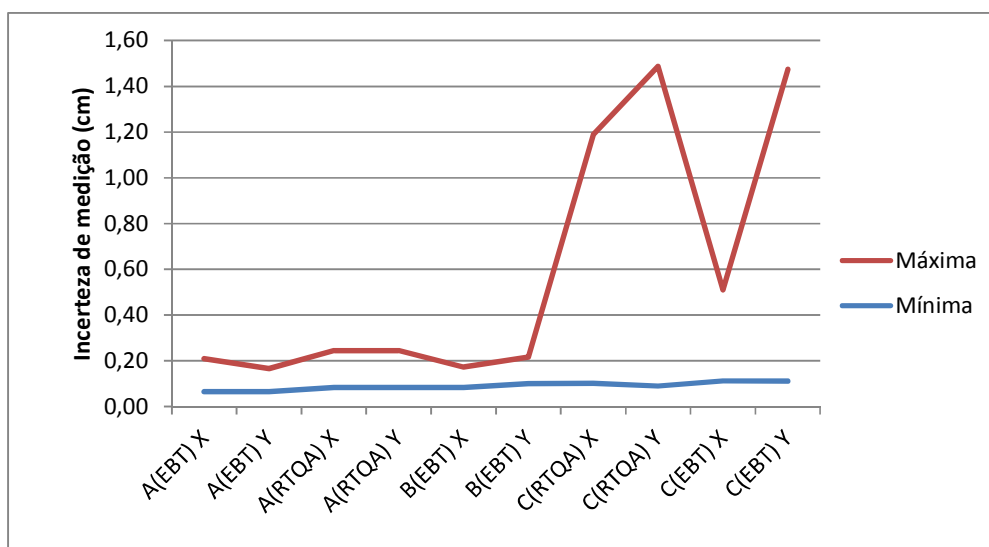


Figura 36 – Valores mínimos e máximos das estimativas de incerteza de medição obtidas na realização dos procedimentos A, B e C utilizados para medição do comprimento do Eixo X e Y do campo irradiado pelos aceleradores lineares avaliados.

Os maiores valores de incerteza de medição do comprimento dos eixo X e Y são observados nas medições utilizando o Procedimento C devido à contribuição da componente tipo A, que fora estimada por meio de medições únicas realizadas em três distintas posições ao longo do eixo.

5.3.

Confiabilidade Metrológica do Tamanho de Campo Irradiado

Os resultados de conformidade em relação ao TCI, de acordo com os valores de erros máximos admissíveis especificados no TECDOC-1151, incorporando-se a estimativa da incerteza de medição na avaliação, são apresentados a seguir, para cada eixo e para cada procedimento realizado, nas figuras 37 e 38, para o Procedimento $A_{EBT QD+}$; 39 e 40, para o Procedimento A_{RTQA} ; 41 e 42, para o Procedimento $B_{EBT QD+}$; 43 e 44, para o Procedimento C_{RTQA} ; 45 e 46, para o Procedimento $C_{EBT QD+}$.

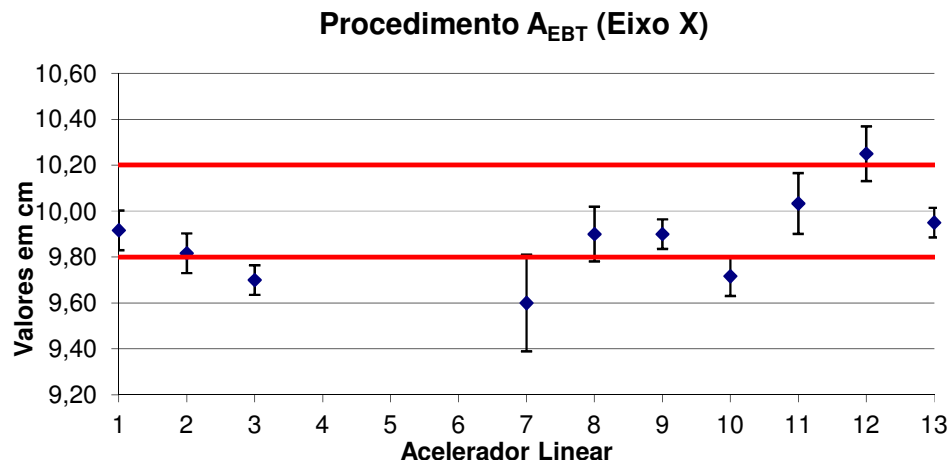


Figura 37 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $A_{EBT QD+}$.

Na Figura 37, analisando-se a faixa do resultado de medição, composto pela média das leituras do comprimento do **Eixo X** e as incertezas estimadas para a medição do campo irradiado utilizando o **Procedimento $A_{EBT QD+}$** em relação ao erro máximo admissível de ± 2 mm, observa-se que **60%** dos 10 aceleradores lineares avaliados (**aceleradores 2; 3; 7; 8; 10 e 12**) não se apresentaram em conformidade com o intervalo de aceitação.

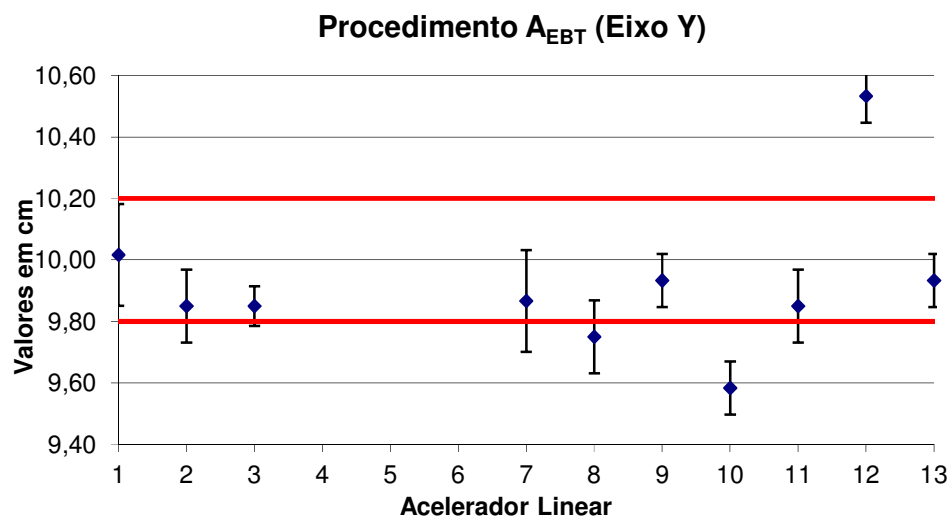


Figura 38 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $A_{EBT QD+}$.

Na Figura 38, **70%** dos 10 aceleradores lineares avaliados (**aceleradores 2; 3; 7; 8; 10; 11 e 12**) por meio do **Procedimento $A_{EBT QD+}$**

não se apresentaram em conformidade com o intervalo de aceitação para o comprimento do **Eixo Y**.

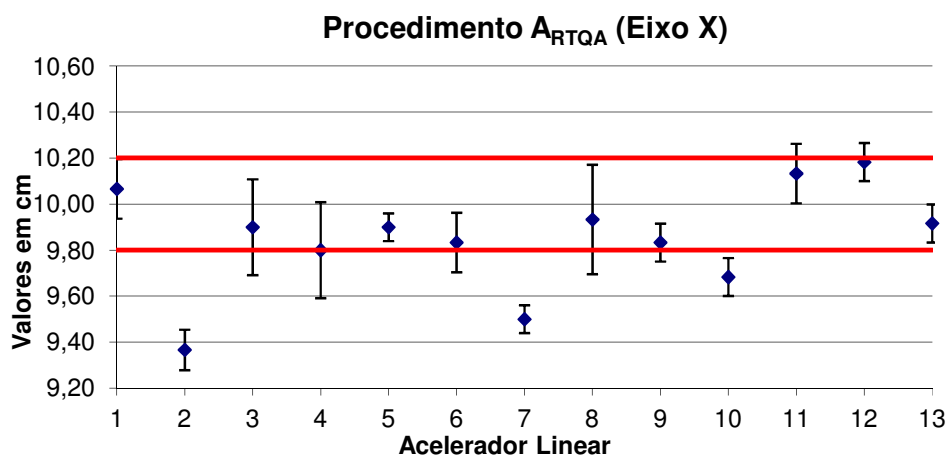


Figura 39 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento A_{RTQA}.

Na Figura 39, para leituras do comprimento do **Eixo X** por meio do **Procedimento A_{RTQA}**, **85%** dos 13 aceleradores lineares avaliados (**aceleradores 1; 2; 3; 4; 6; 7; 8; 9; 10; 11 e 12**) não se apresentaram em conformidade com o intervalo de aceitação.

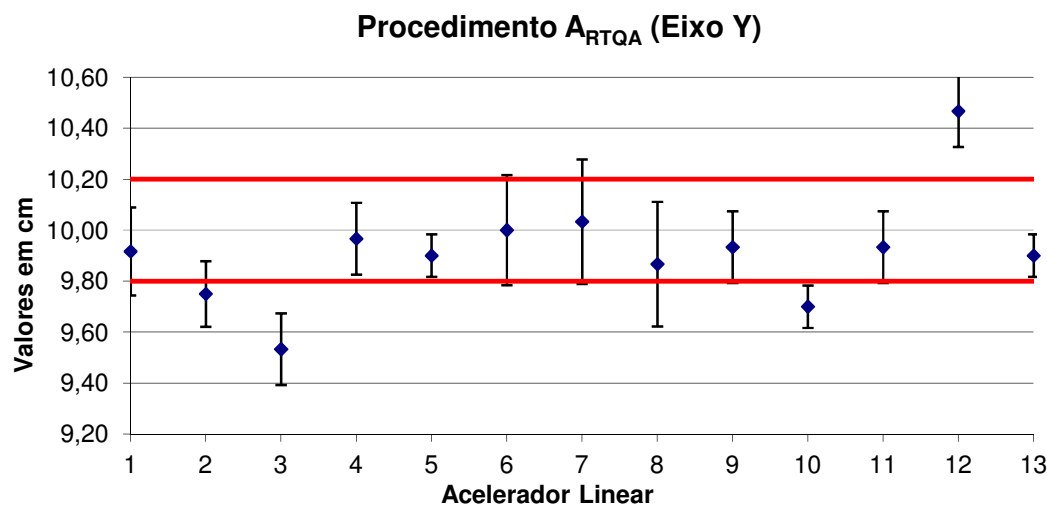


Figura 40 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento A_{RTQA}.

Na Figura 40, analisando-se a faixa do resultado de medição do comprimento do **Eixo Y** obtida por meio do **Procedimento A_{RTQA}**,

Resultados

observa-se que **77%** dos 13 aceleradores lineares avaliados (**aceleradores 1; 2; 3; 6; 7; 8; 9; 10; 11 e 12**) não se apresentaram em conformidade com o intervalo de aceitação.

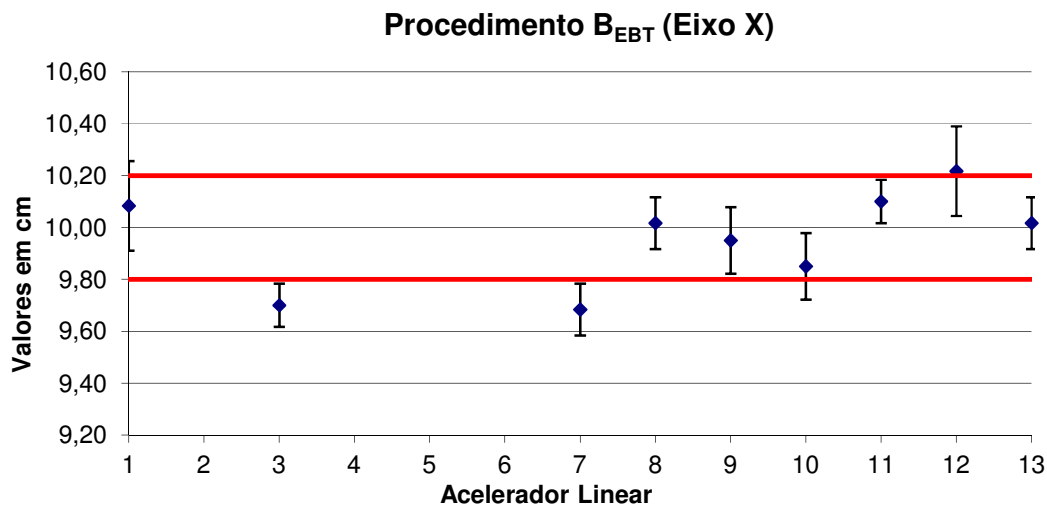


Figura 41 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $B_{EBT QD+}$.

Na Figura 41, **56%** dos 9 aceleradores lineares avaliados (**aceleradores 1; 3; 7; 10 e 12**) não se apresentaram em conformidade com o intervalo de aceitação por meio **Procedimento $B_{EBT QD+}$** para o comprimento do **Eixo X**.

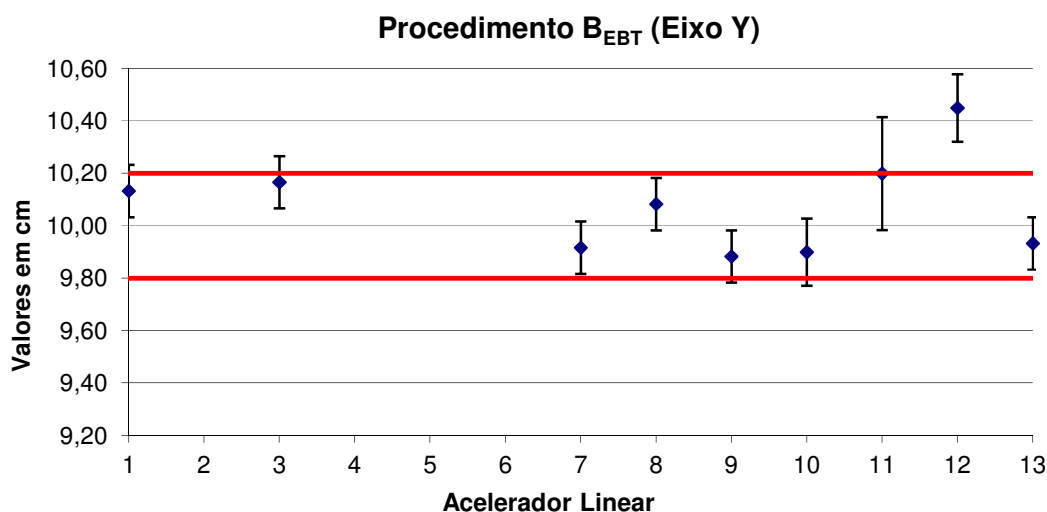


Figura 42 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $B_{EBT QD+}$.

Na Figura 42, para o **Eixo Y** analisado por meio do **Procedimento B_EBT_{QD+}**, observou-se que **67%** dos 9 aceleradores lineares avaliados (**aceleradores 1; 3; 9; 10; 11 e 12**) não apresentaram conformidade.

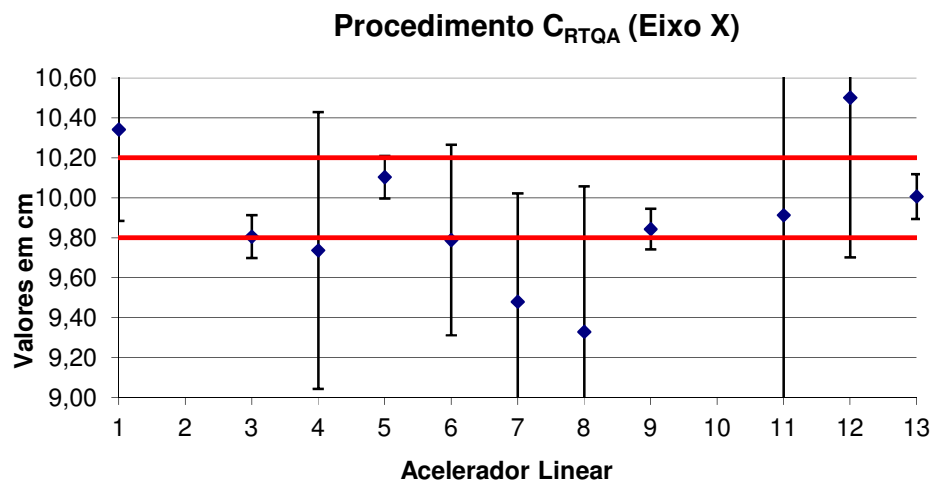


Figura 43 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento C_{RTQA}.

Na Figura 43, que apresenta os resultados de medição obtidos por meio do **Procedimento C_{RTQA}** para o **Eixo X**, **91%** dos 11 aceleradores lineares avaliados (**aceleradores 1; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 11 e 12**) estavam não-conformes.

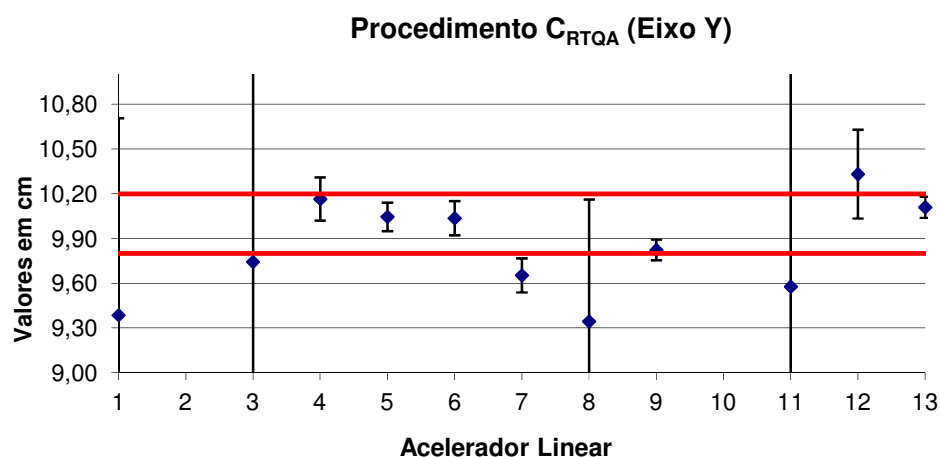


Figura 44 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento C_{RTQA}.

Os resultados apresentados na Figura 44, obtidos por meio do **Procedimento C_{RTQA}** para medição do comprimento do **Eixo Y** indicaram que **73%** dos 11 aceleradores lineares avaliados (**aceleradores 1; 3; 4; 7;**

Resultados

8; 9; 11 e 12) estavam não-conformes em relação ao intervalo de aceitação.

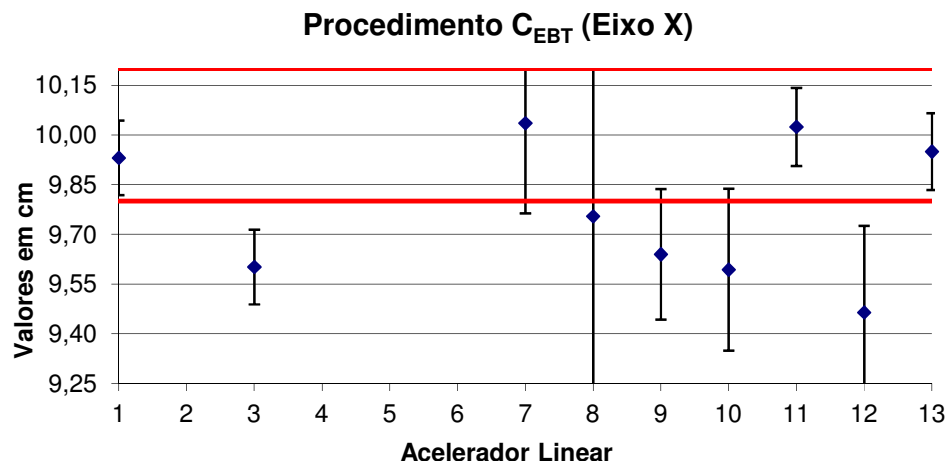


Figura 45 – Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $C_{EBT QD+}$.

Segundo a Figura 45, **67%** dos 9 aceleradores lineares avaliados (**aceleradores 3; 7; 8; 9; 10 e 12**) estavam não-conformes em relação ao intervalo de aceitação para a medição do comprimento do **Eixo X** por meio do **Procedimento $C_{EBT QD+}$** .

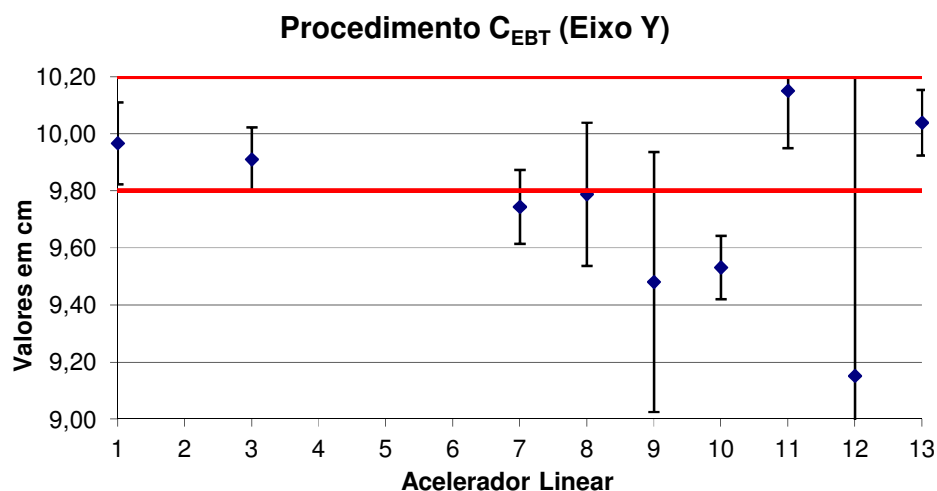


Figura 46 – Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $C_{EBT QD+}$.

Na Figura 46, as medições do comprimento do **Eixo Y** por meio do **Procedimento $C_{EBT QD+}$** apresentaram **67%** dos 9 aceleradores lineares avaliados (**aceleradores 7; 8; 9; 10; 11 e 12**) de não-conformidade com o intervalo de aceitação.

5.4. Contribuição da Incerteza de Medição na Avaliação da Conformidade

Os percentuais de impacto das incertezas de medição em relação ao valor de erro máximo admissível de ± 2 mm, recomendado pelo TECDOC-1151 foram calculados conforme citado no item 4.2.1.1 e estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Percentual do valor das incertezas de medição em relação ao erro máximo admissível de ± 2 mm apresentados para cada acelerador em função do eixo de campo irradiado e procedimento de medição utilizado.

LINAC	Procedimento A (EBT QD+)		Procedimento A (RTQA)		Procedimento B (EBT QD+)		Procedimento C (RTQA)		Procedimento C (EBT QD+)	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
1	43%	83%	70%	86%	86%	50%	56%	72%	229%	661%
2	43%	59%	50%	64%	-	-	-	-	-	-
3	32%	32%	108%	70%	42%	50%	56%	56%	54%L	639%
4	-	-	108%	70%	-	-	-	-	346%	78%
5	-	-	42%	42%	-	-	-	-	54%	56%
6	-	-	70%	108%	-	-	-	-	239%	64%
7	105%	83%	42%	122%	50%	50%	136%	65%	271%	64%
8	59%	59%	122%	122%	50%	50%	255%	126%	364%	410%
9	32%	43%	50%	70%	64%	50%	99%	228%	51%	45%
10	43%	43%	50%	42%	64%	64%	122%	56%	-	-
11	66%	59%	70%	70%	42%	108%	59%	101%	595%	744%
12	59%	43%	50%	70%	86%	64%	131%	737%	400%	151%
13	32%	43%	50%	42%	50%	50%	58%	58%	56%	46%

A faixa mínima da incerteza de medição correspondeu a 32% da zona de conformidade e a máxima a 744%, indicando um impacto significativo da estimativa da incerteza de medição na avaliação de conformidade do TCI.

A Tabela 11 apresenta o resultado geral obtido nas medições do TCI (Eixos X e Y) dos aceleradores por meio de cada procedimento (A, B, C) e sua conformidade em relação ao requisito, considerando o erro máximo admissível de ± 2 mm (TECDOC-1151). A análise de conformidade é feita tanto por meio do erro médio isoladamente, quanto incorporando a faixa de incerteza de medição do parâmetro.

Na Tabela 11, os casos em que a não-conformidade foi evidenciada somente ao considerar-se a estimativa de incerteza na avaliação estão destacados com o símbolo ∇ .

Tabela 11 – Resultado geral da pesquisa de campo

Acelerador	Procedimento A _{EBT QD+}		Procedimento A _{RTQA}		Procedimento B _{EBT QD+}		Procedimento C _{RTQA}		Procedimento C _{EBT QD+}	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
1	√	√	√	√	√	√	•	•	√	√
2	√	√	•	•	—	—	—	—	—	—
3	•	√	√	•	•	√	√	•	•	√
4	—	—	√	√	—	—	•	√	—	—
5	—	—	√	√	—	—	√	√	—	—
6	—	—	√	√	—	—	•	√	—	—
7	•	√	•	√	•	√	•	•	√	•
8	√	•	√	√	√	√	•	•	•	•
9	√	√	√	√	√	√	√	√	•	•
10	•	•	•	•	√	√	—	—	•	•
11	√	√	√	√	√	√	√	•	√	√
12	•	•	√	•	•	•	•	•	•	•
13	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
NC por erro	40%	30%	23%	31%	33%	11%	55%	55%	56%	56%
NC por incerteza	20%	40%	54%	31%	22%	44%	9%	9%	0%	0%
NC total	60%	70%	77%	62%	56%	56%	64%	64%	56%	56%
NCEXY	50%		38%		33%		73%		67%	
NCIXY	20%		46%		33%		0%		0%	
NCTXY	70%		84%		66%		73%		67%	

LEGENDA:	
NCE	= Não-conformidade causada por influência do erro
NCI	= Não-conformidade causada por influência da incerteza
NCT	= Não-conformidade total
NCEXY	= Não-conformidade causada por influência do erro em pelo menos um dos dois eixos
NCIXY	= Não-conformidade causada por influência da incerteza em pelo menos um dos dois eixos
NCTXY	= Não-conformidade total avaliando os dois eixos
\checkmark	= Conforme
•	= Não-conforme
—	= Não avaliado
\checkmark	= não-conformidade evidenciada somente ao considerar-se a incerteza de medição a 95,45%

Aplicando-se o Procedimento **A_{RTQA}** e considerando-se a incerteza de medição (IM) na avaliação da conformidade do comprimento dos eixos X e Y (**NCTXY**), onze (84%) dos 13 aceleradores avaliados por esse procedimento apresentaram não-conformidades (Tabela 11). Sem considerar a IM, no entanto, somente 38% dos aceleradores seriam identificados com não-conformidades relacionadas ao TCI. Avaliando-se os comprimentos X e Y isoladamente, as discrepâncias se alteraram, mas se acentuam para X, identificando-se um total de 77% de não-conformidades considerando-se a incerteza de medição (IM) e apenas 23% de detecção sem considerar a IM (NCE). As diferenças de conformidade para o procedimento **A_{E_{BT}}** não são tão elevadas, mas se acentuam na avaliação isolada do eixo Y.

Na avaliação da conformidade utilizando o Procedimento B e considerando a IM para o comprimento dos eixos X e Y, seis (67%) dos 9 aceleradores avaliados por esse procedimento apresentaram não-conformidades (Tabela 11). Sem considerar a IM, somente 33% dos aceleradores seriam identificados com não-conformidades relacionadas ao TCI. Avaliando-se o comprimento Y isoladamente, as discrepâncias se acentuaram, identificando-se um total de 56% de não-conformidade considerando-se a IM e apenas 11% de detecção sem considerar considerá-la.