



Nilmara Almeida Guimarães

**Avaliação metrológica do tamanho de campo irradiado por
aceleradores lineares**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia da PUC-Rio (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação).

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Elisabeth Costa Monteiro
Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Cássia Ribeiro Ponciano

Rio de Janeiro
Abril de 2011



Nilmara Almeida Guimarães

Avaliação metrológica do tamanho de campo irradiado por aceleradores lineares

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora e homologada pela Coordenação Setorial de Pós-Graduação, formalizado pelas respectivas assinaturas:

Comissão Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Elisabeth Costa Monteiro
Orientadora

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PósMQI/PUC-Rio)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Prof^a. Dr^a. Cássia Ribeiro Ponciano
Co-orientadora

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PósMQI/PUC-Rio)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Carlos Roberto Hall Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PósMQI/PUC-Rio)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Alfredo Viamonte Marin

Programa de Qualidade em Radioterapia (PQRT do INCA/RJ)
Instituto Nacional de Câncer do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Vitor Luiz Bastos de Jesus

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro
Campus Nilópolis (IFRJ-Nilópolis).

Coordenação Setorial de Pós-Graduação:

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do
Centro Técnico Científico (PUC-Rio)

Rio de Janeiro, 01 de abril de 2011.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Nilmara Almeida Guimarães

Graduou-se em Tecnologia em Gestão da Produção e Metrologia no IFRJ (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia) em 2009. Atuou como técnica em metrologia nos laboratórios de calibração acreditados do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Professor Leopoldo Américo Miguez de Mello – CENPES (2006 a 2009).

Ficha Catalográfica

Guimarães, Nilmara Almeida

Avaliação metrológica do tamanho de campo irradiado por aceleradores lineares / Nilmara Almeida Guimarães; orientadora: Elisabeth Costa Monteiro; co-orientadora: Cássia Ribeiro Ponciano – 2011.

143 f. : il. ; 29,7 cm

Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Radioterapia. 3. Controle da Qualidade. 4. Acelerador Linear. 5. Tamanho de Campo. I. Monteiro, Elisabeth Costa. II. Ponciano, Cássia Ribeiro. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação. IIII. Título.

CDD: 389.1

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus, meus pais Enilson e Maria, minha irmã Enimara, meu namorado Gustavo, meus cunhados Jefferson e Guilherme, meus sogros Marly e Ricardo, minhas grandes amigas Vanessa, Eduarda, Elazir, Jordana e Carmen.

Agradecimentos

À minha orientadora Professora Elisabeth Costa Monteiro e à minha co-orientadora e amiga Professora Cássia Ribeiro Ponciano pelo estímulo e parceria para a realização deste trabalho.

Ao CNPq, à PUC-Rio e ao PQRT do INCA, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus pais, pela educação, atenção e carinho de todas as horas.

Ao físico Roberto Salomon de Souza, pelas mais que importantes contribuições e apoio.

Aos físicos dos serviços de radioterapia que colocaram à disposição toda estrutura para que o principal objetivo deste trabalho fosse alcançado.

Aos meus colegas da PUC-Rio.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos e pela ajuda, em especial à secretária Márcia por todo o auxílio prestado e à assistente Paulinha pelo apoio.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

Resumo

Guimarães, Nilmara Almeida; Monteiro, Elisabeth Costa; Ponciano, Cássia Ribeiro. **Avaliação Metrológica do Tamanho de Campo Irradiado por Aceleradores Lineares**. Rio de Janeiro, 2011. 143p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação (PósMQI), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O **objetivo** desta dissertação é o estudo de procedimentos para avaliação da confiabilidade metrológica do tamanho de campo irradiado (TCI) por aceleradores lineares. No **contexto** das recentes alterações no panorama regulamentar dos serviços de radioterapia, com a implementação da RDC N° 20, em 2006, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), foi estabelecida a compulsoriedade do uso do densitômetro óptico na verificação do TCI, como parte do controle da qualidade. Questões associadas à implementação prática dos recentes requisitos para medição do tamanho de campo irradiado e as recentes indicações do potencial uso de filmes radiocrômicos para o controle da qualidade em radioterapia **motivaram** a realização do presente trabalho. Foram empregados três diferentes procedimentos para avaliação do tamanho de campo irradiado por aceleradores lineares utilizados em treze serviços de radioterapia localizados no Estado do Rio de Janeiro, utilizando filmes radiocrômicos EBT QD+, RTQA, densitômetro óptico *DensiX* tipo T52001 ou scanner de transmissão *Microtek*. Os **resultados** destacam a contribuição das fontes de incerteza de medição para cada procedimento realizado e indicam a necessidade de considerá-la na avaliação da conformidade utilizando o densitômetro óptico (DO). Devido às propriedades do filme radiocrômico RTQA, o mesmo não pode ser utilizado no procedimento de medição com DO. Em **conclusão**, o uso do procedimento de medição utilizando scanner mostrou-se mais adequado para avaliação das dimensões de campos de radiação não-homogêneos.

Palavras-chave

Radioterapia; Acelerador Linear; Controle da Qualidade; Tamanho de Campo Irradiado; Metrologia.

Abstract

Guimarães, Nilmara Almeida; Monteiro, Elisabeth Costa (Advisor); Ponciano, Cássia Ribeiro (Co-advisor). **Metrological evaluation of the radiation field size by linear accelerators.** Rio de Janeiro, 2011. 143p. MSc. Dissertation – Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação (PósMQI), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The **objective** of the present work is to study different procedures for metrological evaluation of the size of the radiation field emitted by linear accelerators. In the **context** of the recent requirements determined by the publication of the RDC N° 20, in 2006, by National Agency for Sanitary Vigilance (Anvisa), the compulsory use of the optical densitometer for the measurements of the field size during quality control tests was introduced. Practical implementation issues associated with these requirements and the recent studies indicating the potential use of radiochromic films for measurements of the field size **motivated** the present work. Three different procedures were employed in order to evaluate the radiation field size emitted by linear accelerators used in thirteen radiotherapy services located in Rio de Janeiro, using radiochromic films EBT QD+ and RTQA, optical densitometer *DensiX* type T52001 or scanner *Microtek*. The **results** indicate the contribution of the measurement uncertainty associated to each procedure performed, highlighting the importance of its consideration during tests for conformity assessment with the recently required optical densitometer. Nevertheless, the RTQA radiochromic film properties precluded its use in the procedure using optical densitometer. In **conclusion**, among the evaluated procedures for radiation field evaluation, the use of the scanner was the most appropriate, especially if dimensional non-homogeneities are present.

Keywords

Radiotherapy; Linear Accelerator; Quality Control; Radiation Field Size; Metrology.

Sumário

1. Introdução	20
1.1. Motivação	21
1.2. Objetivo	22
1.3. Metodologia	23
1.4. Estrutura da dissertação	24
2. Radioterapia.....	25
2.1. Radiações Ionizantes	28
2.1.1. Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes	30
2.2. Conceitos de Radioterapia	31
2.3. Aceleradores de Partículas.....	33
2.3.1. Aceleradores lineares utilizados em Radioterapia	35
2.3.2. Sistema de Segurança do Acelerador Linear	42
3. Confiabilidade Metrológica em Radioterapia.....	44
3.1. Contexto Internacional.....	46
3.1.1. Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM)	46
3.1.2. Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML)	51
3.1.3. Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).....	52
3.1.4. Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC)	53
3.1.5. Organização Internacional para Padronização (ISO)	54
3.2. Contexto Nacional	54
3.2.1. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).....	54
3.2.2. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)	57
3.2.3. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).....	58
3.2.4. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).....	61
3.3. Controle da Qualidade em Radioterapia.....	61
3.3.1. Programa de Qualidade em Radioterapia - PQRT	63
3.3.1.1. Protocolo TECDOC-1151	64

4. Metodologia	68
4.1. Materiais	70
4.1.1. Filmes Radiocrômicos	71
4.1.2. Densitômetro Óptico	73
4.1.3. Régua	75
4.1.4. Scanner e DoseLab4	75
4.2. Avaliação do Tamanho de Campo Irradiado	78
4.2.1. Estimativa da incerteza de medição do tamanho de campo irradiado	85
4.2.1.1. Confiabilidade Metrológica do Tamanho de Campo Irradiado	94
5. Resultados	96
5.1. Erros no Tamanho de Campo Irradiado	97
5.2. Incertezas de medição dos Tamanhos de Campos Irrradiados estimadas para os procedimentos A, B e C	99
5.3. Confiabilidade Metrológica do Tamanho de Campo Irradiado	106
5.4. Contribuição da Incerteza de Medição na Avaliação da Conformidade	112
6. Discussões	115
7. Conclusões	129
8. Referências Bibliográficas.....	131
ANEXO 1 – Tabela t de Student	139
ANEXO 2 – Certificado de Calibração do Densitômetro	140
ANEXO 3 – Certificado de Calibração da Régua.....	141
APÊNDICE 1 – Formulário da Pesquisa de Campo.....	143

Siglas e Abreviaturas

^{60}Co – Cobalto 60

a.C. – antes de Cristo

AAPM – Associação Americana de Físicos em Medicina

ABIFCC – Associação Brasileira das Instituições Filantrópicas de Combate ao Câncer

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADN – Ácido Desoxirribonucléico

AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica

AMN – Associação Mercosul de Normalização

Anvisa – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ARCAL – Acordo Regional de Cooperação para a promoção da ciência e tecnologia nucleares na América Latina e no Caribe

BIPM – Bureau Internacional de Pesos e Medidas

CBM – Comitê Brasileiro de Metrologia

CBTC – Comitê de Coordenação sobre Barreiras Técnicas ao Comércio

CCAB – Comitê Codex Alimentarius do Brasil

CGPM – Conferência Geral de Pesos e Medidas

CIPM – Comitê Internacional de Pesos e Medidas

CNA – Comissão Nacional de Acreditação

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

CNES/MS – Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde do Ministério da Saúde

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CNN – Comitê Nacional de Normalização

CONACRE – Antigo Comitê de Credenciamento de laboratórios e Organismos de Inspeção

CONMETRO – Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

COPANT – Comissão Panamericana de Normas Técnicas

CR – *Comptes Rendus*

DNA – *Deoxyribonucleic Acid*

DOU – Diário Oficial da União

EPID - Dispositivos eletrônicos de aquisição de imagem

IAEA – *International Atomic Energy Agency*

ICRU – Comissão Internacional de Unidades e Medidas da Radiação

IDEC – Instituto de Defesa do Consumidor

IEC – Comissão Electrotécnica Internacional

IFRJ-Nilópolis – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro Campus Nilópolis

IM – Incerteza de Medição

INCA – Instituto Nacional de Câncer

INM – Instituto Nacional de Metrologia

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

IPEM – Instituto de Pesos e Medidas

IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria

ISO – Organização Internacional para Padronização

ISO GUM – Guia para Expressão da Incerteza de Medição

ISP – International Specialty Products

Kp – Fator de abrangência

LIA – Limite Inferior de Aceitação

LIE – Limite Inferior de Especificação

LINAC – *Linear Accelerator/* Acelerador Linear

LNMRI – Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes

LSA – Limite Superior de Aceitação

LSE – Limite Superior de Especificação

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MLC – Colimador Multifolhas

MRA – Arranjo de Reconhecimento Mútuo

NBR – Norma Brasileira Registrada

OCC – Organismos de Certificação Acreditados

OIA – Organismos de Inspeção Acreditados

OIML – Organização Internacional de Metrologia Legal

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

OPP – Organismo Provedor de Ensaio de Proficiência Acreditado

OTC – Organismos de Treinamento Credenciados

PDP – Percentual de Dose em Profundidade

PQRT – Programa da Qualidade em Radioterapia

PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

RBC – Rede Brasileira de Calibração

RBLE – Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio

RDC – Resolução da Diretoria Colegiada

RGB – *Red-Green-Blue*

RM – Resultado de Medição

RMO – Organizações Regionais de Metrologia

SI – Sistema Internacional de Unidades

SINMETRO – Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

SIR – Sistema Internacional de Referência

DFS – Distância fonte-superfície

SUS – Sistema Único de Saúde

TCI – Tamanho de Campo Irradiado

TG – *Task Group*

TLC – Taxa de licenciamento, controle e fiscalização de materiais nucleares e radioativos e suas instalações

TNP – Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares

TPR – Relação Tecido-Fantoma

TR – Informativo Técnico

TRS – *Technical Reports Series*

UM – Unidade Monitora

UV – Ultravioleta

V_{eff} – Graus de Liberdade Efetiva

VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados

Lista de figuras

Figura 1 - Wilhelm K. Roentgen	25
Figura 2 - Pierre Curie e Marie Curie	25
Figura 3 - Datas importantes na história da radioterapia.....	28
Figura 4 - Classificação das radiações em função da interação com a matéria	29
Figura 5 - Espectro Eletromagnético	30
Figura 6 - Ilustração de um acelerador linear para radioterapia	35
Figura 7 - Histograma de Serviços de Radioterapia com Aceleradores Lineares distribuídos por Estado	36
Figura 8 - Diagrama do acelerador linear	36
Figura 9 - Vista em corte de uma guia de onda do acelerador linear de 6 MV.....	38
Figura 10 - Esquemas do cabeçote de um acelerador para produção de fótons e elétrons	39
Figura 11 - Detalhes dos componentes do cabeçote de um acelerador linear	40
Figura 12 - Simulação de tamanhos de campo de radiação com colimador secundário formado por quatro blocos.....	40
Figura 13 - Colimador de múltiplas folhas no lado esquerdo e campo irregular formado pelas lâminas no lado direito	41
Figura 14 - Perfil do feixe utilizado para definição do tamanho de campo a 50% da dose irradiada	41
Figura 15 - Pirâmide de rastreabilidade	45
Figura 16 - Estrutura Metrológica do Brasil	56
Figura 17 - Camadas do filme Gafchromic RTQA	72
Figura 18 - Camadas do filme Gafchromic EBT QD+	72
Figura 19 - Densitômetro Óptico PTW-DensiX tipo T52001	74
Figura 20 - Sistema para aquisição da imagem do filme radiocrômico composto por um scanner Microtek e um PC	76
Figura 21 - Tela do <i>software</i> ScanMaker: Seleção da imagem no filme radiocrômico para digitalização do campo irradiado	76

Figura 22 - Conversão do campo irradiado em escala de cinza para análise da dose e do tamanho de campo	77
Figura 23 - Posição de leitura do comprimento dos eixos X e Y do campo irradiado com uso da régua calibrada.....	80
Figura 24 - Método para medição do comprimento dos eixos X e Y com o uso do DoseLab 4 após definição dos pontos (x, y) nas bordas do campo irradiado identificado pelas linhas tracejadas em cor vermelha	82
Figura 25 - Medição do comprimento do eixo Y central com o uso do DoseLab4.....	83
Figura 26 - Medição do comprimento do eixo X central com o uso do DoseLab4.....	84
Figura 27 - Diagrama de causa e efeito aplicado à incerteza de medição do tamanho de campo irradiado.....	86
Figura 28 - Semelhança de triângulos para calcular a contribuição de incerteza da medição devido à diferença no valor da DFS	90
Figura 29 - Apresentação dos mensurandos no campo irradiado avaliados na repetitividade do procedimento de avaliação do tamanho de campo irradiado por aceleradores lineares.....	92
Figura 30 - Zona de Conformidade (ZC) estabelecido pelo TECDOC-1151 e utilizado na avaliação metrológica do tamanho de campo irradiado de 10 cm x 10 cm.....	94
Figura 31 - Simulação do intervalo de aceitação considerado no presente trabalho, caso a estimativa da incerteza de medição do TCI seja de $\pm 0,1$ cm	95
Figura 32 - Valores médios do comprimento do eixo X e correspondente incerteza da repetitividade do método	100
Figura 33 - Valores médios do comprimento do eixo Y e correspondente incerteza da repetitividade do método	100
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.....	104

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.....	105
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.....	105
Figura 37 - Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $A_{EBT\ QD+}$	106
Figura 38 - Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $A_{EBT\ QD+}$	107
Figura 39 - Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento A_{RTQA}	107
Figura 40 - Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento A_{RTQA}	108
Figura 41 - Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $B_{EBT\ QD+}$	108
Figura 42 - Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $B_{EBT\ QD+}$	109
Figura 43 - Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento C_{RTQA}	109
Figura 44 - Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento C_{RTQA}	110
Figura 45 - Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $C_{EBT\ QD+}$	110
Figura 46 - Faixa do resultado de medição do eixo Y do tamanho de campo irradiado, para cada acelerador avaliado segundo o Procedimento $C_{EBT\ QD+}$	111
Figura 47 - Faixa do resultado de medição do eixo X do tamanho de campo irradiado, para o acelerador 1 avaliado por todos os procedimentos realizados	120
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	120
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	121
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	121
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	122
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	122
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	123
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	123
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	124
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	124
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	125
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	125
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	126
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	126
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	127
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	127

Lista de quadros e tabelas

Quadro 1 - Evolução dos aceleradores lineares para radioterapia	27
Quadro 2 - Classificação dos Raios X em função das energias cinéticas	35
Quadro 3 - Cronograma de criação dos comitês consultivos	47
Quadro 4 - Unidades de base do SI	49
Quadro 5 - Exemplos de múltiplos e submúltiplos de unidade SI e de algumas outras unidades que podem ser usadas na Radioterapia	50
Quadro 6 - Normas de radioproteção da CNEN	60
Quadro 7 - Testes de Garantia da Qualidade de Aceleradores Lineares .	65
Quadro 8 - Serviços de radioterapia do Estado do Rio de Janeiro credenciados pela CNEN em dezembro de 2010	69
Tabela 1 - Dados técnicos referentes aos aceleradores lineares avaliados nos treze serviços de radioterapia	70
Tabela 2 - Caracterização dos procedimentos a partir de materiais utilizados para a realização da medição do tamanho de campo irradiado	84
Tabela 3 - Avaliação da repetitividade para cada procedimento realizado	92
Tabela 4 - Fontes de Incerteza consideradas no modelo para o balanço de incertezas dos Procedimentos A, B e C, utilizados para medição do tamanho de campo irradiado.....	93
Tabela 5 - Tipos de Procedimentos realizados para medição do tamanho de campo nas avaliações de cada acelerador linear	97
Tabela 6 - Erros médios do tamanho de campo irradiado, ao longo do eixo X, para cada acelerador linear avaliado	98
Tabela 7 - Erros médios do tamanho de campo irradiado, ao longo do eixo Y, para cada acelerador linear avaliado	99
Tabela 8 - Resultados obtidos ao longo do eixo X e Y, por procedimento para cada acelerador linear avaliado.	101
Tabela 9 - Incertezas de medição do tamanho de campo irradiado, ao longo do eixo X e Y, para cada acelerador linear avaliado	104

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	112
Tabela 11 -Resultado geral da pesquisa de campo	113
Tabela 12 -Valores de incertezas de medição absolutas	116