



INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa

# Dose e Qualidade da Imagem em Tomografia Computorizada

Ana Margarida de Mendonça Coutinho

Dissertação Final de Mestrado para obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Biomédica

## Orientadores

Professor Doutor Nuno José Coelho Gomes Teixeira (ESTeSL)  
Engenheiro Hugo Miguel Reis Trindade (MedicalConsult)

Janeiro de 2018



INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa



# Dose e Qualidade da Imagem em Tomografia Computorizada

Ana Margarida de Mendonça Coutinho

Dissertação Final de Mestrado para obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Biomédica

## Orientadores

Professor Doutor Nuno José Coelho Gomes Teixeira (ESTeSL)

Engenheiro Hugo Miguel Reis Trindade (MedicalConsult)

## Júri

Presidente: Doutora Lina Vieira

Arguente: Doutor Pedro Miragaia Vaz

Vogal: Doutor Nuno José Coelho Gomes Teixeira

Janeiro de 2018

**Dose e Qualidade da Imagem em Tomografia Computorizada.**

**Copyright© 2017** - Todos os direitos reservados: a Ana Margarida de Mendonça Coutinho; Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa.

O Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e a Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*“Research is to see what everybody else has seen,  
and to think what nobody else has thought”*

***Albert Szent-Gyorgyi***



## Agradecimentos

A presente dissertação é o culminar de um ciclo de estudos que não se limitou a uma aprendizagem académica e profissional, mas que ultrapassou esses limites e me moldou enquanto pessoa. Desta forma, é chegado o momento de mostrar o meu apreço a todos aqueles que de uma forma direta ou indireta estiveram envolvidos nesta jornada.

Em primeiro lugar, quero expressar a minha gratidão ao meu orientador, Professor Doutor Nuno Teixeira, que com muito entusiasmo, me deu a conhecer o presente tema, bem como por todo o seu apoio, conselhos, e pelas constantes palavras de motivação, que me permitiram concluir com sucesso este trabalho.

Agradeço, também, ao meu co-orientador, Engenheiro Hugo Trindade, por toda a simpatia, constante disponibilidade, partilha de conhecimentos e valiosas contribuições. Sem a sua ajuda, o desenvolvimento deste trabalho não teria sido conseguido.

Devo ainda reconhecer o contributo, a amabilidade e a disponibilidade da empresa parceira neste trabalho, a MedicalConsult, que cedeu toda a informação necessária ao desenvolvimento deste tema.

Muito obrigada a todos os meus colegas e amigos de Radiologia e Engenharia Biomédica, pelo companheirismo e ajuda ao longo da minha vida académica. Um especial agradecimento à minha grande amiga e colega Mariana, por toda a amizade, carinho e companhia, ao longo destes últimos dois anos de mestrado e pelo entusiasmo que partilhamos cada vez que uma de nós dava mais um passo no seu trabalho. Aos meus grandes amigos, Soraia, Raquel, Vera e João, pelos constantes incentivos e por me acompanharem ao longo destes últimos sete anos.

Obrigado, ainda, a todos os meus familiares que sempre demonstraram carinho e preocupação durante esta longa jornada.

Ao meu namorado Vasco, um obrigado por estares sempre ao meu lado, pelas palavras de apreço e pelos gestos meigos, cheios de amor e carinho.

Finalmente, e porque são a base de tudo, um eterno obrigado aos meus pais, Eduarda e José, que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões. E ao meu inseparável irmão, Guilherme, um enorme obrigado, por toda a sua paciência, preocupação, incentivo e dedicação incansável em todos os momentos da minha vida.

*A todos, o meu muito e sincero obrigado.*

*Ana Margarida Coutinho*



## Resumo

A Tomografia Computorizada é uma técnica de radiodiagnóstico por imagem, cada vez mais utilizada na prática clínica e, que tem proporcionado muitos benefícios ao nível do diagnóstico e da terapia na saúde. No entanto, é preciso ter em atenção as doses significativas a que os pacientes são expostos, quando submetidos a este tipo de exame. Com a crescente evolução tecnológica, tem-se verificado, em Portugal, um aumento do número de equipamentos e de exames de Tomografia Computorizada ao longo dos anos. Em 2008, estima-se terem sido realizados 1,1 milhões de exames de TC e, em 2014, aproximadamente 1,6 milhões de exames. [1]

O principal objetivo deste trabalho foi caracterizar a dose e a qualidade da imagem em 180 equipamentos de tomografia computadorizada existentes em Portugal. Foram efetuadas 330 intervenções em várias instituições de saúde, distribuídas tanto pelo continente como pelas ilhas. Testou-se e fez-se uma avaliação dos números de TC, das espessuras de corte, da resolução de baixo contraste, da resolução de alto contraste, da uniformidade, do ruído, e do índice de dose em tomografia computadorizada destes equipamentos e elaborou-se uma caracterização nacional do parque tecnológico português de TC.

Os números de TC foram analisados em quatro materiais, com diferentes densidades, cujos valores médios de TC obtidos foram: 996 HU (Ar), -954 HU (Teflon), -120 HU (Acrílico) e -97 HU (LDPE). A resolução espacial e a resolução de baixo contraste foram analisadas de acordo com a tensão de aquisição, a corrente, a espessura de corte, o FOV e o kernel. Relativamente, ao estudo da dose, efetuaram-se medições com um fantoma de cabeça e um fantoma de corpo. Com isto, para uma tensão de 80-90 kV obteve-se  $\sim 15$  mGy para o estudo da cabeça e  $\sim 7$  mGy para o corpo. Quando se aumentou a tensão para 130-140 kV, o valor médio de dose obtido foi de  $\sim 48$  mGy (cabeça) e  $\sim 25$  mGy (corpo).

Os resultados mostraram que o parque tecnológico português é vasto e que se encontra em mais de 95% conforme em matéria dos testes efetuados. Verificou-se que os valores obtidos são bastante aceitáveis e congruentes com os encontrados no estrangeiro. Com o uso de protocolos de TC apropriados e otimizados, pode-se garantir a minimização da exposição das populações à radiação e assegurar-se uma boa qualidade diagnóstica.

### Palavras-chave:

Tomografia Computorizada; Dose; Qualidade da Imagem; Controlo da Qualidade



## Abstract

Computed tomography is an imaging radiodiagnosis technique, which is increasingly being used in clinical practice and it is given great benefits in terms of diagnostics and therapy. However, it is necessary to closely monitor the significant dose to patients that are exposed. The technological evolution and the proliferation of CT scanners in Portugal increased significantly the number of CT exams. In 2008 were performed 1.1 million CT exams and later in 2014 there were 1.6 million. [1]

This study aims to analyze dose and image quality data gathered from 180 distinct computed tomography systems, which represents 330 quality control interventions performed in Portuguese national health units (mainland and islands) between 2014 and 2017. It was studied seven main parameters: CT numbers, slice thickness, low and high contrast resolution, uniformity, noise and computed tomography dose index (CTDI).

In order to verify the CT numbers, four materials with different densities were analyzed and the mean CT numbers obtained were: -996 HU (Air), -954 HU (Teflon), -120 HU (Acrylic) and -97 HU (LDPE). The spatial resolution and low contrast resolution were determined according to tube voltage, current, slice thickness, FOV and kernel. The mean noise obtained was 1,1% and for uniformity was -1,6HU. Dose measured in head and body scan techniques, with a voltage of 80-90 kV at 200 mA and 10 mm slice thickness was  $\sim 15$  mGy and  $\sim 7$  mGy, respectively. When the voltage was increased to 130-140 kV, the mean values obtained were  $\sim 48$  mGy (head) and  $\sim 25$  mGy (body).

The results show that despite the large variety of CT equipment and manufactures in Portugal, more than 95% of them passed the testes performed. The results of the quality control tests were very satisfactory and were congruent with the results in foreign studies. Using appropriate and optimized CT protocols, it is possible to ensure a decrease of patient dose assuring the good quality of the medical images.

### **Keywords:**

Computed Tomography; Dose; Image Quality; Quality Control



## Índice de Matérias

Agradecimentos .....	ix
Resumo.....	xi
Abstract .....	xiii
Índice de Matérias .....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
Índice de Figuras.....	xxii
Lista de Abreviaturas .....	xxvi
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da Dissertação.....	3
1.4 Cronologia do trabalho desenvolvido .....	4
2. Tomografia Computorizada.....	5
2.1 Enquadramento Histórico.....	5
2.2 Componentes de um equipamento de TC .....	8
2.3 A imagem em TC.....	9
3. Qualidade da Imagem em Tomografia Computorizada .....	11
3.1 Espessura de Corte.....	11
3.2 Linearidade.....	11
3.3 Resolução Espacial .....	12
3.4 Resolução de Contraste .....	12
3.5 Ruído.....	12
3.6 Uniformidade.....	13
3.7 A Legislação Portuguesa.....	13
4. Dose em Tomografia Computorizada.....	14
4.1 Dose absorvida, dose equivalente e dose efetiva.....	14
4.2 Índice de Dose em Tomografia Computorizada.....	15
4.3 $CTDI_{100}$ .....	16
4.4 $CTDI_w$ .....	17

---

4.5	CTDI <sub>vol</sub> .....	17
4.6	Produto Dose Comprimento.....	18
4.7	Efeitos Biológicos da Radiação.....	18
5.	Equipamentos e Materiais.....	19
5.1	Caraterização da Amostra e dos Equipamentos .....	19
5.2	Fantoma Catphan® 500.....	21
5.2.1	Módulo CTP 401 .....	22
5.2.2	Módulo CTP 528.....	25
5.2.3	Módulo CTP 515.....	26
5.2.4	Módulo CTP 486.....	26
5.3	Fantoma Dosimétrico e Câmara de Ionização .....	27
6.	Metodologia.....	28
6.1	Espessura de Corte .....	28
6.2	Números de TC e a sua linearidade .....	29
6.3	Ruído da Imagem e Uniformidade dos Números de TC.....	30
6.4	Resolução de Alto Contraste.....	31
6.5	Resolução de Baixo Contraste.....	32
6.6	Índice de Dose em Tomografia Computorizada.....	33
7.	Apresentação, Análise e Discussão de Resultados.....	34
7.1	Qualidade da Imagem em TC .....	34
7.1.1	Espessura de Corte .....	34
7.1.2	Números de TC .....	35
7.1.3	Resolução de Espacial.....	52
7.1.4	Resolução de Baixo Contraste.....	59
7.1.5	Ruído.....	66
7.1.6	Uniformidade.....	68
7.2	Índice de Dose em Tomografia Computorizada.....	71
7.2.1	CTDI <sub>w</sub> na Cabeça .....	71
7.2.2	CTDI <sub>w</sub> no Corpo.....	78
7.2.3	Comparações com estudos internacionais.....	86
8.	Conclusão .....	88

---

8.1	Condicionantes e Perspetivas Futuras .....	90
9.	Referências Bibliográficas .....	91
	Apêndice I.....	96
	Apêndice II.....	98
	Apêndice III.....	108



## Índice de Tabelas

Tabela 4.1 - Fatores de ponderação dos tecidos e respetiva soma acumulada. Adaptado de [36].	15
Tabela 5.1 - Frequência e percentagem das intervenções realizadas consoante a marca do equipamento de TC. ....	19
Tabela 5.2 - Frequência e percentagem das intervenções realizadas entre 2014 e 2017.....	20
Tabela 5.3 - Níveis de contraste supra-corte e subcorte, e respetivos diâmetros dos alvos. [49] ...	26
Tabela 6.1 – Protocolo de aquisição para o estudo da espessura de corte nos equipamentos de TC. ....	28
Tabela 6.2 - Protocolo base de aquisição para o estudo dos números de TC para os diversos equipamentos.....	29
Tabela 6.3- Variações ao protocolo base de aquisição dos números de TC de acordo com cada marca de equipamento. ....	29
Tabela 6.4 - Protocolo de aquisição para o estudo do ruído e da uniformidade das imagens de TC de acordo com as várias marcas dos equipamentos. ....	30
Tabela 6.5 – Protocolo base de aquisição para o estudo da resolução espacial das imagens de TC. ....	31
Tabela 6.6 – Variações ao protocolo base de aquisição para o estudo da resolução espacial das imagens de TC.....	31
Tabela 6.7 – Critérios de Aceitabilidade da Resolução de Baixo Contraste de 1% .....	32
Tabela 6.8 – Protocolo de aquisição para o cálculo do nCTDI <sub>w</sub> para o protocolo de cabeça.....	33
Tabela 6.9 - Protocolo de aquisição para o cálculo do nCTDI <sub>w</sub> para o protocolo de corpo. ....	33
Tabela 7.1 – Resultados obtidos do número de casos conformes de acordo com cada espessura de corte. ....	35
Tabela 7.2 – Resultados dos números de TC obtidos de acordo com cada protocolo.....	36
Tabela 7.3 -Resultados estatísticos das medições dos números de TC para os quatro materiais..	36
Tabela 7.4 - Teste One-Way ANOVA para o estudo da marca do equipamento nos números de TC do Ar.....	38
Tabela 7.5 - Resultados estatísticos dos Números de TC Medidos do Ar divididos por marca de equipamento. ....	38
Tabela 7.6 - Resultados estatísticos dos Números de TC Medidos do Teflon divididos por marca de equipamento. ....	39
Tabela 7.7 - Teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da marca do equipamento nos números de TC do Teflon.....	40
Tabela 7.8 - Resultados estatísticos dos Números de TC Medidos do Acrílico divididos por marca de equipamento. ....	40
Tabela 7.9 - Teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da marca do equipamento nos números de TC do Acrílico.....	41

Tabela 7.10 - Resultados estatísticos dos Números de TC Medidos do LDPE divididos por marca de equipamento.....	41
Tabela 7.11 - Teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da marca do equipamento nos números de TC do LDPE. ....	42
Tabela 7.12 – Valores médios obtidos nas medições dos números de TC variando a tensão de aquisição, corrente, espessura de corte e o kernel, e agrupado segundo a marca.....	43
Tabela 7.13 – Resultados estatísticos das medições de resolução espacial.....	52
Tabela 7.14 - Resultados estatísticos da Resolução Espacial divididos por marca de equipamento. ....	53
Tabela 7.15 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da marca do equipamento na resolução espacial. ....	54
Tabela 7.16 - Resultados estatísticos da Resolução Espacial divididos por tensão de aquisição. ...	54
Tabela 7.17 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da tensão de aquisição na resolução espacial.....	55
Tabela 7.18 - Resultados estatísticos da Resolução Espacial divididos por corrente. ....	56
Tabela 7.19 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da corrente na resolução espacial.....	56
Tabela 7.20 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da espessura de corte na resolução espacial. ....	57
Tabela 7.21 - Resultados estatísticos da Resolução Espacial divididos por FOV. ....	57
Tabela 7.22 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência do FOV na resolução espacial.....	58
Tabela 7.23 – Resultados estatísticos da Resolução Espacial divididos por Kernel. ....	58
Tabela 7.24 – Resultados estatísticos para os valores de resolução de baixo contraste. ....	59
Tabela 7.25 – Resultados estatísticos da Resolução de Baixo Contraste divididos por marca de equipamento. ....	60
Tabela 7.26 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da marca dos equipamentos na resolução de baixo contraste. ....	61
Tabela 7.27 - Resultados estatísticos da Resolução de Baixo Contraste de acordo com a tensão. ....	61
Tabela 7.28 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da tensão de aquisição na resolução de baixo contraste. ....	62
Tabela 7.29 - Resultados estatísticos da Resolução de Baixo Contraste de acordo com a corrente. ....	63
Tabela 7.30 – Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da corrente na resolução de baixo contraste.....	63
Tabela 7.31 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da espessura de corte na resolução de baixo contraste.....	64
Tabela 7.32 - Resultados estatísticos da Resolução de Baixo Contraste de acordo com o FOV. ...	64
Tabela 7.33 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência do FOV na resolução de baixo contraste.....	65

Tabela 7.34 – Resultados estatísticos da Resolução de Baixo Contraste de acordo com o Kernel.	65
Tabela 7.35 - Resultados estatísticos das medições de ruído. ....	66
Tabela 7.36 - Resultados estatísticos do Ruído de acordo com a marca do equipamento. ....	67
Tabela 7.37 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da marca do equipamento no ruído. ....	68
Tabela 7.38 - Resultados estatísticos das medições de uniformidade. ....	69
Tabela 7.39 - Resultados estatísticos da Uniformidade de acordo com a marca do equipamento.	70
Tabela 7.40 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência da marca do equipamento na uniformidade. ....	70
Tabela 7.41 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 80-90 kV. ....	72
Tabela 7.42 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 110-120 kV. ....	73
Tabela 7.43 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 130-140 kV. ....	73
Tabela 7.44 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 80-90 kV, utilizando um protocolo de cabeça e de acordo com a marca do equipamento. ....	75
Tabela 7.45 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 110-120 kV, utilizando um protocolo de cabeça e de acordo com a marca do equipamento. ....	75
Tabela 7.46 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 130-140 kV, utilizando um protocolo de cabeça e de acordo com a marca do equipamento. ....	76
Tabela 7.47 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência do ano de intervenção no CTDI <sub>w</sub> com o protocolo de cabeça e de acordo com a tensão utilizada. ....	77
Tabela 7.48 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 80-90 kV. ....	79
Tabela 7.49 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 110-120 kV. ....	80
Tabela 7.50 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 130-140 kV. ....	81
Tabela 7.51 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 80-90 kV, utilizando um protocolo de corpo e de acordo com a marca do equipamento. ....	82
Tabela 7.52 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 110-120 kV, utilizando um protocolo de corpo e de acordo com a marca do equipamento. ....	83
Tabela 7.53 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 130-140 kV, utilizando um protocolo de corpo e de acordo com a marca do equipamento. ....	84
Tabela 7.54 - Resultados do teste One-Way ANOVA para o estudo da influência do ano de intervenção no CTDI <sub>w</sub> com o protocolo de corpo e de acordo com a tensão utilizada. ....	85
Tabela 7.55 - Valores médios de dose encontrados em estudos internacionais. ....	86



## Índice de Figuras

Figura 1.1 – Número de Exames de Tomografia Computorizada realizados em Portugal entre 1999 e 2015. [1] .....	1
Figura 1.2 – Diagrama representativo da estrutura geral da tese. ....	3
Figura 1.3 – Cronograma do trabalho desenvolvido. ....	4
Figura 2.1 – Evolução História da Tomografia Computorizada. ....	6
Figura 2.2 – 1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> e 4 <sup>a</sup> Gerações dos Equipamentos de TC. [19] .....	7
Figura 2.3 – 5 <sup>a</sup> , 6 <sup>a</sup> e 7 <sup>a</sup> Gerações dos Equipamentos de TC. [19] .....	8
Figura 2.4 – Componentes de uma sala de TC. Adaptada de: [57] .....	9
Figura 4.1 – Ilustração da definição de CTDI, onde a ampola de radiação X roda 360°, em torno do paciente, irradiando uma espessura equivalente a colimação por rotação. [19] .....	16
Figura 5.1 – Representação gráfica do número de equipamentos de TC por marca. ....	19
Figura 5.2 – Representação gráfica da percentagem de intervenções realizadas por ano. ....	20
Figura 5.3 – Representação esquemática da análise do fantoma Catphan® 500. [49] .....	21
Figura 5.4 - Esquema da montagem do fantoma no equipamento de TC. [49] .....	22
Figura 5.5 - A: Posicionamento do fantoma no equipamento de TC. B: Alinhamento dos lasers do scanner com os pontos de referência do fantoma. ....	22
Figura 5.6 - Módulo CTP 401 [49] e imagem adquirida com este módulo. ....	22
Figura 5.7 – Representação do alinhamento correto do fantoma com o módulo CTP 401. [49] ...	23
Figura 5.8 – Representação da geometria de corte e da largura a meia altura no módulo CTP 401. [49] .....	24
Figura 5.9 – Visualização dos materiais presentes no módulo CTP 401 para o estudo da linearidade dos números de TC. ....	24
Figura 5.10 – Módulo CTP 528 [49] e imagem adquirida com este módulo, onde são observadas 8 pares de linhas por centímetro de resolução espacial. ....	25
Figura 5.11 – Dimensão do espaçamento entre as linhas pretas, de acordo com os pares de linha por centímetro. ....	25
Figura 5.12 – Módulo CTP 515 [49] e imagem adquirida com este módulo. ....	26
Figura 5.13 – [A] Módulo CTP 486. [B] Representação dos ROI's no módulo para avaliar os números de TC e uniformidade. [C] Imagem adquirida com o fantoma neste módulo. [49] .....	27
Figura 5.14 - Esquema de montagem do fantoma CTDI e da câmara de ionização. Adaptado de: [50] .....	27
Figura 7.1 - Distribuição das espessuras de corte por casos conformes e não conformes. ....	34
Figura 7.2 – Histogramas dos valores dos números de TC Medidos do: [A] Ar e do [B] Teflon. ...	37
Figura 7.3 - Histogramas dos valores dos números de TC Medidos do: [C] Acrílico e do [D] LDPE. ....	37
Figura 7.4 - Diagrama de extremos e quartis dos valores obtidos dos Números de TC Medidos do Ar consoante a marca do equipamento. ....	39

Figura 7.5 - Diagrama de extremos e quartis dos valores obtidos dos Números de TC Medidos do Teflon consoante a marca do equipamento.....	40
Figura 7.6 - Diagrama de extremos e quartis dos valores obtidos dos Números de TC Medidos do Acrílico consoante a marca do equipamento.....	41
Figura 7.7 - Diagrama de extremos e quartis dos valores obtidos dos Números de TC Medidos do LDPE consoante a marca do equipamento.....	42
Figura 7.8 - Diagrama de extremos e quartis dos valores dos números de TC Medidos no [A] Ar, [B] Teflon, [C] Acrílico e [D] LDPE variando com a tensão de aquisição e agrupado por marca do equipamento. ....	45
Figura 7.9 - Diagrama de extremos e quartis dos valores dos números de TC Medidos do [A] Ar, [B] Teflon, [C] Acrílico e [D] LDPE variando com a corrente e agrupado por marca do equipamento. ....	47
Figura 7.10 - Diagrama de extremos e quartis dos valores dos números de TC Medidos do [A] Ar, [B] Teflon, [C] Acrílico e [D] LDPE variando com a espessura de corte e agrupado por marca do equipamento. ....	49
Figura 7.11 - Diagrama de extremos e quartis dos valores dos números de TC Medidos do [A] Ar, [B] Teflon, [C] Acrílico e [D] LDPE variando com o kernel e agrupado por marca do equipamento. ....	51
Figura 7.12 - Distribuição de todos os valores medidos de resolução espacial. ....	52
Figura 7.13 - [A] Histograma e [B] Diagrama de extremos e quartis de todos os valores obtidos de Resolução de Espacial. ....	53
Figura 7.14 - Diagrama de extremos e quartis dos valores da resolução espacial agrupada por marca do equipamento.....	54
Figura 7.15 - Diagrama de extremos e quartis dos valores da resolução espacial agrupada por tensão de aquisição. ....	55
Figura 7.16 - Diagrama de extremos e quartis dos valores da resolução espacial agrupada por corrente.....	56
Figura 7.17 - Diagrama de extremos e quartis dos valores da resolução espacial agrupada por espessura de corte. ....	57
Figura 7.18 - Diagrama de extremos e quartis dos valores da resolução espacial agrupada por FOV (mm).....	58
Figura 7.19 - Diagrama de dispersão valores de resolução de baixo contraste em função do Kernel. ....	58
Figura 7.20 – Distribuição de todos os valores obtidos de resolução de baixo contraste. ....	59
Figura 7.21 – Diagrama de extremos e quartis de todos os valores obtidos de Resolução de Baixo Contraste a 1%. ....	60
Figura 7.22 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de resolução de baixo contraste em função da marca dos equipamentos. ....	61
Figura 7.23 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de limiar de contraste em função da tensão de aquisição. ....	62

Figura 7.24 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de limiar de contraste em função da corrente. ....	63
Figura 7.25 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de limiar de contraste em função da espessura de corte. ....	64
Figura 7.26 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de limiar de contraste em função do FOV (mm). ....	65
Figura 7.27 - Diagrama de dispersão valores de resolução de baixo contraste em função do Kernel. ....	65
Figura 7.28 - Distribuição de todos os valores medidos de ruído. ....	66
Figura 7.29 – [A] Histograma e [B] Diagrama de extremos e quartis de todos os valores obtidos de Ruído. ....	67
Figura 7.30 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de ruído em função da marca do equipamento. ....	68
Figura 7.31 - Distribuição de todos os valores medidos de uniformidade. ....	69
Figura 7.32 – [A] Histograma e [B] Diagrama de extremos e quartis de todos os valores obtidos de Uniformidade. ....	69
Figura 7.33 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de uniformidade em função da marca do equipamento. ....	70
Figura 7.34 - Distribuição dos valores de dose medidos nas várias intervenções com o fantoma de cabeça e segundo as tensões de aquisição utilizadas: [A] 80-90 kV, [B] 110-120 kV, [C]130-140 kV. ....	71
Figura 7.35 – Histograma dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 80 kV a 90 kV, com o protocolo de cabeça. ....	72
Figura 7.36 - Histograma dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 110 kV a 120 kV, com o protocolo de cabeça. ....	73
Figura 7.37 – Histograma dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 130 kV a 140 kV, com o protocolo de cabeça. ....	73
Figura 7.38 - Diagrama de extremos e quartis da dose medida para os três grupos de tensão de aquisição com o protocolo de cabeça. ....	74
Figura 7.39 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 80-90 kV e um protocolo de cabeça em função da marca do equipamento. ....	75
Figura 7.40 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 110-120 kV e um protocolo de cabeça em função da marca do equipamento. ....	76
Figura 7.41 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 130-140 kV e um protocolo de cabeça em função da marca do equipamento. ....	76
Figura 7.42 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos distribuídos em função do ano de intervenção e de acordo com a tensão de aquisição utilizada: [A] 80-90 kV, [B] 110-120 kV e [C] 130-140 kV. ....	78

Figura 7.43 - Distribuição dos valores de dose medidos nas várias intervenções com o fantoma de corpo e segundo as tensões de aquisição utilizadas: [A] 80-90 kV, [B] 110-120 kV, [C]130-140 kV. ....79

Figura 7.44 - Histogramas dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 80 kV a 90 kV, com o protocolo de corpo.....80

Figura 7.45 - Histogramas dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 110 kV a 120 kV, com o protocolo de corpo.....80

Figura 7.46 - Histogramas dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 130 kV a 140 kV com o protocolo de corpo.....81

Figura 7.47 - Diagrama de extremos e quartis da dose medida para os três grupos de tensão de aquisição com o protocolo de corpo.....81

Figura 7.48 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 80-90 kV e um protocolo de corpo em função da marca do equipamento. ....83

Figura 7.49 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 110-120 kV e um protocolo de corpo em função da marca do equipamento. ....83

Figura 7.50 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 130-140 kV e um protocolo de corpo em função da marca do equipamento. ....84

Figura 7.51 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos distribuídos em função do ano de intervenção e de acordo com a tensão de aquisição utilizada: [A] 80-90 kV, [B] 110-120 kV e [C] 130-140 kV.....85

## Lista de Abreviaturas

- ALARA** – Tão baixa quanto desejável (do inglês, *As low as reasonably achievable*)
- CTDI** – Índice de Dose em Tomografia Computorizada (do inglês, *Computed Tomography Dose Index*)
- CTDI<sub>vol</sub>** – Índice de Dose Volumétrico em Tomografia Computorizada (do inglês, *Volume Computed Tomography Dose Index*)
- CTDI<sub>w</sub>** – Índice de Dose Ponderado em Tomografia Computorizada (do inglês, *Weighted Computed Tomography Dose Index*)
- DDM2** – Dose Datamed 2
- DLP** – Produto Dose Comprimento (do inglês, *Dose Length Product*)
- FDA** – Food and Drug Agency
- FOV** – Campo de visão (do inglês, *Field of view*)
- FWHM** – Largura a meia Altura (do inglês, *Full width at half maximum*)
- HU** – Unidades de Hounsfield (do inglês, *Hounsfield Units*)
- IEC** – Comissão Internacional de Eletrónica (do inglês, *International Electrotechnical Commission*)
- kV** – Quilovolt
- mA** – Miliampéres
- mGy** – miligray
- mm** – milímetro
- OCDE** – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (do inglês, *Organization for economic co-operation and development*)
- PMMA** – Polimetilmetacrilato
- ROI** – Região de interesse (do inglês, *Region of interest*)
- TC** – Tomografia Computorizada



## 1. Introdução

### 1.1 Enquadramento e Motivação

Desde sempre, que o ser humano se encontra exposto a fontes de radiação ionizante de origem natural e artificial. No último século, a radiação ionizante tem sido utilizada em aplicações médicas em larga escala. Isto tem resultado em melhorias significativas no cuidado com o paciente, devido aos enormes benefícios ao nível do diagnóstico e da terapia. Os avanços neste campo têm sido surpreendentes, com a introdução de métodos de diagnóstico por imagem em tempo real e equipamentos com tecnologia de ponta. No entanto, os efeitos biológicos da radiação são a consequência negativa de uma série de acontecimentos que se iniciam pela excitação e/ou ionização de compostos, a nível atómico e molecular, após a exposição à radiação ionizante. [2] [3]

A Tomografia Computorizada é um exemplo de radiação ionizante artificial, que apesar do risco inerente que lhe é associado, tem reportado muitos benefícios para a humanidade. Na década de 1970, o desenvolvimento dos equipamentos de Tomografia Computorizada revolucionou a área do radiodiagnóstico. Desde a sua introdução, que esta tecnologia por imagem tem vindo a sofrer um aumento contínuo do número de exames, como demonstra a Figura 1.1.

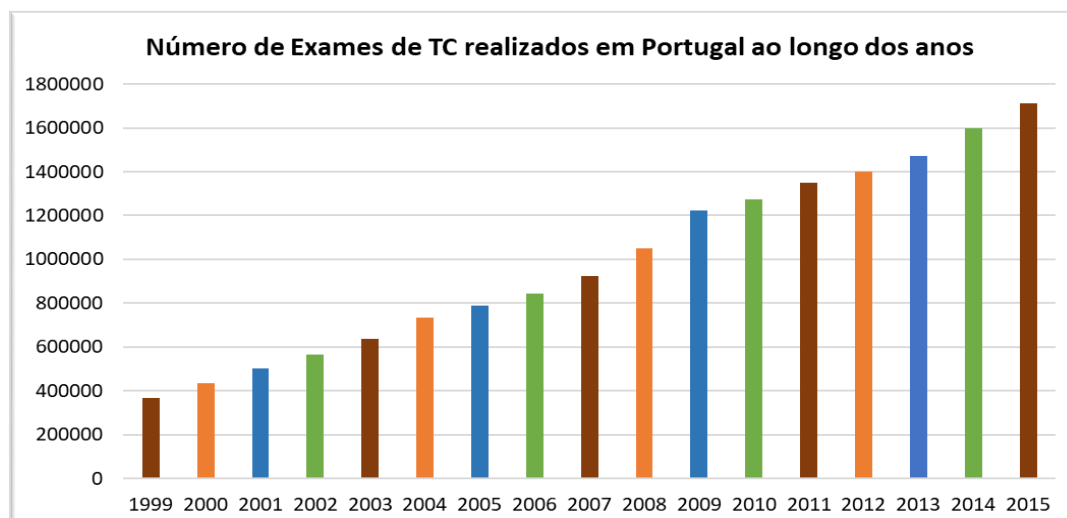


Figura 1.1 – Número de Exames de Tomografia Computorizada realizados em Portugal entre 1999 e 2015. [1]

Em 2008, em Portugal Continental, foram efetuados mais de 1,1 milhões de exames de TC, resultantes de um crescimento desde 2007, de 23% em meio hospitalar e 149% nos cuidados de saúde primários. [4] [5] [6]. Em 2014, verificou-se que o número de exames de TC subiu para 1,6 milhões de exames, o que resulta na realização de 154 exames por cada mil habitantes. No ano de 2015, apesar de representar uma estimativa de valores realizada pela OCDE, estimou-se um aumento de 6,54%, relativamente ao ano anterior. [1] [7] Aliado a este aumento do número de exames, também se verifica o aumento do número de equipamentos de TC licenciados pela DGS, tanto no sector privado como público. [8]

A Comissão Europeia, entre 2010 e 2012, financiou o Projeto DDM2 a fim de recolher as doses de radiação às quais os pacientes estavam expostos em radiodiagnóstico. Neste estudo foram aferidos 20 exames, denominados *TOP 20*, que correspondem aos 20 exames que mais contribuem para a dose coletiva à escala europeia. Dos 20 exames integrantes do *TOP 20*, oito exames são correspondentes à modalidade da tomografia computadorizada. O projeto concluiu que a população Portuguesa se encontrava entre os 10 países que recebe mais dose efetiva coletiva *per caput*. [9] E mostraram uma prevalência elevada de exames de tomografia computadorizada, que contribuem em 74% para a dose efetiva coletiva total. [10]

As doses recebidas pelos pacientes durante um exame de Tomografia Computorizada são relativamente altas e os seus valores encontram-se entre os mais elevados de todos os exames de radiodiagnóstico. É de extrema importância conhecer as doses utilizadas na prática clínica, dispor de níveis de referencia de diagnóstico, assegurar que os parâmetros técnicos e os protocolos dos equipamentos são os mais adequados e otimizados. [11]

Os Programas de Garantia da Qualidade e Radioproteção, em Tomografia Computadorizada, são imprescindíveis, uma vez que são necessários procedimentos de averiguação da dose e de controlo da qualidade da imagem dos equipamentos para, posteriormente, estes fornecerem o melhor radiodiagnóstico possível. Por este motivo, surge o presente trabalho, que pretende fornecer uma caracterização geral dos equipamentos de tomografia computadorizada existentes em Portugal, nomeadamente, no que diz respeito às doses e à qualidade da imagem tomográfica.

## 1.2 Objetivos

O principal objetivo do trabalho prende-se com a caracterização dos parâmetros de dose e de qualidade da imagem em equipamentos de Tomografia Computorizada do parque tecnológico existente em Portugal.

De maneira a atingir este objetivo foi necessário estabelecer os seguintes objetivos secundários:

- Descrever a técnica de Tomografia Computorizada e identificar os diversos tipos e modelos de equipamentos existentes;
- Descrever os conceitos dosimétricos e de qualidade da imagem em Tomografia Computorizada;
- Identificar e caracterizar o processo de determinação de doses e de qualidade da imagem, bem como os parâmetros individuais envolvidos;
- Recolher dados de equipamentos médicos de Tomografia Computorizada existentes em Portugal;

- Efetuar uma análise estatística avançada dos dados recolhidos e, conseqüentemente, uma análise crítica de todos os resultados obtidos e compará-los com estudos nacionais e internacionais.

Adicionalmente, a partir dos resultados obtidos decorrentes do alcance do principal objetivos, pretendeu-se:

- Avaliar os diferentes índices de qualidade da imagem em Tomografia Computorizada;
- Comparar entre si os diferentes índices de qualidade da imagem;
- Verificar se existe relação entre a dose e os parâmetros nominais dos equipamentos;
- Analisar a evolução cronológica dos níveis de dose e dos parâmetros de qualidade da imagem;
- Comentar os resultados obtidos.

### 1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se subdividida em oito capítulos e dois anexos. A organização geral da tese está representada esquematicamente na Figura 1.2.

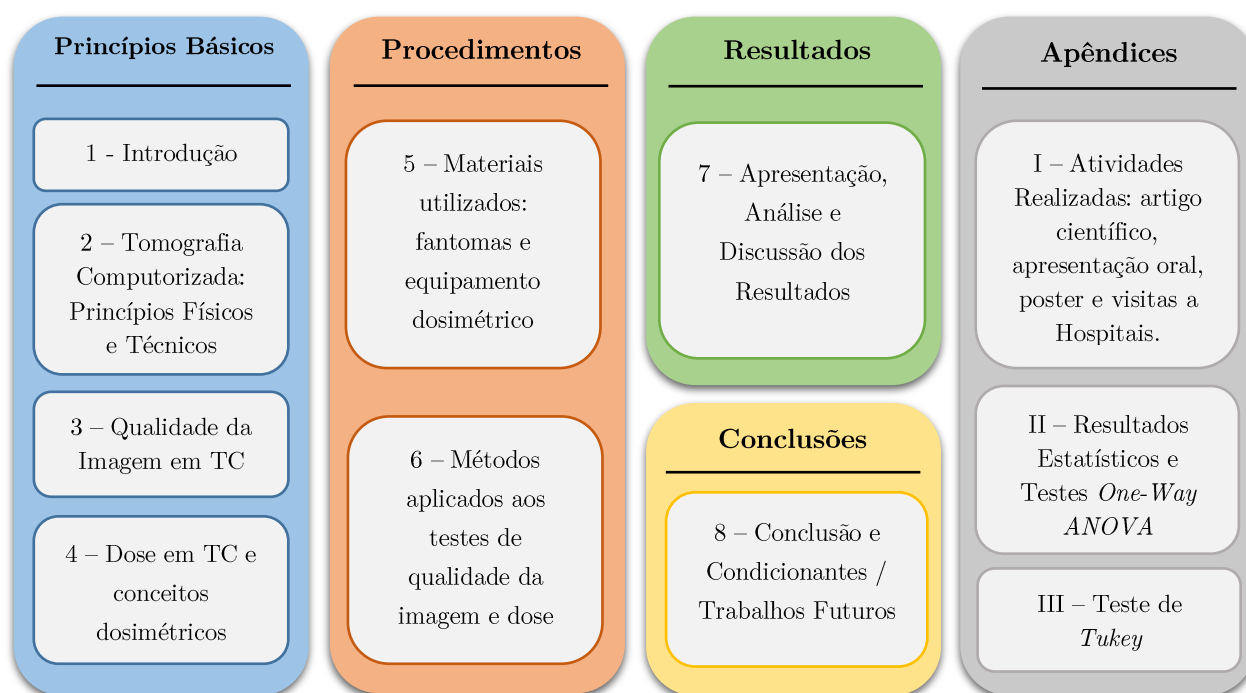


Figura 1.2 – Diagrama representativo da estrutura geral da tese.

## 1.4 Cronologia do trabalho desenvolvido

A cronologia do trabalho desenvolvido, encontra-se na Figura 1.3, onde se destaca as principais atividades realizadas. Em Janeiro, formulou-se o tema desta tese e estabeleceu-se os objetivos que se pretendia atingir. Seguidamente, iniciou-se uma detalhada pesquisa bibliográfica de suporte. Em Março, redigiu-se o enquadramento teórico do trabalho. Durante o mês de Abril, acompanharam-se as intervenções técnicas da MedicalConsult em hospitais. Seguiram-se os meses de recolha e processamento dos dados, em programa informático adequado, seguido pela sua análise estatística detalhada. No final desta análise, deu-se início à discussão dos resultados, de onde emergiram as principais conclusões do trabalho. Os meses subsequentes foram dedicados, exclusivamente, à escrita da presente dissertação. Em Setembro, apresentou-se parte deste trabalho na conferência *Proteção Radiológica na Saúde 2017*, no Instituto Superior Técnico. Em Outubro, procedeu-se à escrita de um artigo científico sobre o trabalho desenvolvido para publicação. Em Novembro, foi apresentado um póster nas primeiras Jornadas das Tecnologias da Saúde de Lisboa, no Hospital das Forças Armadas.

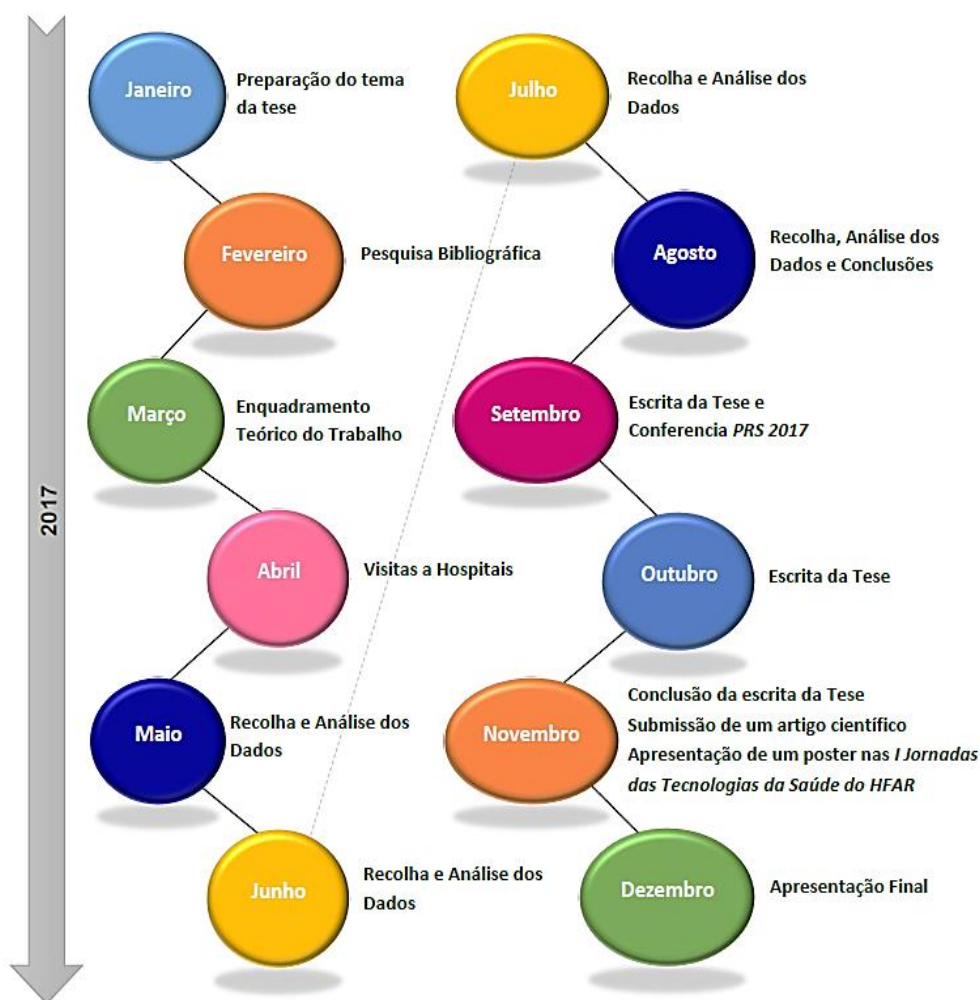


Figura 1.3 – Cronograma do trabalho desenvolvido.

## 2. Tomografia Computorizada

A Tomografia Computorizada é um método de diagnóstico por imagem, que recorre à radiação X para obter imagens a três dimensões do interior do corpo humano. Este método complementar de diagnóstico por imagem permite a reconstrução de uma série de imagens, num computador, através de algoritmos matemáticos, recorrendo a múltiplas projeções tomográficas sobre uma determinada região do corpo, através de um único plano. [12] O propósito da TC é calcular os coeficientes de atenuação linear do feixe de raios X, em cada ponto de uma secção do corpo, a partir do conjunto de projeções obtidas de diferentes ângulos à volta do paciente, na qual o feixe de radiação X é detetado por um conjunto de detetores que medem a intensidade da sua transmissão. [12]

A Tomografia Computorizada foi uma revolução para a medicina, tornando-se numa técnica com um valor inquestionável, porque é um método de diagnóstico por imagem rápido, não-invasivo, que permite uma boa visualização de todas as estruturas anatómicas, sem sobreposição dos tecidos e com boa resolução de contraste. Ainda permite uma vista anatómica em plano axial, coronal e sagital, e é um meio de diagnóstico que fornece informação relativa às características de atenuação do meio material. Como tal, a TC é uma técnica que, nas últimas quatro décadas, provou ser uma ferramenta de diagnóstico fundamental em muitas aplicações clínicas, por exemplo, no diagnóstico do cancro, nos estudos cardiovasculares, nas endoscopias virtuais e nos exames pediátricos. Alguns destes procedimentos necessitam, da injeção de um meio de contraste endovenoso, para uma melhor diferenciação das estruturas anatómicas. [2] [13]

### 2.1 Enquadramento Histórico

O aparecimento da TC, nos anos 70, revolucionou a medicina e rapidamente se tornou numa ferramenta de diagnóstico por imagem muito importante. O primeiro tomógrafo foi desenvolvido pelo Engenheiro Britânico *Godfrey Hounsfield*, denominado *EMI scanner*. Foi introduzido na prática clínica, em 1972, no *Atkinson Morley Hospital*, em Londres, onde se realizavam apenas estudos radiológicos do crânio. [14] [15]

Apesar do primeiro tomógrafo ter sido implementado nos anos setenta, os seus fundamentos remontam a anos passados: a 1895, com a descoberta da Radiação X por *Roentgen*; a 1917, pela formulação da teoria matemática por *Radon*; e, a 1963, com o surgimento do modelo utilizado para a reconstrução da imagem tomográfica por *Cromack* (Figura 2.1). [16]

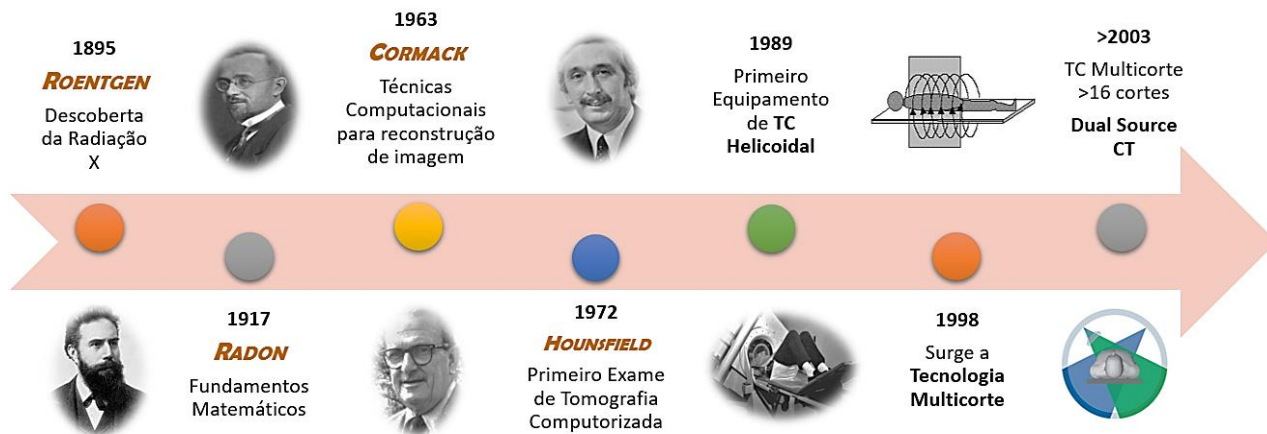


Figura 2.1 – Evolução História da Tomografia Computorizada.

As várias gerações de equipamentos de TC prendem-se com o facto de, ao longo do tempo, ter existido a necessidade de evolução e aperfeiçoamento tecnológico, que foram originando diferenças nas relações dos movimentos da ampola, dos detetores, da mesa e da aquisição da imagem. Até ao momento, distinguem-se sete gerações de equipamentos de TC, conforme ilustrado nas Figura 2.2 e Figura 2.3.

Os equipamentos de TC de 1<sup>a</sup> geração propostos eram baseados num princípio de translação-rotação, onde existia uma translação do conjunto que suportava a ampola de radiação X e um único detetor. O feixe de raios paralelos gerava um perfil de projecção a cada varredura (translação), segundo uma dada direção. Após o movimento de translação, o conjunto ampola e detetor rodava num ângulo de 1<sup>o</sup> para a próxima posição angular e trasladava, novamente, em sentido contrário de modo a adquirir uma nova projecção numa direção diferente. Para a aquisição de um único corte tomográfico eram necessárias, até 180 projeções que demoravam cerca de 4 a 6 minutos. [2] [16] [17] [18]

Nos tomógrafos de 2<sup>a</sup> geração, o número de detetores aumentou para 30 detetores contíguos, resultando numa geometria do feixe de radiação X em forma de um pequeno leque com uma abertura de 10 graus. Isto permitiu reduzir o tempo de corte para 18 a 20 segundos, uma vez que eram medidas múltiplas projeções em simultâneo. O esquema de aquisição era, ainda, de translação-rotação e continuavam a ser obtidas 180 projeções. [2] [16] [17] [18]

A grande evolução que marcou os tomógrafos de 3<sup>a</sup> geração foi a eliminação do movimento de translação, mantendo-se apenas o movimento de rotação, que possibilitou reduzir o tempo de corte para cerca de 1 a 9 segundos, mas que originava artefactos em formato de anel. Para a execução de um corte, a ampola de radiação X e o conjunto de detetores rodavam 360 graus em torno do paciente. Nesta geração, houve um grande aumento do número de detetores, para cerca de 500 a 1000 detetores, e a geometria do feixe de radiação X continuou a possuir um formato em leque, mas com uma abertura à volta dos 30 a 40 graus, que se verificou suficientemente grande para enquadrar totalmente o paciente no campo de visão (FOV). [2] [16] [17] [18]

O desequilíbrio mecânico verificado na geração anterior relativamente aos artefactos na imagem, causados pela reduzida estabilidade de resposta dos detetores, resultou na criação dos sistemas de 4ª geração. Assim, criou-se um arranjo circular estacionário de detetores, completando os 360 graus em torno do paciente, onde apenas a ampola de radiação X se movia, e que implicava um número muito superior de detetores em relação às gerações anteriores, cerca de 4800 detetores individuais. Os tempos de corte deste design eram inferiores a 1 segundo, uma vez que estavam dependentes apenas do tempo de rotação da ampola e da velocidade de transferência dos dados para o computador. [2] [16] [17] [18]

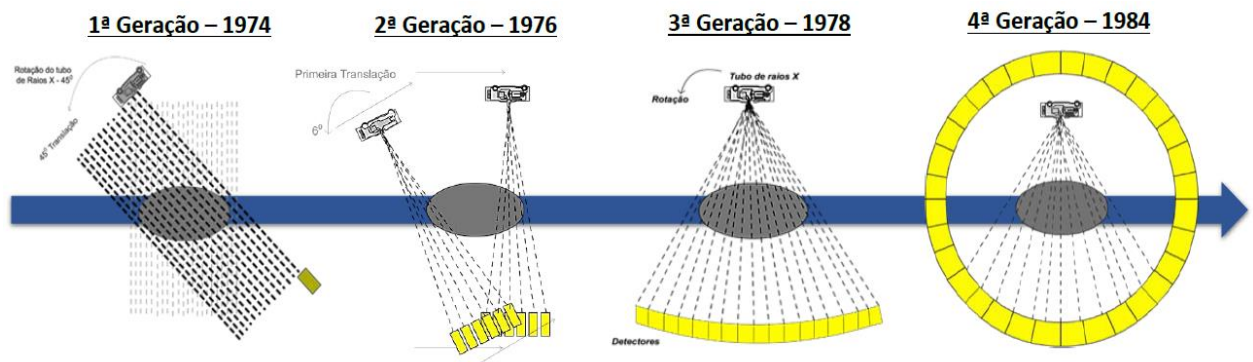


Figura 2.2 – 1ª, 2ª, 3ª e 4ª Gerações dos Equipamentos de TC. [19]

Os tomógrafos de feixe de eletrões representam a 5ª geração de equipamentos de TC, que foram desenvolvidos para que se pudesse estudar a função cardíaca, sem que existisse perda de qualidade da imagem. Este facto foi conseguido, porque as imagens eram adquiridas em 50 milissegundos, o que permitia minimizar os artefactos de movimento. A principal diferença entre este dispositivo e os sistemas das gerações anteriores era a ausência de movimento das partes mecânicas, pois em vez de uma ampola de radiação X rotativa, utilizava-se um alvo de tungsténio, em forma de arco, que rodeava o paciente e que ficava numa posição oposta aos detetores. Quando um feixe de eletrões era produzido, este era guiado por estruturas até colidirem com o ânodo anelar, onde era produzida a radiação X utilizada na aquisição de imagens. [2] [17] [20]

A 6ª geração ficou conhecida pela introdução da Tomografia Computorizada helicoidal, no fim da década de 80, que constituiu um marco evolutivo no desenvolvimento desta técnica imagiológica comparativamente à modalidade sequencial. Nestes sistemas de TC, foi incorporada a tecnologia *slip ring* (em português, anéis deslizantes) que consiste em contatos circulares com escovas de deslizamento na parte eletrónica do equipamento. A mesa move-se com velocidade de translação constante, através da abertura da *gantry*, acoplada a um movimento de rotação contínuo da fonte de radiação X, em torno do paciente. Verificou-se, assim, a redução do tempo de execução dos exames, permitindo efetuar exames numa única apneia inspiratória e a reconstrução de imagens em 3D. Também, se verificou melhoria na eficiência de utilização dos produtos de contraste, aumentando as possibilidades de reconstrução da imagem, a redução da dose no paciente e a melhoria da resolução temporal. [2] [13] [17] [20]

A Tomografia Computorizada multidetector ou multicorte (7<sup>a</sup> Geração), surgiu em 1998, e utiliza a mesma tecnologia que a geração anterior, com a diferença que em vez de um único detector, começou-se a utilizar múltiplas filas de detectores, segundo o eixo do sistema z. A TC helicoidal multidetector permite efetuar aquisições com ou sem movimento da mesa, ou seja, em modo sequencial ou helicoidal. Estes equipamentos possuem várias filas de detectores dispostos paralelamente e muito próximos entre si, que possibilitam um maior número de cortes por cada rotação, e uma espessura ou colimação mínima de corte menor. Isto permite uma utilização mais eficiente da radiação produzida pela ampola de raios X. [2] [17] [20]

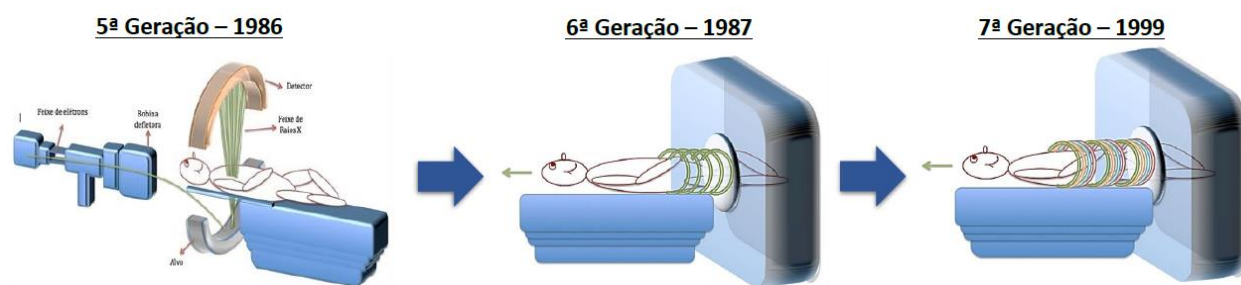


Figura 2.3 – 5<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> Gerações dos Equipamentos de TC. [19]

## 2.2 Componentes de um equipamento de TC

A TC incorpora geradores de radiação X dedicados e componentes eletromecânicos desenhados para localizar e definir os planos do estudo pretendido. É composto pelos seguintes componentes: *gantry*, ampola de raios X, gerador de alta tensão, detectores, mesa de exames, sistema de computadorização, consola do operador e workstation de pós-processamento de imagem.

A *gantry* corresponde à estrutura principal do equipamento de tomografia, sendo composta pela ampola de radiação X, pelo ânodo de elevada rotação, pelo conjunto de detectores, sistema de rotação da ampola e detectores, mecanismo de angulação da *gantry*, abertura variável e pelos sistemas de colimação pré-paciente (que determinam a espessura de corte) e pós-paciente (que reduzem a radiação secundária que chega ao detector). [12] [21]

A ampola de raios X tem elevada capacidade calorífica, e à qual se associam a grande velocidade de rotação do ânodo e a elevada dissipação de calor através de sistemas de refrigeração. Possui dois filamentos para a libertação de eletrões e as dimensões do foco são muito reduzidas. [21]

Relativamente ao gerador de alta tensão, este possui circuitos de alta frequência que funcionam transformando a baixa tensão de entrada da rede elétrica em alta tensão, que alimenta a ampola para a produção da radiação. Por serem pequenos, todos os circuitos que compõem o gerador ficam dentro da *gantry* e giram ao redor do paciente. Nestes geradores, aplica-se a tecnologia dos anéis deslizantes (*slip rings*) que permitem a rotação contínua do conjunto fonte-detector, enquanto a mesa com o paciente se desloca pela *gantry*. [21]

Os detetores podem ser de estado sólido (cintilação), de ionização de gás ou cerâmicos e devem possuir características de estabilidade em longos períodos, boa eficiência de conversão (radiação X num sinal elétrico), boa eficiência de detecção, independência da temperatura e humidade, necessidade infrequente de calibração, uniformidade de resposta, baixo ruído, boa gama dinâmica e baixo custo. [12] [21]

A mesa de exame é constituída por material radiotransparente (fibras de carbono), acessórios de fixação e imobilização, que permitem suportar o doente de forma confortável e conduzi-lo ao interior da *gantry* a uma velocidade constante durante a irradiação. [21]

O sistema de computadorização é a unidade central de processamento e de interpretação das imagens, que está associado ao sistema de arquivo das imagens, às impressoras e/ou gravadores de CD/DVD. [21]

A consola do operador corresponde ao componente do equipamento dedicado à introdução e manipulação dos parâmetros técnicos do exame, nomeadamente, protocolos de estudo, mAs, kV, espessura de corte, tempo de rotação da ampola, FOV, pitch, delays, tempos de apneia e algoritmos de reconstrução, entre outros. [21]

E, por fim, a workstation de pós-processamento de imagem permite realizar reconstruções multiplanares, bem como todo o tipo de manipulação dos dados adquiridos offline.

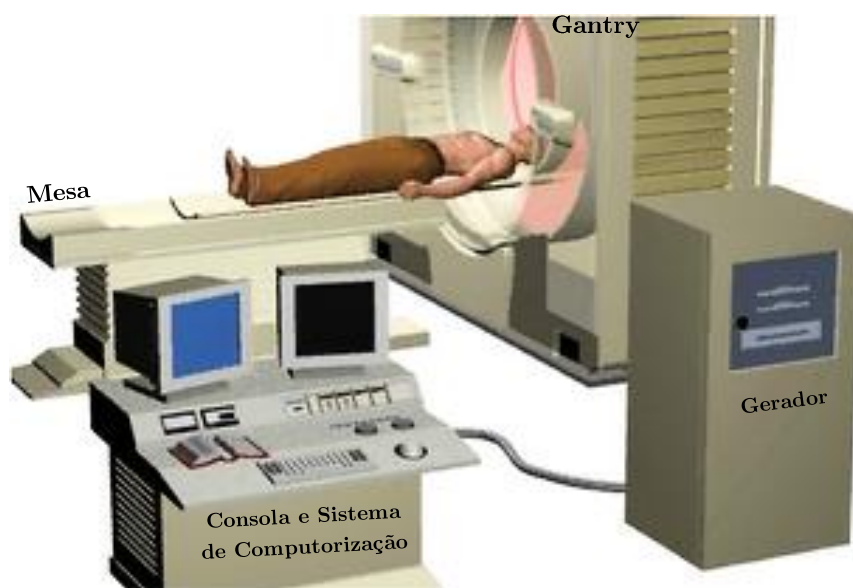


Figura 2.4 – Componentes de uma sala de TC. Adaptada de: [57]

### 2.3 A imagem em TC

Tal como na Radiologia Convencional, as imagens de Tomografia Computorizada mostram uma escala de tons de cinzento, proporcional à atenuação do feixe de radiação de cada estrutura. Este fenómeno está relacionado com a capacidade de os fotões penetrarem nos tecidos. A radiação

incidente é atenuada de forma diferenciada por cada estrutura anatômica e a transmitida é determinada pelos detetores. Na equação 2.1. estabelece-se a relação entre a intensidade do feixe incidente e do feixe transmitido. [22]

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (\text{Equação 2.1})$$

Onde  $I$  corresponde à intensidade do feixe transmitido,  $I_0$  à intensidade do feixe incidente,  $\mu$  ao coeficiente de atenuação linear e  $x$  à espessura do meio material. [23] [24]

A informação relativa à atenuação de cada estrutura que chega ao detetor é, posteriormente, convertida num sinal digital, sinal esse que é utilizado na reconstrução das imagens. A imagem é reconstruída a partir de projeções 2D obtidas durante o varrimento, e apresentadas numa matriz. Essa matriz é composta por linhas e colunas que formam pequenas células denominadas *pixel*, aos quais corresponde um número de TC diferente. Cada um dos *pixéis* é uma representação bidimensional de um volume, intitulado *voxel*. O *voxel* possui altura, largura e profundidade, de acordo com o tamanho da matriz escolhida e da espessura de corte. A cada *voxel* corresponde um determinado grau de atenuação do feixe de radiação X. [23]

Os números de TC são determinados em Unidades de Hounsfield (HU). A cada HU corresponde um nível de cinzento, sendo que ao todo existem 4096 tonalidades de cinzento. A água é o ponto de referência, porque o seu número de TC é similar ao dos tecidos moles e é de fácil obtenção para calibração dos equipamentos. [25] Desta forma, todos os tomógrafos são calibrados para que a água possua um número de TC nulo. O osso cortical, que possui maior atenuação, pode ir dos 1000 aos 3095 HU. Ao ar corresponde o valor de menor atenuação de -1000 HU. [26] Os números de TC estão relacionados com o coeficiente de atenuação do meio material e dependem da densidade e das espessuras das estruturas atravessadas. [23] Desta forma, foi estabelecida a equação 2.2, que relaciona o coeficiente de atenuação entre um material de referência e os outros órgãos e tecidos. [20]

$$\text{Num CT (HU)} = k \frac{\mu_t - \mu_{\text{água}}}{\mu_{\text{água}}} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Em que  $\mu_t$  é o coeficiente de atenuação do tecido analisado;  $\mu_{\text{água}}$  é o coeficiente de atenuação da água, e  $k$  é a constante para determinar o fator de escala para a escala dos números de TC. Quando  $k$  é 1000, o número TC é designado de Unidades Hounsfield.

O olho humano apenas tem a possibilidade de reconhecer aproximadamente 80 níveis de cinzento, pelo que para tirar a máxima informação das imagens de TC, é necessário manipular o nível e a largura da janela. O nível da janela (*Window Level*) corresponde ao centro da escala de cinzentos, que permite determinar as estruturas anatômicas que se pretende visualizar. A largura da janela (*Window Width*) representa a abertura da escala de cinzentos, que engloba o nível da janela selecionado e as representações de cinzento das estruturas a avaliar. Assim, usando corretamente estas duas variáveis é possível visualizar diferentes órgãos ou tecidos no mesmo corte. [23]

### 3. Qualidade da Imagem em Tomografia Computorizada

Ao visualizar-se uma imagem radiológica, é desejável observar-se, por um lado, objetos de pequena dimensão, com detalhes finos e bordas nítidas e, por outro, conseguir-se distinguir estruturas diferentes, mas com propriedades relativamente similares, como é o caso de vários tecidos biológicos. A fidelidade e a riqueza da informação contida na representação, devem ser avaliadas em termos da qualidade da imagem que, apesar do seu carácter qualitativo e subjetivo, pode ser estimada com base nalguns indicadores. [11]

A qualidade da imagem em TC pode ser expressa em termos de parâmetros físicos, tais como: a espessura de corte, a uniformidade, a linearidade, o ruído, a resolução espacial e a resolução de baixo contraste. Estes parâmetros são mensuráveis, usando fantomas de teste apropriados, e dependem das características técnicas do equipamento de TC, dos fatores de exposição utilizados e das condições de visualização da imagem. Estas medidas devem ser realizadas num determinado período de tempo, a fim de garantir a manutenção e o bom desempenho dos tomógrafos. [23] [26]

#### 3.1 Espessura de Corte

A espessura de corte corresponde à espessura efetiva de um corte tomográfico. A espessura de corte pode ser selecionada pelo técnico de imagiologia, de acordo com o requisito clínico e, geralmente, encontram-se no intervalo entre 1 mm e 10 mm. Em geral, quanto maior a espessura de corte, maior a resolução de contraste da imagem. Quanto menor a espessura de corte, maior é a resolução espacial. No entanto, se a espessura de corte for muito grande, as imagens podem ser afetadas por artefactos, devido ao efeito de volume parcial; mas se a espessura de corte for reduzida, as imagens podem ser afetadas, significativamente, pelo ruído. [27]

#### 3.2 Linearidade

A linearidade de um equipamento de TC é um requisito essencial para uma correta avaliação das imagens de TC obtidas, uma vez que corresponde à relação linear entre os números de TC calculados e os coeficientes de atenuação do meio material de um dado objeto. [20] [26] [28]

Para estabelecer uma relação entre os números de TC e os coeficientes de atenuação linear, é necessário um fantoma composto por materiais similares à constituição humana, a fim de se poderem adquirir imagens. Para determinadas energias do feixe de radiação X, os coeficientes de atenuação podem ser obtidos utilizando materiais de composição e densidade conhecidas. Por conseguinte, é necessário um conhecimento do espectro de energia da radiação X do fantoma, para que se saiba a energia efetiva do feixe, dado que o feixe de radiação X não é mono energético. Assim, um fantoma para testar a linearidade é composto por, pelo menos, quatro amostras de

diferentes materiais, nomeadamente, o teflon, o acrílico, o LDPE e o ar, que são representativos dos principais constituintes anatómicos. [26] [29]

### 3.3 Resolução Espacial

A resolução espacial, ou resolução de alto contraste, representa a capacidade de distinguir numa imagem dois objetos pequenos, que possuem atenuações altamente diferentes quando se encontram muito próximos. Pode ser aferida através de fantasmas formados por faixas altamente atenuadoras separadas por outras de muito baixa atenuação, que se vão tornando sucessivamente mais finas. A sua distinção vai sendo mais difícil à medida que as faixas vão diminuindo. Desta forma, a resolução espacial é, então, referida como o menor número de objetos que podem ser distinguíveis por unidade de comprimento. [2] [30] A resolução espacial é medida em unidades de frequência espacial, e expressa em pares de linha por centímetro (lp/cm). [23] É inversamente proporcional ao tamanho do *pixel*: quando menor o *pixel*, maior é a resolução espacial. [23] Existem diversos fatores que afetam este tipo de resolução em TC: as dimensões do foco, as dimensões dos detetores, a ampliação, o algoritmo de reconstrução e a forma de visualização. [20] A resolução espacial encontra-se sempre associada à qualidade da imagem. [20]

### 3.4 Resolução de Contraste

A resolução de contraste, também denominada de resolução de baixo contraste, determina o tamanho de pormenor que pode ser reproduzido visualmente quando existe apenas uma reduzida diferença de atenuação de um objeto em relação à área circundante. [27] Habitualmente, é determinada, subjetivamente, com recurso a fantasmas de contraste nas condições habituais da prática clínica. A resolução de contraste é superior nos equipamentos de TC, devido à colimação do feixe de radiação X e ao facto das estruturas não se apresentarem sobrepostas. O tamanho e uniformidade do objeto, e o ruído do sistema são fatores que limitam a capacidade de detetar objetos de baixo contraste na TC. [23] É de referir, que a deteção de objetos de baixo contraste é sensível a variações de dose, pois quanto maior a dose, maior é a resolução de contraste. No entanto, surge a desvantagem de se submeter o paciente a mais radiação. Contudo, para baixas doses, o ruído da imagem pode diminuir a qualidade da imagem, dificultando a observação de lesões. Desta forma, é necessário um delicado equilíbrio entre o contraste necessário para garantir uma boa qualidade da imagem e a dose a que o equipamento recorre para obter tal resolução de contraste. [2] [30]

### 3.5 Ruído

Uma imagem de Tomografia Computorizada, num objeto uniforme, apresenta variações aleatórias dos valores dos píxéis, em torno de um valor médio. [31] Tanto o desempenho dos equipamentos de TC, como a discriminação dos coeficientes de atenuação entre os tecidos normais

e patológicos, são influenciados pelo ruído do sistema. O ruído é a percentagem do desvio padrão de um grande número de *pixéis* obtidos de uma imagem de água. O ruído da imagem é representado por sigma ( $\sigma$ ) e quantificado em Unidades de Hounsfield. [32] É relevante considerar que o ruído é dependente dos seguintes fatores: tensão, filtração, dimensão do *pixel*, espessura de corte, eficiência do detetor e dose de radiação. [23] [32] Também, influencia a resolução de baixo contraste. [27]

### **3.6 Uniformidade**

Na imagem do corte de um objeto de composição uniforme, cada pixel deve apresentar o mesmo valor. [20] [33] Assim, em Tomografia Computorizada, a uniformidade pode ser definida como a variação dos números de TC num objeto homogéneo. Esta variação deve ser a mesma, dentro de limites restritos, sobre diversas regiões do corte. [34]

### **3.7 A Legislação Portuguesa**

O controlo de qualidade dos equipamentos médicos, que integra os programas de garantia da qualidade, consiste no conjunto de operações destinadas a manter ou a melhorar a qualidade, abrangendo a monitorização, avaliação e manutenção das características de funcionamento do equipamento que podem ser definidas, medidas e controladas. Por sua vez, a garantia da qualidade corresponde a todas as ações planeadas e sistematizadas, necessárias para garantir uma confiança adequada quanto ao funcionamento satisfatório de um equipamento, de acordo com as normas. [35]

A legislação nacional, através do Decreto-Lei n.º 180/2002 estabelece os critérios mínimos de aceitabilidade para equipamentos de tomografia computadorizada, nomeadamente, para o ruído da imagem, para os valores dos números de TC, para a uniformidade dos números de TC, para o índice de dose em tomografia computadorizada, para a espessura de corte irradiados, para a resolução de contraste elevado e para a resolução de baixo contraste. [35]

## 4. Dose em Tomografia Computorizada

A utilização da radiação X na medicina, para fins imagiológicos, é uma ferramenta vital para o diagnóstico de uma vasta gama de patologias. A Tomografia Computorizada é um dos procedimentos que tem vindo a ser cada vez mais utilizado, nas últimas décadas, pois oferece um diagnóstico preciso e rápido para uma grande variedade de situações clínicas. Desde que as exposições sejam clinicamente justificadas e otimizadas, são claras as vantagens para a saúde do paciente comparativamente aos riscos associados à exposição a radiação ionizante a que estão sujeitos. [15]

A distribuição de dose em TC difere significativamente dos exames de Radiologia Convencional, sendo, em geral, os seus valores considerados dos mais elevados de todos os exames de radiodiagnóstico. Devido às particularidades desta técnica, ao longo do tempo, surgiu a necessidade da introdução de grandezas dosimétricas, que visam a otimização e quantificação da dose.

### 4.1 Dose absorvida, dose equivalente e dose efetiva

A dose absorvida,  $D$ , é a grandeza física fundamental em proteção radiológica [36] e representa a energia média absorvida pela radiação ionizante,  $dE_{ab}$ , num volume de matéria de massa,  $dm$ :

$$D = \frac{dE_{ab}}{dm} \quad (\text{Equação 4.1})$$

A sua unidade é o Joule por quilograma (J/kg) ou Gray (Gy). [36] [37]

Para correlacionar os diferentes tipos de radiação existentes e os diferentes tipos de exposição com os efeitos biológicos, a dose absorvida é insuficiente, pelo que se torna necessário recorrer à dose equivalente e à dose efetiva.

A dose equivalente,  $H_{TR}$ , para um tecido ou órgão e para um dado tipo de radiação  $R$ , é definida como sendo o produto do fator de ponderação para a radiação  $R$ ,  $\omega_R$ , pela dose média absorvida no órgão ou tecido,  $D_{TR}$ , ou seja:

$$H_{TR} = \omega_R \cdot D_{TR} \quad (\text{Equação 4.2})$$

Dado que  $\omega_R$  é adimensional, a unidade de dose equivalente é o Joule por quilograma (J/kg), designado por Sievert (Sv). [36] [37]

A capacidade de uma dada radiação induzir alterações biológicas quando comparada com uma radiação padrão pode ser entendida por eficiência biológica relativa. Desta forma, com base na eficiência biológica relativa dos vários tipos de radiação podem ser definidos os valores dos fatores de ponderação da radiação. [36] No caso da radiação X utilizada em TC,  $\omega_R$  toma o valor

de 1. [36] Assim, a dose equivalente representa a dose de radiação absorvida por uma dada parte do corpo, que é adaptada para o nível de energia e tipo de radiação em causa. [20] [36] [38]

Dado que os órgãos e tecidos do corpo humano apresentam radios sensibilidades diferentes, o risco de ocorrência de efeitos estocásticos para um indivíduo irradiado é representado pela dose efetiva. [36]

A dose efetiva,  $E$ , é definida pelo somatório de doses equivalentes ponderadas para o respetivo tecido, isto é:

$$E = \sum_T \omega_T \cdot H_T \quad (\text{Equação 4.3})$$

Onde  $\omega_T$  é o fator de ponderação tecidular do órgão ou tecido  $T$ . Este fator é determinado tendo em conta o risco de indução de cancro e de doenças hereditárias. [39] Quanto maior o risco no tecido, maior o  $\omega_T$  desse tecido, no entanto, é de referenciar que o  $\sum_T \omega_T = 1$ . A dose efetiva, também, é expressa em Sievert. Em radiodiagnóstico, as unidades desta grandeza são da ordem dos milisievert (mSv).

A dose efetiva é utilizada para comparar o risco potencial para níveis de irradiação baixos, tendo em consideração as diferentes sensibilidades à radiação pelos vários tecidos. [20] Os vários valores de  $\omega_T$  definidos pelo ICRP, encontram-se descritos na Tabela 4.1. [36]

Tabela 4.1 - Fatores de ponderação dos tecidos e respetiva soma acumulada. Adaptado de [36].

Tecidos	$\omega_T$	$\sum \omega_T$
Medula Óssea, Pulmões, Cólon, Estômago, Peito, Coração, Glândulas Supra-renais, Região Extratorácica, Vesícula biliar, Rins, Gânglios linfáticos, Músculo, Mucosa oral, Pâncreas, Baço, Timo, Útero, Próstata, Intestino grosso superior, Intestino delgado.	0,12	0,72
Gónadas	0,08	0,08
Fígado, Tiróide, Esófago, e Bexiga	0,04	0,16
Glândulas salivares, Pele, Superfície Óssea, Cérebro	0,01	0,04
<b>Total:</b>		1,00

## 4.2 Índice de Dose em Tomografia Computorizada

O Índice de Dose em Tomografia Computorizada é o principal indicador de dose em TC e permite estimar e contribuir para a minimização da dose no paciente. [40] Este fornece um valor padrão sobre a magnitude da dose absorvida pelos pacientes, para protocolos e equipamentos específicos permitindo a sua comparação. [11]

Matematicamente, o CTDI, é definido como o integral do perfil de dose  $D(z)$ , ao longo de uma linha paralela ao eixo de rotação  $z$ , em que  $N$  representa o número de cortes tomográficos

para uma única rotação da ampola, dividido pela espessura nominal de cada corte  $T$  (mm) com a mesa fixa. [26] [28]

$$CTDI = \frac{1}{NT} \int_{-\infty}^{+\infty} D(z) dz \quad (\text{Equação 4.4})$$

A unidade do CTDI é o miligray (mGy). Assim, o CTDI representa a dose média absorvida, ao longo do eixo do Z, a partir de múltiplas irradiações contíguas num único corte axial e é calculado pela divisão da dose integrada pela colimação total do feixe de radiação. [28]

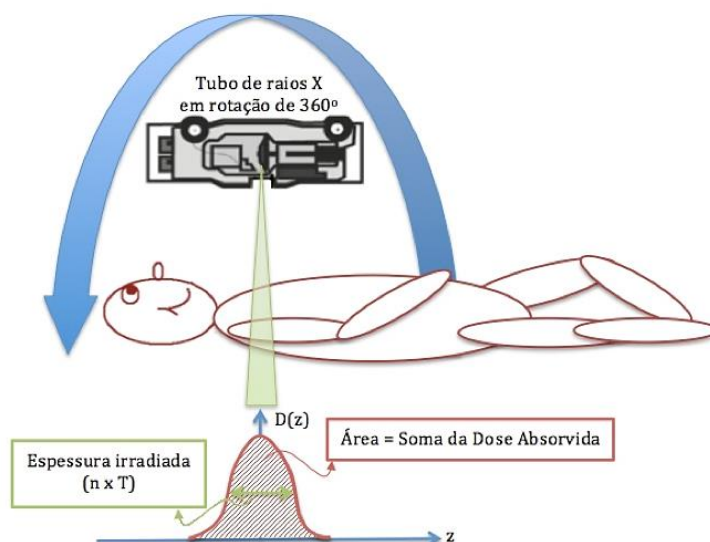


Figura 4.1 – Ilustração da definição de CTDI, onde a ampola de radiação X roda 360°, em torno do paciente, irradiando uma espessura equivalente a colimação por rotação. [19]

### 4.3 CTDI<sub>100</sub>

De forma a realizar uma medição do CTDI<sub>100</sub>, as medições de CTDI são realizadas com o auxílio de uma câmara de ionização do tipo lápis com um comprimento ativo de 100 mm e um volume ativo de 3 cm<sup>3</sup>. [26] [24] [31] [41]

O CTDI<sub>100</sub> corresponde à dose acumulada do varrimento ao centro, numa largura de irradiação de 100 mm, e exige a necessidade de integração da dose de radiação a partir de um único perfil axial. Os limites de integração são de  $\pm 50$  mm. [24] É expresso em termos de dose absorvida no ar e em miligray.

$$CTDI_{100} = \frac{1}{NT} \int_{-50 \text{ mm}}^{+50 \text{ mm}} D(z) dz \quad (\text{Equação 4.5})$$

A medição do CTDI<sub>100</sub> pode ser realizada de duas formas. Por um lado, medindo a exposição no ar, CTDI<sub>100,ar</sub>, com a câmara de ionização colocada no centro da gantry e paralelamente ao eixo de rotação do tomógrafo. Por outro lado, medindo a exposição no centro (CTDI<sub>100,c</sub>) e na periferia (CTDI<sub>100,p</sub>) num fantoma de PMMA. [42]

#### 4.4 CTDI<sub>w</sub>

O CTDI<sub>w</sub> corresponde ao índice de dose ponderado em tomografia computadorizada e pode ser medido, utilizando um fantoma de polimetilmetacrilato e uma câmara de ionização do tipo lápis com 100 mm. O CTDI decresce linearmente, desde a superfície do fantoma até ao centro, pelo que o valor de dose de radiação média absorvida, para um corte, é aproximadamente igual ao valor do CTDI<sub>w</sub>. [43] O CTDI<sub>w</sub> pode ser definido pela equação 4.7:

$$CTDI_w = \frac{1}{3}CTDI_{100,c} + \frac{2}{3}CTDI_{100,p} \quad (\text{Equação 4.6})$$

Onde, o CTDI<sub>100,c</sub> é o valor medido no centro do fantoma e o CTDI<sub>100,p</sub> corresponde à média aritmética das medidas efetuadas nas quatro posições periféricas do fantoma. [24]

O valor de CTDI<sub>w</sub> pode ser normalizado para a unidade radiográfica de exposição (mA.s) utilizada no exame, passando a ser representado pela seguinte equação:

$$nCTDI_w = \frac{CTDI_w}{mA.s} \quad (\text{Equação 4.7})$$

O  $nCTDI_w$  normalizado é expresso em mGy/(mA.s) e é característico de cada equipamento de tomografia computadorizada, pois define a capacidade da TC em termos de produção de radiação. [26]

#### 4.5 CTDI<sub>vol</sub>

O aparecimento dos equipamentos de tomografia computadorizada helicoidal levou ao desenvolvimento do CTDI<sub>vol</sub> (volumétrico), que tem em conta as variações ocorridas entre os feixes de radiação X resultantes de consecutivas rotações da fonte. As aquisições efetuadas com sistemas helicoidais possuem múltiplos detetores e são caracterizadas por um fator de passo (*pitch*) que é definido como a distância percorrida pela mesa de exame numa rotação de 360 graus da ampola de radiação X, dividido pela largura de colimação do feixe de radiação. [44] O CTDI<sub>vol</sub> corresponde ao CTDI<sub>w</sub> corrigido pelo *pitch*. [24]

Matematicamente, o CTDI<sub>vol</sub> é expresso em mGy e dado pela seguinte equação [20]:

$$CTDI_{vol} = \frac{CTDI_w}{Pitch} \quad (\text{Equação 4.8})$$

De acordo com a IEC, é requerido que nos equipamentos de TC mais modernos, o seu *software* mostre o valor de CTDI<sub>w</sub>, antes de se iniciar a aquisição da imagem. [40] E, atualmente, já se verifica a presença deste parâmetro na consola do operador, que estima a dose.

## 4.6 Produto Dose Comprimento

Os CTDI's referidos anteriormente são aplicados para dose locais, ou seja, são indicadores da dose de radiação média absorvida dentro do volume irradiado. Para contabilizar a dose de um exame completo é necessário utilizar o Produto Dose Comprimento (DLP). O DLP considera o número de cortes por rotação e as espessuras de corte utilizadas. [42]

O DLP é dado pela seguinte equação:

$$DLP = \frac{CTDI_w}{Pitch} \times L \quad (\text{Equação 4.9})$$

Onde, o L é o varrimento longitudinal da mesa para o exame completo em cm, pelo que a unidade em que é expresso o DLP é mGy·cm. [45]

## 4.7 Efeitos Biológicos da Radiação

Os efeitos biológicos das radiações ionizantes podem ser classificados segundo: 1) a dose absorvida e a forma da resposta em estocásticos ou determinísticos; 2) o tempo de manifestação dos efeitos em imediatos ou tardios; e 3) o nível de danos produzidos em somáticos (dano nas células do próprio indivíduo) ou genéticos/hereditários (quando transmitidos à descendência). [38] [46] [47]

Os efeitos estocásticos podem ser somáticos ou hereditários, e resultam de modificações induzidas em uma ou mais células que são, posteriormente, transmitidas a outras por via da descendência. São efeitos em que a probabilidade de ocorrência é proporcional à dose de radiação recebida, sem a existência de um limiar. Isto significa que, doses pequenas, abaixo dos limites estabelecidos por normas e recomendações de proteção radiológica, podem induzir tais efeitos, como, por exemplo, o cancro. Por sua vez, os efeitos determinísticos, são apenas somáticos, e aparecem como consequência da morte coletiva de um número significativo de células, não compensado pela reposição ou reparo, com prejuízos detetáveis no funcionamento do tecido ou órgão. Ocorre quando a dose excede um certo limiar, o que significa que são produzidos por doses elevadas, onde a severidade do dano aumenta com a dose. [38] [46] [47] [48]

Os efeitos biológicos, resultantes da interação da radiação ionizante com o material biológico, podem variar quanto ao tempo de manifestação. Se as doses forem muito altas, predominam os efeitos imediatos, e as lesões serão severas ou até letais. Para doses intermediárias, predominam os efeitos imediatos com grau de severidade menor, e não necessariamente permanentes. Poderá haver, entretanto, uma probabilidade grande de lesões severas a longo prazo. Para doses baixas, não haverá efeitos imediatos, mas há possibilidade de lesões a longo prazo. [48]

## 5. Equipamentos e Materiais

Os dados resultantes das medições efetuadas, foram recolhidos na empresa MedicalConsult (Grupo Stericycle), decorrentes dos controlos de qualidade realizados por esta empresa no âmbito da sua atividade em hospitais e clínicas. Neste capítulo descrevem-se os equipamentos e os materiais, nomeadamente, o fantoma Catphan® 500, o fantoma CTDI e o dosímetro utilizado.

### 5.1 Caracterização da Amostra e dos Equipamentos

Durante o estudo foram analisados dados provenientes de 180 equipamentos de Tomografia Computorizada de variadas marcas. Na tabela 5.1 encontram-se discriminadas as frequências e percentagens de intervenções, de acordo com cada marca de equipamento (General Electric (GE), Siemens, Philips, Toshiba e outros), e no gráfico da figura 5.1 o número de equipamentos de TC por marca. Verificou-se que a marca GE representa 38,3% de todos as marcas de equipamentos, seguindo-se a Siemens com 30%, a Philips com 16,1%, a Toshiba com 13,9% e a marca Outros com 1,7%. Contabilizaram-se apenas 9 intervenções de três marcas (Neusoft, Imatron, Samsung) distintas e, desta maneira, decidiu-se agrupá-las num único grupo denominado de Outros, que corresponde a 2,7% da amostra do número de intervenções. Todos estes equipamentos estão sujeitos a um protocolo de controlo da qualidade e encontram-se distribuídos por várias unidades de saúde, desde hospitais públicos e privados, a clínicas médicas, distribuídas pelo Continente e pelas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira.

Relativamente ao número de intervenções realizadas, constatou-se que a GE foi a marca mais encontrada nas unidades médicas estudadas, estando representada em 37,5% das intervenções, seguida da Siemens, Philips e Toshiba com 34,2%, 15,9% e 9,7%, respetivamente.

Tabela 5.1 - Frequência e percentagem das intervenções realizadas consoante a marca do equipamento de TC.

Marca	Frequência	Percentagem	Percentagem acumulada
<b>GE</b>	127	37,5	37,5
<b>Siemens</b>	116	34,2	71,7
<b>Philips</b>	54	15,9	87,6
<b>Toshiba</b>	33	9,7	97,3
<b>Outros</b>	9	2,7	2,7
<b>Total</b>	339	100,0	100,0

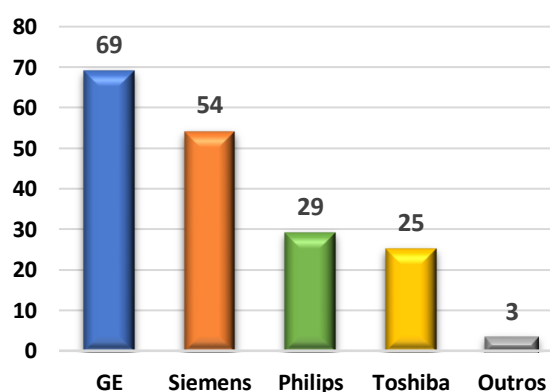


Figura 5.1 – Representação gráfica do número de equipamentos de TC por marca.

Foram analisadas 330 intervenções, em 180 equipamentos distintos de tomografia computadorizada, correspondendo a medições de espessura de corte, de números de TC, de uniformidade, de ruído, de resolução espacial, de resolução de baixo contraste e medições de dose. Houve 9 intervenções, correspondentes ao grupo de equipamentos “Outros”, que não foram contabilizadas, porque a amostra era pouco significativa. De salientar que cada equipamento pode ter sofrido mais do que uma intervenção, devido ao programa de controlo poder ser realizado semestralmente ou anualmente, e em cada intervenção efetuou-se sempre a avaliação de todos os parâmetros de controlo da qualidade e de dose descritos na metodologia.

No início do estudo de cada variável evidenciaram-se, os casos não conformes, isto é, os casos que excediam os limites legais estipulados no Decreto-Lei n.º 180/2002. Para algumas variáveis foram encontradas não conformidades e, conseqüentemente, poder-se-ia fazer a sua exclusão das intervenções. No entanto, apesar das entidades clínicas e hospitalares, após os testes, serem informadas de tal situação, não existe garantia de que as mesmas tomem medidas corretivas. Portanto, os equipamentos poderão operar durante um longo período de tempo em condições anómalas. Considerando esta situação e dado o número de casos não conformes encontrados ser reduzido, a sua exclusão da amostra inicial não iria influenciar com significância os resultados. Portanto, optou-se por não remover da amostra esses dados. Garante-se, assim, que a amostra traduz a situação vivida no País.

As intervenções foram realizadas entre 2014 e 2017, sendo os anos de 2014, 2015 e 2016, onde se verificaram um maior número de intervenções, uma vez que o ano de 2017 só contabiliza os dados referentes ao primeiro trimestre. Na Tabela 5.2 pode-se observar a frequência e percentagem do número total de intervenções realizadas por ano. O gráfico da Figura 5.2 representa as respetivas percentagens de acordo com cada ano.

Tabela 5.2 - Frequência e percentagem das intervenções realizadas entre 2014 e 2017.

Ano	Frequência	Percentagem	Percentagem acumulada
<b>2014</b>	97	28,6	28,6
<b>2015</b>	96	28,3	56,9
<b>2016</b>	120	35,4	92,3
<b>2017</b>	26	7,7	7,7
<b>Total</b>	339	100,0	100,0

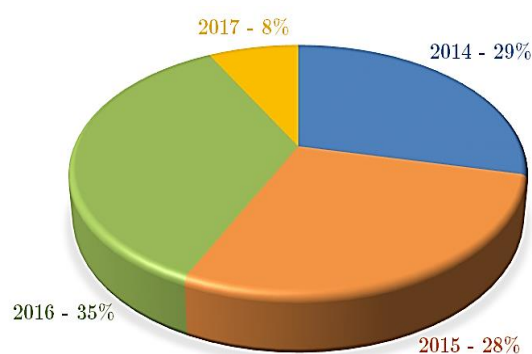


Figura 5.2 – Representação gráfica da percentagem de intervenções realizadas por ano.

## 5.2 Fantoma Catphan® 500

Para avaliar a qualidade das imagens tomográficas utilizam-se fantasmas especializados. Neste trabalho, utilizou-se o fantoma Catphan® 500, uma vez que apresenta estruturas de alto e baixo contraste, componentes geométricos e regiões homogêneas que permitem determinar os fatores de qualidade da imagem legislados em equipamentos de TC.

O fantoma Catphan® 500 é composto por quatro módulos de teste organizados em intervalos pré-determinados, e permite realizar os testes de controlo de qualidade da imagem que se encontram descritos na Figura 5.3. Foi desenvolvido, de forma a que cada secção do fantoma seja localizada com a máxima precisão, a partir do centro da primeira secção (CTP 401) até ao centro de cada secção de teste subsequente. [49] Ao se posicionar e testar o primeiro módulo torna-se rápido verificar todos os restantes módulos, sem a necessidade de voltar a reposicionar o fantoma para cada um dos módulos.

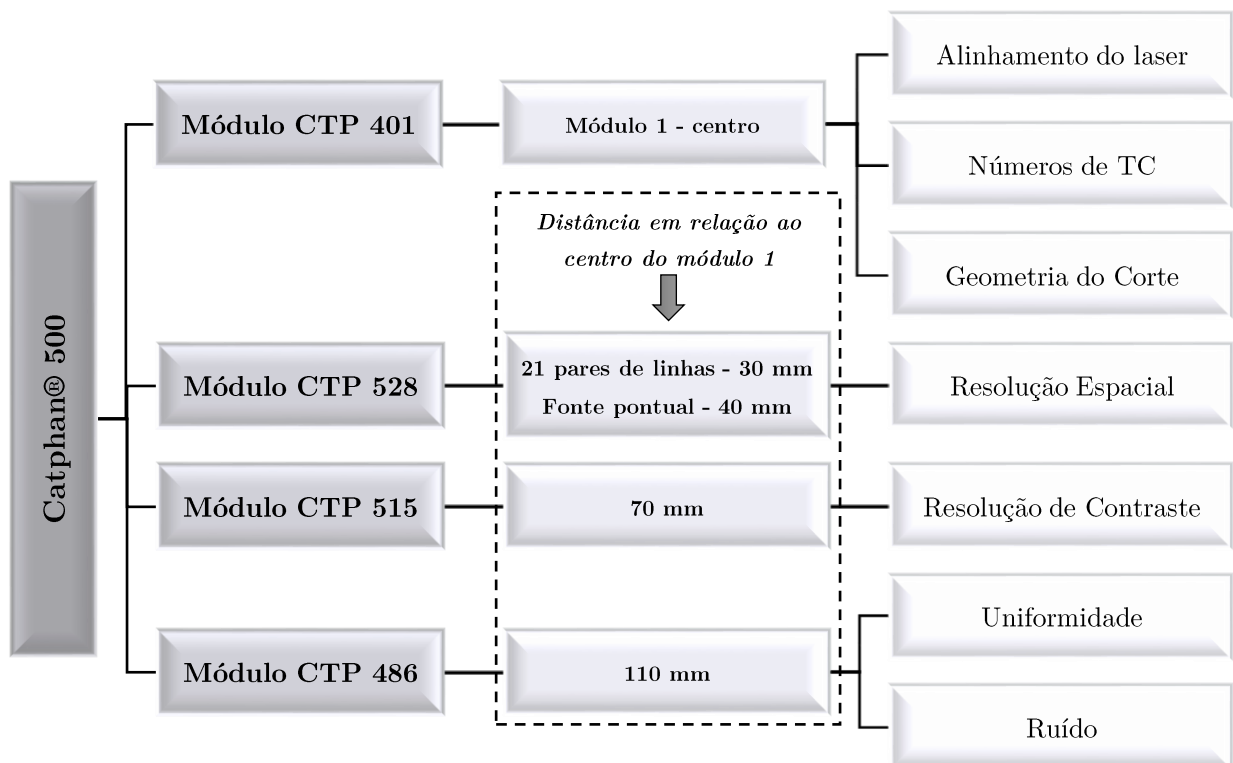


Figura 5.3 – Representação esquemática da análise do fantoma Catphan® 500. [49]

Relativamente à montagem do fantoma, apenas o suporte do fantoma foi indexado à mesa do tomógrafo, com a caixa aberta para trás a 180°, para criar maior estabilidade (Figura 5.4). As almofadas e o acolchoamento da mesa foram retirados. O próprio fantoma ficou posicionado na entrada da *gantry*, para que não existissem artefactos na imagem provocados pela mesa de exame. Posteriormente, o fantoma foi alinhado em todas as direções com a primeira secção de teste, através dos lasers presentes na *gantry* e do auxílio dos pontos de centragem existentes no fantoma (Figura 5.5). Assim, torna-se possível realizar os scans de forma rápida, dado que a centragem do fantoma é comum para todos os módulos. [49]

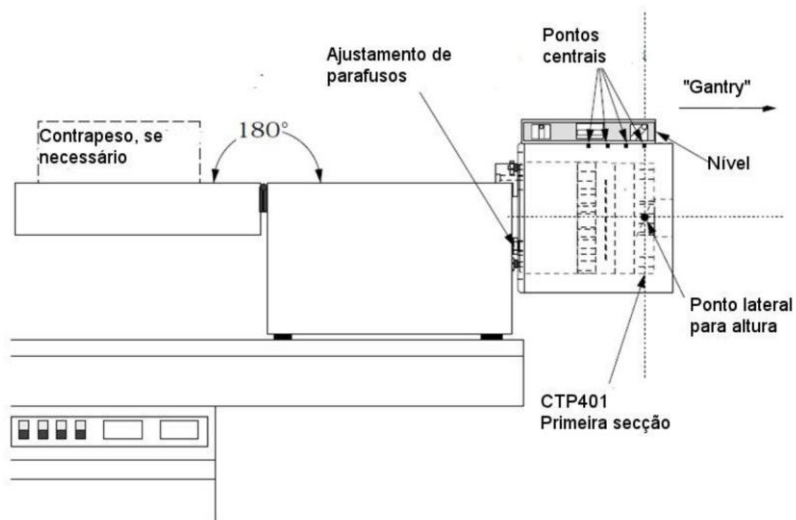


Figura 5.4 - Esquema da montagem do fantoma no equipamento de TC. [49]

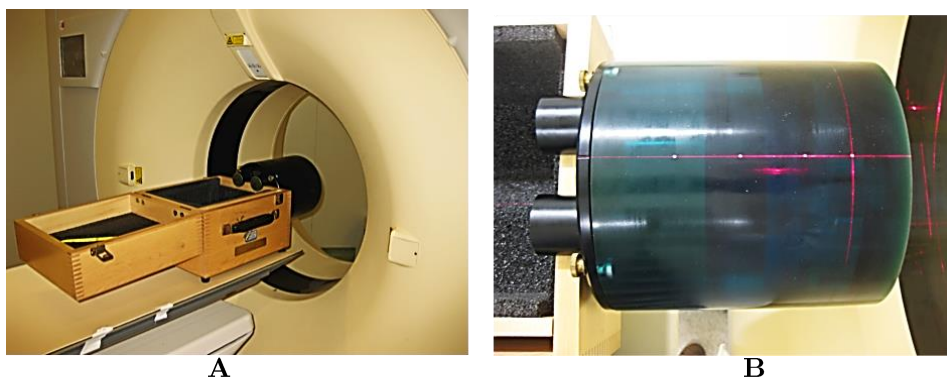


Figura 5.5 - A: Posicionamento do fantoma no equipamento de TC. B: Alinhamento dos lasers do scanner com os pontos de referência do fantoma.

### 5.2.1 Módulo CTP 401

Este módulo permite verificar os seguintes parâmetros: alinhamento do laser da TC, espessura de corte, exatidão e linearidade dos números de TC. Na Figura 5.6 encontra-se um esquema representativo dos testes realizado com este módulo e uma imagem adquirida com o mesmo.

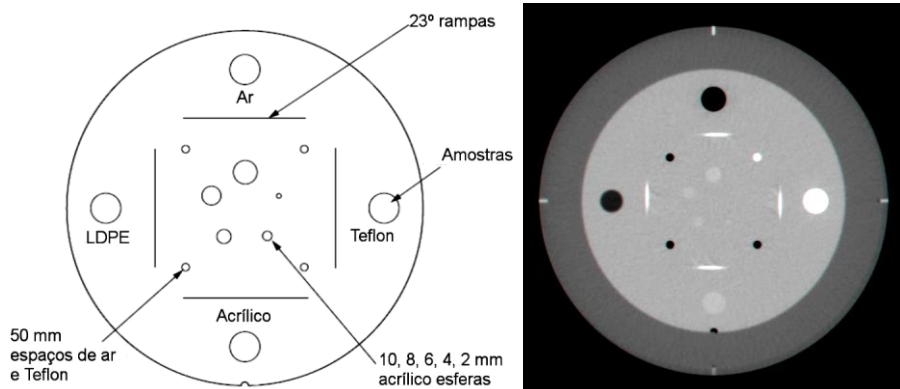


Figura 5.6 - Módulo CTP 401 [49] e imagem adquirida com este módulo.

### 5.2.1.1 Alinhamento do fantoma

Após a montagem do fantoma, deve-se proceder à verificação do alinhamento do fantoma com os lasers da TC. Desta forma, inicia-se a aquisição das imagens, começando com a primeira imagem do módulo CTP 401, que contém 4 rampas de fios metálicos num ângulo de  $23^\circ$  da base até ao topo do módulo. [49] Para que o fantoma esteja corretamente alinhado é necessário que estas 4 rampas estejam alinhadas como mostra a Figura 5.7. No entanto, ainda existem outros três casos que se podem verificar:

- as rampas podem estar orientadas no sentido horário do centro, isto indica que o fantoma está longe da gantry;
- as rampas podem estar orientadas no sentido anti-horário do centro, isto significa que o fantoma deve ser movido em direção à gantry;
- as rampas podem-se apresentar assimétricas em comprimento e rotação, relevando mau alinhamento do fantoma.

Se algum destes casos de desalinhamento acontecer, o fantoma deve ser reposicionado e, posteriormente, deve-se adquirir uma nova imagem, de maneira a obter-se o alinhamento desejado e iniciar-se a sequência de testes com os vários módulos. [49]

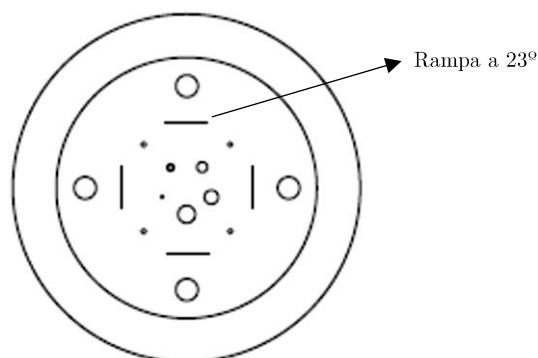


Figura 5.7 – Representação do alinhamento correto do fantoma com o módulo CTP 401. [49]

### 5.2.1.2 Espessura de Corte

A medição da espessura de corte é feita através de dois pares de rampas de fios metálicos a  $23^\circ$ , sendo que um par é orientado paralelamente ao eixo X e o outro par ao eixo Y, como se pode observar na Figura 5.8. [49] Estas rampas permitem calcular o tamanho do corte (Z), em milímetros, medindo-se a largura a meia altura de qualquer uma das rampas representadas e multiplicando-se pela tangente de  $23^\circ$ , ou seja,

$$Z \text{ (mm)} = \text{FWHM} \times \tan(23^\circ) \quad [49]$$

ou

$$Z \text{ (mm)} = \text{FWHM} \times 0.42 \quad [49]$$

Para se saber o valor da largura a meia altura é necessário calcular a média entre o valor do número de TC de fundo e o máximo de brilho da rampa. [49]

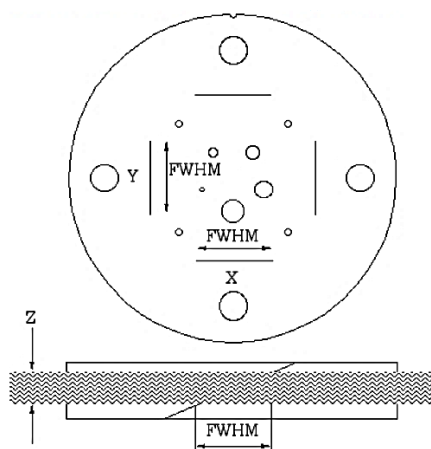


Figura 5.8 – Representação da geometria de corte e da largura a meia altura no módulo CTP 401. [49]

### 5.2.1.3 Números de TC e a sua linearidade

Com o módulo CTP 401 é, também, possível analisar a linearidade dos números de TC, através de quatro amostras de diferentes materiais presentes no fantoma (Figura 5.9). Uma das amostras é o Ar e as restantes representam três materiais feitos de plástico comercial, nomeadamente, o Teflon, o Acrílico e o LDPE (*Low Density Polyethylene* – Polietileno de baixa densidade).

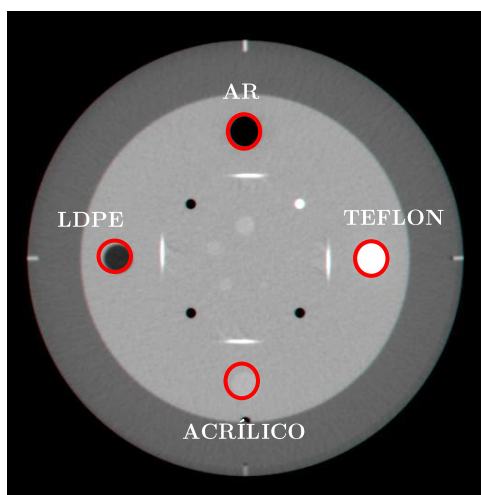


Figura 5.9 – Visualização dos materiais presentes no módulo CTP 401 para o estudo da linearidade dos números de TC.

Os números de TC destes materiais variam entre +1000 HU e -1000 HU, e dependem dos seguintes parâmetros: energia do feixe de radiação, filtração, tamanho do objeto e calibração do equipamento. [49] As energias do feixe de radiação X vão variando, consoante a tensão de aquisição e, conseqüentemente, os valores dos números de TC também variam.

Os valores dos números de TC devem ser calculados através da equação 5.1:

$$TC (HU) = k \frac{(\mu_{material} - \mu_w)}{\mu_w} \quad (\text{Equação 5.1}) \quad [49]$$

Onde  $k$  é a constante de ponderação ( $k = 1000$  na Escala de Hounsfield),  $\mu$  é o coeficiente de atenuação linear do meio material de interesse, e  $\mu_w$  corresponde ao coeficiente de atenuação linear da água. Assim, é possível comparar os números de TC obtidos através do fantoma, com os números de TC obtidos a partir dos coeficientes de atenuação linear. [49]

### 5.2.2 Módulo CTP 528

A resolução espacial é aferida com o módulo CTP 528 (Figura 5.10). Este módulo é composto por um medidor visual de teste que contém 21 pares de linhas por centímetro de alta resolução. Desta forma, a resolução espacial é determinada a partir da visualização do 1º ao 21º conjunto de pares de linhas por centímetro, onde a exatidão da medição deve ser de  $\pm 0,5$  pares de linhas. À medida que se avança nos conjuntos, o espaço entre cada par de linhas vai diminuindo. [49]

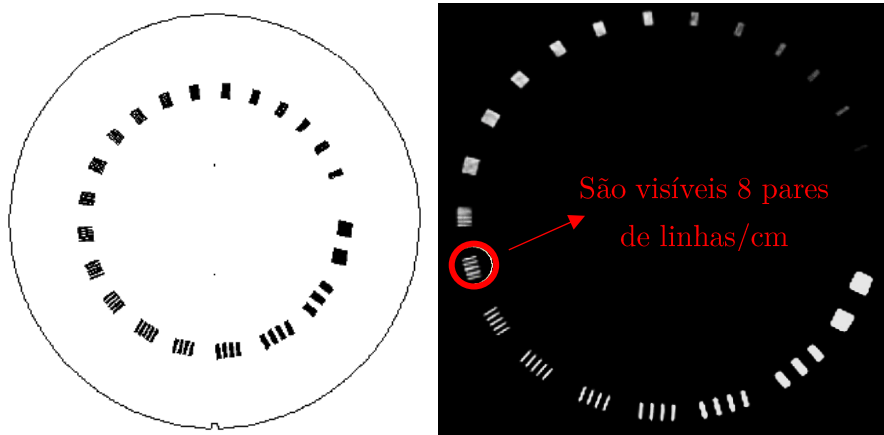


Figura 5.10 – Módulo CTP 528 [49] e imagem adquirida com este módulo, onde são observadas 8 pares de linhas por centímetro de resolução espacial.

Line Pair/cm	Gap Size	Line Pair/cm	Gap Size
1	0.500 cm	11	0.045 cm
2	0.250 cm	12	0.042 cm
3	0.167 cm	13	0.038 cm
4	0.125 cm	14	0.036 cm
5	0.100 cm	15	0.033 cm
6	0.083 cm	16	0.031 cm
7	0.071 cm	17	0.029 cm
8	0.063 cm	18	0.028 cm
9	0.056 cm	19	0.026 cm
10	0.050 cm	20	0.025 cm
		21	0.024 cm

Figura 5.11 – Dimensão do espaçamento entre as linhas pretas, de acordo com os pares de linha por centímetro.

### 5.2.3 Módulo CTP 515

A resolução de baixo contraste é determinada com objetos de espessura superior (supra-corte) ou inferior (subcorte) à espessura de corte. [49] É avaliada com o módulo CTP 515, que é composto por vários círculos-alvo de diâmetro diferente e por três níveis nominais de contraste, que permitem a comparação da sensibilidade do contraste subcorte (região mais central do fantoma) com o supra-corte (região mais periférica do fantoma), conforme é observado na Tabela 5.3 e na Figura 5.12 à esquerda. Destaca-se que os alvos de cada grupo de contraste são formados pelo mesmo material, para que o nível de contraste seja sempre o mesmo para todos os alvos.

Tabela 5.3 - Níveis de contraste supra-corte e subcorte, e respectivos diâmetros dos alvos. [49]

<u>Diâmetro dos Alvos</u>		<u>Níveis Nominais de Contraste:</u>
Supra-corte	Subcorte	
2,0 mm	3,0 mm	0,3%
3,0 mm	5,0 mm	
4,0 mm	7,0 mm	
5,0 mm	9,0 mm	0,5%
6,0 mm		
7,0 mm		1,0%
8,0 mm		
9,0 mm		
15,0 mm		

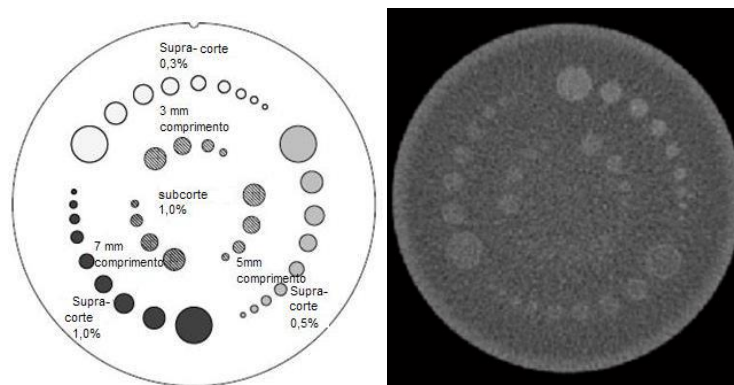


Figura 5.12 – Módulo CTP 515 [49] e imagem adquirida com este módulo

### 5.2.4 Módulo CTP 486

Neste módulo realizam-se as medições da uniformidade espacial, do valor médio dos números da TC e do ruído. É constituído por um material uniforme com cerca de 2% da densidade da água, que corresponde a 20 HU. Para se avaliar a reprodutibilidade do sistema da TC, são desenhadas regiões de interesse (ROI's) na imagem localizadas, uma na zona central e quatro na zona periférica, para se proceder à medição do valor médio e desvios padrão dos números de TC, como demonstra a Figura 5.13 - B. [49]

A uniformidade integral deve ser medida pela determinação dos valores máximos e mínimos dos números de TC, ao longo do perfil, utilizando a equação 5.2:

$$\text{Uniformidade} = \frac{TC_{\text{máx}} - TC_{\text{mín}}}{TC_{\text{máx}} + TC_{\text{mín}}} \quad (\text{Equação 5.2}) \quad [49]$$

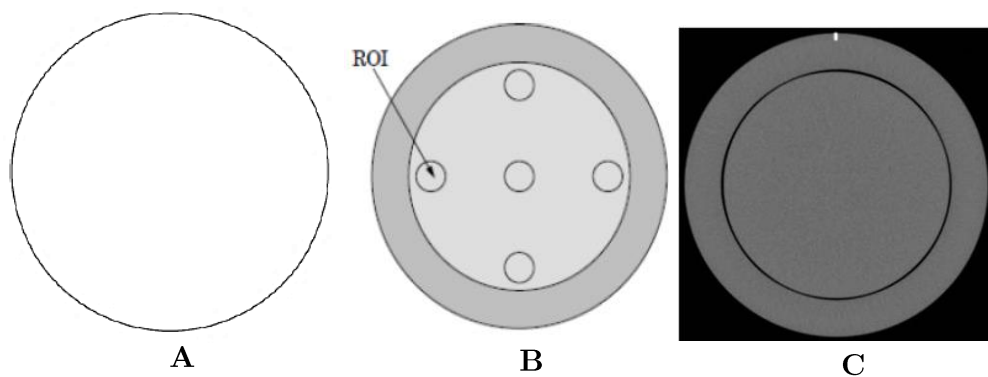


Figura 5.13 – [A] Módulo CTP 486. [B] Representação dos ROI's no módulo para avaliar os números de TC e uniformidade. [C] Imagem adquirida com o fantoma neste módulo. [49]

### 5.3 Fantoma Dosimétrico e Câmara de Ionização

Tal como os parâmetros do controlo da qualidade da imagem em TC, a dose, também, foi aferida com um fantoma. O fantoma utilizado foi o de Índice de Dose da Tomografia Computorizada (CTDI), que possui duas partes cilíndricas de diâmetros diferentes. Uma parte tem 16 cm de diâmetro, para as aquisições realizadas com o protocolo de cabeça, e a outra parte tem 32 cm de diâmetro para as aquisições efetuadas com os protocolos de corpo. Este fantoma é composto por polimetilmetacrilato (PMMA) e possui um orifício central e quatro orifícios periféricos de 1 cm de diâmetro, para a colocação da câmara de ionização do tipo lápis. O ângulo entre os orifícios consecutivos é de  $90^\circ$ . Quando a câmara está inserida num dos orifícios, os outros encontram-se tapados com varas do mesmo material do fantoma. As medições de dose foram efetuadas utilizando uma câmara de ionização calibrada da *Raysafe*, modelo *X2 CT*, com 10 cm de comprimento. Esta câmara de ionização está ligada a um eletrómetro. A correção para a pressão e temperatura é feita automaticamente com um erro de  $\pm 2\%$  e a incerteza associada à calibração do conjunto é de  $\pm 5\%$ . [50]

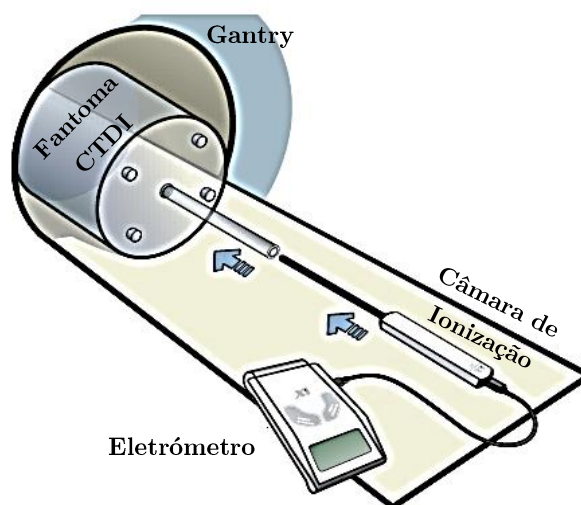


Figura 5.14 - Esquema de montagem do fantoma CTDI e da câmara de ionização. Adaptado de: [50]

## 6. Metodologia

A metodologia das medições efetuadas teve por base os protocolos vigorantes na empresa MedicalConsult, cujos limites/tolerâncias são fundamentados na legislação Portuguesa em vigor e em normas internacionais.

### 6.1 Espessura de Corte

Neste teste, determina-se o real comprimento de um corte de um equipamento de tomografia computadorizada, através da medição da largura a meia altura do perfil da espessura de corte, da imagem projetada de um ou mais fios metálicos em rampa. Após a montagem do fantoma Catphan® 500 e da verificação do seu correto posicionamento, começa-se por avaliar a espessura de corte irradiada. Para tal, efetuou-se uma exposição axial no fantoma, no módulo CTP 401, selecionando um protocolo de exame de cabeça, com os parâmetros técnicos de aquisição descritos na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Protocolo de aquisição para o estudo da espessura de corte nos equipamentos de TC.

Kernel	Tensão (kV)	Corrente (mA)	Tempo de exposição (s)	Espessura de Corte (mm)	FOV (mm)
Standard	110-120	200	1	≈ 10	250

A área de teste do fantoma apresenta dois pares de rampas anguladas a  $23^\circ$  em relação ao eixo de irradiação. Para avaliar a espessura de corte é necessário medir a largura a meia altura dessas rampas. Desta forma, calculou-se, primeiramente, os valores máximos do número de TC e os valores dos números de TC de fundo de cada rampa. Para calcular o valor máximo dos números de TC do fio de cada rampa, “fechou-se” a largura da janela de TC (*window width*) até ao seu valor mínimo e centrou-se o “nível” da janela (*window level*), até ao ponto onde a imagem do fio das rampas desaparecia completamente. Nesta posição, o valor do número de TC do “nível” da janela foi considerado o valor de pico do número de TC do fio metálico. Seguidamente, para calcular o valor dos números de TC de fundo, utilizou-se a função ROI. Com a média dos dois valores calculados, foi possível calcular a FWHM da rampa, ajustando o “nível” da janela da TC para esse valor e mediu-se o comprimento do fio apresentado na imagem. Posteriormente, verificou-se a espessura de corte de cada uma das rampas multiplicando a FWHM da rampa pela tangente de  $23^\circ$ . Este processo foi repetido duas vezes para se obter mais duas espessuras de corte. Na análise final da espessura de corte foi feita uma comparação entre o valor nominal e o valor obtido. O critério de aceitabilidade para este teste, de acordo a legislação portuguesa em vigor (Decreto-Lei n.º 180/2002), é de  $\pm 20\%$  do valor de referência (valor nominal).

## 6.2 Números de TC e a sua linearidade

De modo a avaliar o desvio dos valores dos números de TC medidos nos equipamentos intervencionados e, conseqüentemente, a sua linearidade, utilizou-se o fantoma Catphan® 500, no módulo CTP 401, que é composto por quatro materiais diferentes que simulam a densidade eletrônica dos pulmões, do tecido adiposo, dos órgãos e das estruturas ósseas do corpo humano. De maneira, a aferir os números de TC, efetuou-se uma exposição axial no fantoma com um protocolo de cabeça axial de uso clínico e com os parâmetros descritos na Tabela 6.2. A partir das imagens adquiridas e na região de cada material desenhou-se uma ROI, a fim de se registar o valor médio de cada material e o respetivo desvio padrão.

Tabela 6.2 - Protocolo base de aquisição para o estudo dos números de TC para os diversos equipamentos.

Kernel	Tensão (kV)	Corrente (mA)	Tempo de exposição (s)	Espessura de Corte (mm)	FOV (mm)
Standard	110-120	200	1	10	250

O procedimento descrito foi repetido, fazendo-se variar alternadamente a tensão, a corrente, a espessura de corte e o Kernel. O valor destes parâmetros não foi igual para todas as marcas, porque cada equipamento apresenta as suas especificidades. Assim, na Tabela 6.3 é possível verificar quais os valores utilizados.

Tabela 6.3- Variações ao protocolo base de aquisição dos números de TC de acordo com cada marca de equipamento.

Marca do Equipamento	GE	Siemens	Philips	Toshiba
Menor Tensão (kV)	80	80	90	80
Maior Tensão (kV)	140	130	140	135
Corrente (mA)	100			
Corte < 10 mm	5	5	6	6
Kernel	Smooth / Sharp			

Os números de TC de referência para os diferentes materiais variam consoante a energia dos espetros e são calculados de acordo com os coeficientes de atenuação linear dos materiais. É de referenciar que o valor obtido através das ROI's corresponde ao valor médio do pixel e, por sua vez, estes representam os valores médios dos números de TC medidos. Isto acontece, porque ocorre automaticamente a respetiva normalização dos valores para a escala de Hounsfield. Como tal, para se calcular o valor de referência dos números de TC, de acordo com os parâmetros de cada equipamento, utiliza-se a um fator de correção dos números de TC em função da energia do feixe. Segundo o Decreto-Lei n.º 180/2002, os valores médios dos números de TC obtidos de cada material devem ser inferiores a  $\pm 20$  HU ou a 5 % do valor de referência.

### 6.3 Ruído da Imagem e Uniformidade dos Números de TC

Com o módulo 486 do fantoma Catphan® 500, determinou-se o número médio de TC em diferentes regiões de interesse da imagem e os respetivos desvios padrão. Isto permitiu avaliar a uniformidade dos números de TC e o ruído da imagem. Na execução deste teste, efetuou-se uma aquisição tomográfica axial ao fantoma, com um protocolo adequado a um exame de cabeça e descrito na Tabela 6.6. A configuração do detetor e da espessura de corte utilizada, deve ser adaptada ao exame de maneira a se obter o máximo de imagens possíveis numa só irradiação, ou seja, cada zona do detetor só deve gerar uma imagem, para que se possa realizar uma avaliação independente. A partir das imagens tomográficas adquiridas, selecionou-se uma ROI de 500 mm<sup>2</sup> no centro do fantoma e em cada região da periferia, nomeadamente, nas quatro posições horárias (3, 6, 9 e 12h) que se encontram separadas por 90°. Depois, determinou-se os números médios de TC e os desvios padrão das ROI's.

Tabela 6.4 - Protocolo de aquisição para o estudo do ruído e da uniformidade das imagens de TC de acordo com as várias marcas dos equipamentos.

Marca do Equipamento	GE	Siemens	Philips	Toshiba
Kernel		Standard		
Tensão (kV)			120	
Corrente (mA)			200	
Tempo (s)			1	
Corte (mm)	5	2	2	3
FOV (mm)			250	

O ruído e a uniformidade são dois parâmetros da qualidade da imagem que se devem testar em simultâneo, porque o ruído apesar de estar intimamente ligado a todos os parâmetros da qualidade da imagem tomográfica, o parâmetro a que é mais sensível é o da uniformidade. Assim, o ruído foi dado pelos desvios padrão (*SD*) medidos na região central e calculado através da equação 6.1. E, a uniformidade foi medida através da determinação do valor máximo e mínimo dos números de TC obtidos, usando a equação 5.2 referida no capítulo 5.

$$\text{Ruído (\%)} = \frac{SD \times 100}{1000} \quad (\text{Equação 6.1}) \quad [11]$$

De acordo com a legislação portuguesa (Decreto-Lei n.º 180/2002), no ruído, o desvio padrão dos números de TC, na região de interesse do fantoma de água ou tecido equivalente, não deve ser superior a 20% do valor de referência. Quanto à uniformidade dos números de TC, a diferença entre os valores médios dos números de TC obtidos nas regiões periféricas de interesse e o valor médio obtido na região central, deve ser de  $\pm 10$  HU, de acordo com o protocolo da Agência Internacional de Energia Atómica.

## 6.4 Resolução de Alto Contraste

Neste teste, determinou-se a resolução espacial do sistema de tomografia computadorizada. Esta avaliação deve realizar-se em condições ótimas de visualização e para tal, utilizou-se o fantoma Catphan® 500 no módulo CTP 528. Realizou-se uma aquisição tomográfica axial no fantoma com o protocolo descrito na Tabela 6.7. Posteriormente, determinou-se a resolução espacial do sistema na imagem, a partir da visualização do conjunto das barras brancas (número de pares de linhas), do 1º ao 21º grupo de pares de linhas por centímetro, no qual os espaçamentos pretos entre as linhas brancas eram claramente diferenciados. Este tipo de teste é de carácter subjetivo, uma vez que depende do observador e da janela de visualização, para que o número de pares de linhas seja distinguível. As imagens foram sempre analisadas por 2 especialistas para diminuir a subjetividade da medição.

Tabela 6.5 – Protocolo base de aquisição para o estudo da resolução espacial das imagens de TC.

Kernel	Tensão (kV)	Corrente (mA)	Tempo de exposição (s)	Espessura de Corte (mm)	FOV (mm)
Sharp	110-120	200	1	10	250

Após a obtenção da primeira imagem, efetuaram-se exposições fazendo variar alternadamente os seguintes parâmetros técnicos: a tensão, para um valor máximo e mínimo; a corrente para valores de 100 e 300 mA; um valor de espessura de corte menor; e dois FOV e kernels diferentes. Por fim, registou-se o valor de pares de linhas por centímetro que foi possível ser distinguido e comparou-se com os valores registados anteriormente.

Tabela 6.6 – Variações ao protocolo base de aquisição para o estudo da resolução espacial das imagens de TC.

Marca do Equipamento	GE	Siemens	Philips	Toshiba
Tensão (kV)			80	
			140	
Corrente (mA)			100	
			300	
Espessura de Corte (mm)	4	5	4	5
FOV (mm)	150	160	170	180
	350	320	360	330
Kernel	Standard / Smooth			


Na legislação portuguesa, os valores de referência da resolução espacial têm apenas em conta o método de teste através da MTF. Desta forma, os critérios de aceitabilidade para os testes realizados foram baseados no Protocolo Espanhol de Controlo da Qualidade em Radiodiagnóstico, que refere que pelo menos o padrão de 6 lp/cm deve ser claramente identificado para todas as condições.

## 6.5 Resolução de Baixo Contraste

Este teste permite avaliar se o equipamento cumpre os requisitos mínimos de resolução de baixo contraste. O limiar de contraste de visibilidade é o menor contraste detetável para um dado tamanho de pormenor. Para tal, foi utilizado o módulo 515 do fantoma Catphan® 500, e um protocolo de aquisição muito semelhante ao presente na metodologia da resolução de alto contraste (Tabela 6.7). Neste teste, apenas se alterou no protocolo base de aquisição o kernel utilizado, para um kernel Standard. Efetuou-se uma exposição axial tomográfica no fantoma e analisou-se, para o nível de contraste de 1%, o número de círculos discerníveis para supra-corte. Sempre que necessário ajustou-se o nível da largura da janela para se obter a máxima visibilidade possível. Posteriormente, obteve-se outras imagens, onde se fez variar alternadamente os mesmos parâmetros da resolução espacial, referenciados na Tabela 6.8, sendo que o kernel variou entre smooth e sharp. Após a aquisição destas imagens, procedeu-se ao registo do número de círculos visíveis, que apresentavam diferentes diâmetros e contraste de 1% na parte superior e no sentido horário da imagem, conforme se observa à direita na Figura 5.12. A detetabilidade de baixo contraste está relacionada com o número de círculos visíveis em cada nível de contraste e, consequentemente, com o diâmetro mínimo visível dos alvos para cada nível de contraste. Quanto maior o número de círculos visíveis no supra-corte, menor o diâmetro do alvo para o contraste a 1%. Este teste é considerado subjetivo, uma vez que a contagem do número de círculos visíveis depende do observador. Para a metodologia deste teste, a legislação portuguesa não fornece valores de referência. Assim, os valores apresentados no Protocolo Espanhol de Controlo da Qualidade em Radiodiagnóstico foram os definidos como critério. Neste são considerados objetos visíveis de referência com 8 mm de diâmetro e 0,8% de contraste e, dado que só se efetuou medidas a 1% de contraste, considerou-se que seriam visíveis objetos com pelo menos 9 mm e 1 % de contraste. Na Tabela 6.9 é possível observar os critérios de aceitabilidade para a resolução de contraste. Qualquer valor superior é considerado como sendo uma inconformidade, devendo ser tomadas medidas para a sua correção.

Tabela 6.7 – Critérios de Aceitabilidade da Resolução de Baixo Contraste de 1%

Nº de Círculos Detetáveis para Supra-Corte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Diâmetro mínimo visível para o nível de contraste de 1%	15 mm	9 mm	8 mm	7 mm	6 mm	5 mm	4 mm	3 mm	2 mm


  
 Diâmetro Mínimo Aceitável  $\leq$  9 mm

## 6.6 Índice de Dose em Tomografia Computorizada

O objetivo deste teste foi verificar se o valor da dose estabelecido nas condições de aceitação do equipamento estava de acordo com o visualizado na consola do operador. Desta forma, de modo a avaliar o índice de dose em tomografia computadorizada, colocou-se o fantoma de corpo de PMMA, com 32 cm de diâmetro, alinhado no centro da gantry. Posicionou-se a câmara de ionização do tipo lápis, com 10 cm de comprimento, no orifício central do fantoma. Seguidamente, realizou-se as exposições, em modo axial, com três tensões diferentes, e mantendo constante a corrente e a espessura de corte, como demonstra a Tabela 6.9. Por fim, registou-se os valores de  $CTDI_w$  obtidos. Depois, repetiu-se este procedimento com a câmara de ionização nos outros quatro orifícios periféricos do fantoma, nomeadamente, às 12h, 3h, 6h e 9h. Como o  $CTDI_w$  deve ser medido nos dois protocolos axiais de referência realizados na aceitação do equipamento, o procedimento descrito acima foi repetido, para o fantoma de cabeça. Este fantoma de PMMA tem 16 cm de diâmetro e o protocolo de aquisição utilizado encontra-se descrito na Tabela 6.8. Segundo o Decreto-Lei n.º 180/2002, o valor de  $CTDI$  não deve diferir mais de  $\pm 20\%$  do valor base de referência de cada equipamento.

Tabela 6.8 – Protocolo de aquisição para o cálculo do  $nCTDI_w$  para o protocolo de cabeça.

<b>Fantoma de Cabeça – Protocolo de Crânio</b>				
<b>Marca do Equipamento</b>	<b>GE</b>	<b>SIEMENS</b>	<b>PHILIPS</b>	<b>TOSHIBA</b>
	80	80	90	90
<b>Tensão (kV)*</b>	120	110	120	120
	140	130	140	135
<b>Corrente (mA)</b>			200	
<b>Tempo (s)</b>			1	
<b>Corte (mm)</b>			10	
<b>FOV (mm)*</b>	250	220	250	240

\*Valor médio obtido consoante a marca do equipamento

Tabela 6.9 - Protocolo de aquisição para o cálculo do  $nCTDI_w$  para o protocolo de corpo.

<b>Fantoma de Corpo – Protocolo Abdómen/Tórax</b>				
<b>Marca do Equipamento</b>	<b>GE</b>	<b>SIEMENS</b>	<b>PHILIPS</b>	<b>TOSHIBA</b>
	80	80	90	90
<b>Tensão (kV)*</b>	120	110	120	120
	140	130	140	135
<b>Corrente (mA)</b>			200	
<b>Tempo (s)</b>			1	
<b>Corte (mm)</b>			10	
<b>FOV (mm)*</b>	360	340	360	360

\*Valor médio obtido consoante a marca do equipamento

## 7. Apresentação, Análise e Discussão de Resultados

No presente trabalho, recorreu-se ao programa informático *IBM SPSS Statistics* versão 22 para realizar o tratamento estatístico dos resultados obtidos.

### 7.1 Qualidade da Imagem em TC

No que diz respeito ao controlo de qualidade da imagem foram efetuadas medições em 330 intervenções. Os resultados foram divididos de acordo com os vários parâmetros que podem ser avaliados no controlo da qualidade da imagem em TC, nomeadamente, espessura de corte, números de TC, resolução espacial, resolução de contraste, ruído e uniformidade. De referir que, neste capítulo, ao analisar a qualidade da imagem, salvo indicação em contrário, os valores comparados são os valores médios encontrados na amostra de dados.

#### 7.1.1 Espessura de Corte

Atendendo ao Decreto-Lei n.º 180/2002, o valor medido de espessura de corte não deve variar  $\pm 20\%$  do valor nominal do equipamento. Aplicando este critério aos resultados que dispomos, encontraram-se 13 intervenções nas 330, não conformes (Figura 7.1). Tal situação verificou-se para as espessuras de corte de 16 mm (1 caso), 5 mm (2 casos), 2 mm (5 casos) e 1,15 mm (5 casos).

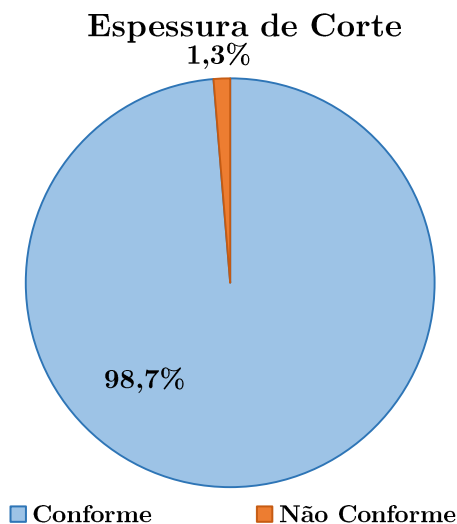


Figura 7.1 - Distribuição das espessuras de corte por casos conformes e não conformes.

As espessuras de corte não se encontram normalizadas, pelo que existe uma ampla amostra de espessuras de corte, entre 19 mm e 1 mm. No entanto, os valores mais usuais são: 10 mm, 5m, 2,5 mm e 1,25 mm. Na Tabela 7.1 é possível observar a quantos milímetros corresponde o valor de referência para cada espessura de corte, por exemplo, para 10 mm, a espessura de corte obtida deve estar compreendida entre 8 mm e 12 mm.

Tabela 7.1 – Resultados obtidos do número de casos conformes de acordo com cada espessura de corte.

Espessura de Corte	Dimensão da Amostra	Valor Médio Obtido	$\pm 20\%$ do valor de referência	Casos Conformes
19 mm	13	19,08 mm	$\pm 3,8$ mm	13
18 mm	14	17,61 mm	$\pm 3,6$ mm	14
16 mm	42	15,39 mm	$\pm 3,2$ mm	41
15 mm	12	14,81 mm	$\pm 3,0$ mm	12
12 mm	31	11,85 mm	$\pm 2,4$ mm	31
10 mm	209	9,8 mm	$\pm 2,0$ mm	209
9 mm	5	8,96 mm	$\pm 1,8$ mm	5
8 mm	47	7,61 mm	$\pm 1,6$ mm	47
7 mm	10	6,74 mm	$\pm 1,4$ mm	10
6 mm	43	6,01 mm	$\pm 1,2$ mm	43
5 mm	153	4,79 mm	$\pm 1,0$ mm	151
4 mm	34	3,93 mm	$\pm 0,8$ mm	34
3,75 mm	37	3,59 mm	$\pm 0,75$ mm	37
3 mm	39	2,94 mm	$\pm 0,6$ mm	39
2,5 mm	82	2,41 mm	$\pm 0,5$ mm	82
2 mm	43	2,09 mm	$\pm 0,4$ mm	38
1,5 mm	23	1,74 mm	$\pm 0,3$ mm	20
1,25 mm	98	1,30 mm	$\pm 0,25$ mm	98
1 mm	30	1,06 mm	$\pm 0,2$ mm	22
< 1mm	25	0,74 mm	< $\pm 0,2$ mm	25

### 7.1.2 Números de TC

No que diz respeito aos números de TC foram efetuadas 330 medições ao material Ar, Teflon, Acrílico e LDPE. As medições foram divididas de acordo o tipo de material e protocolo utilizado. De referir que, neste capítulo, ao analisar os números de TC, salvo indicação em contrário, os valores comparados são os números de TC médios encontrados na amostra de dados.

Atendendo ao Decreto-Lei n.º 180/2002, os números de TC nos equipamentos de tomografia computadorizada, não devem exceder os 5% ou  $\pm 20$  HU. Aplicando este critério aos resultados que dispomos, foram encontrados 40 casos não conformes para o protocolo base, o que representa 88% de conformidades. Os 12% de não conformidades, são referentes ao material Teflon, o que indica 100% de casos conformes para os restantes materiais. Face às alterações efetuadas ao protocolo base de aquisição, verificou-se que as conformidades foram superiores a 80% e que o teflon foi o material que apresentou maior número de não conformidades para todos os protocolos, tal como se pode verificar na Tabela 7.2. Tal pode-se dever ao facto das marcas dos

equipamentos, aquando da instalação/configuração dos tomógrafos, não efetuarem as calibrações dos números de TC para todos os materiais e parâmetros e/ou ao facto dos intervalos de referência para os números de TC dos fabricantes serem superiores aos referidos na legislação nacional.

Tabela 7.2 – Resultados dos números de TC obtidos de acordo com cada protocolo.

Protocolo	Dimensão da Amostra	Conformidade dos Números de TC $\pm 20$ HU ou $\pm 5\%$	Material				Total
			Ar	Teflon	Acrílico	LDPE	
Menor Tensão	330	Conforme	330	267	330	329	80,6%
		Não conforme	0	63	0	1	19,4%
Maior Tensão	330	Conforme	330	272	326	326	80,0%
		Não conforme	0	58	4	4	20,0%
Corrente	330	Conforme	330	285	330	330	86,4%
		Não conforme	0	45	0	0	13,6%
Espessura de Corte	330	Conforme	330	280	329	330	85,5%
		Não conforme	0	50	1	0	15,5%
Kernel Smooth	330	Conforme	330	287	330	330	86,9%
		Não conforme	0	43	0	0	13,1%
Kernel Sharp	330	Conforme	325	281	330	330	83,6%
		Não conforme	5	49	0	0	16,4%

Cada material apresenta uma determinada especificidade na sua formula química, na sua densidade eletrónica e nos seus números de TC, pelo que os valores obtidos são diferentes para cada tipo de material onde se efetuaram as medições. Através da Tabela 7.3 é possível analisar os valores médios obtidos, medianas, amplitude dos valores medidos (mínimo e máximo) e o percentil 75 dos números de TC do Ar, Teflon, Acrílico e LDPE.

Tabela 7.3 -Resultados estatísticos das medições dos números de TC para os quatro materiais.

Números de TC Medidos (HU)				
Números de TC	Ar	Teflon	Acrílico	LDPE
Dimensão da Amostra	330	330	330	330
Média	-995,80 $\pm$ 0,99	953,78 $\pm$ 1,74	119,73 $\pm$ 0,22	-96,88 $\pm$ 0,45
Mediana	-999,00	955,00	120,00	-95,00
Desvio Padrão	18,04	31,66	4,08	8,14
Variância	325,38	1002,28	16,60	66,29
Mínimo	-1031,00	867,00	109,00	-128,00
Máximo	-953,00	1109,00	139,00	-82,00
Intervalo Interquartil	31,00	25,00	5,00	11,00
Percentil 75 (3.ºQ)	-979,75	967,00	122,00	-91,00
Skewness	0,14 $\pm$ 0,13	0,78 $\pm$ 0,13	0,65 $\pm$ 0,13	-0,76 $\pm$ 0,13
Kurtosis	-1,23 $\pm$ 0,27	5,34 $\pm$ 0,27	1,66 $\pm$ 0,27	0,16 $\pm$ 0,27

Analisando, os histogramas dos números de TC medidos do Ar e do Teflon (Figura 7.2), e do Acrílico e do LDPE (Figura 7.3) verifica-se uma distribuição com um comportamento assimétrico negativo, para todos os casos. Tratam-se de curvas leptocúrticas, isto é, ligeiramente afuniladas em relação à curva normal, o que se traduz, numa elevada homogeneidade de valores que se situam sensivelmente abaixo da média.

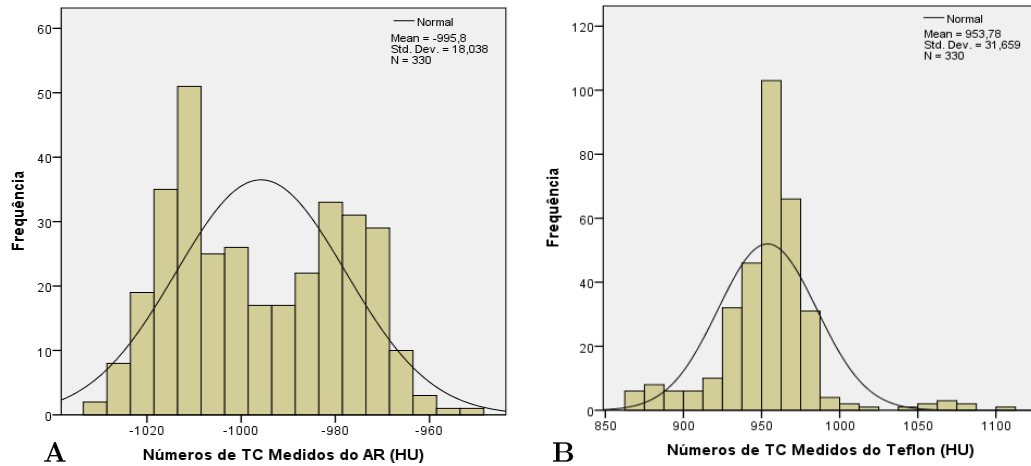


Figura 7.2 – Histogramas dos valores dos números de TC Medidos do: [A] Ar e do [B] Teflon.

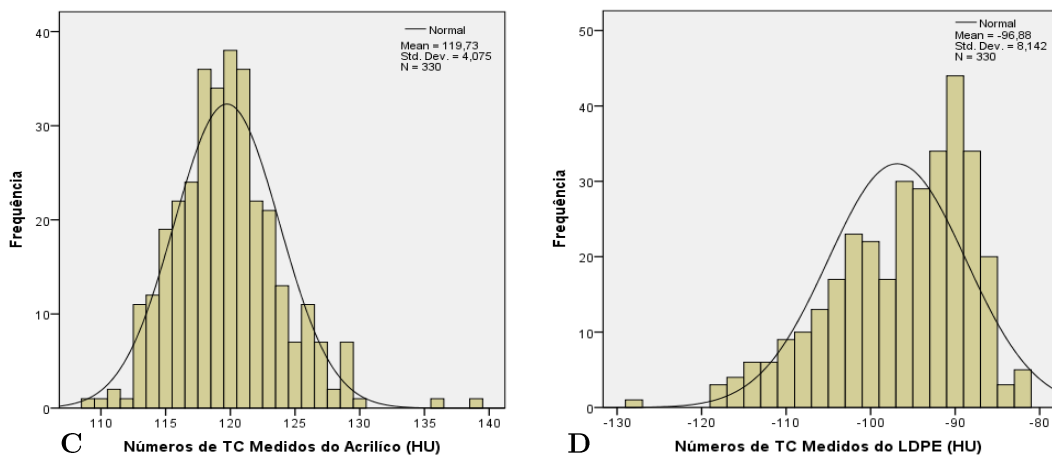


Figura 7.3 - Histogramas dos valores dos números de TC Medidos do: [C] Acrílico e do [D] LDPE.

### 7.1.2.1 Variação dos Números de TC com a marca do equipamento

Para estudar a variação dos números de TC com a marca dos equipamentos, recorreu-se ao teste estatístico *One-Way ANOVA*. Este teste efetua a análise de variância para um fator, neste caso a marca do equipamento (GE, Siemens, Philips e Toshiba), que se trata de uma variável independente cuja natureza é qualitativa. O teste permite aferir o efeito da marca do equipamento na variável dependente, os números de TC (Ar, Teflon, Acrílico e LDPE), que possui natureza quantitativa estabelecendo-se, assim, uma comparação entre as médias dos dois modos. O teste estatístico em causa é passível de ser aplicado em virtude da amostra ser heterocedástica, possuindo um número significativo de casos. Durante o presente trabalho, este teste foi aplicado em diversas situações e o raciocínio subjacente é sempre igual ao apresentado anteriormente.

Convém referir, ainda, que as hipóteses deste teste são:

$$\text{One-Way ANOVA} \begin{cases} H_0 = \mu_1 = \dots = \mu_n = \mu, \\ H_1 = \mu_i \neq \mu, \end{cases} \quad \begin{matrix} i = 1, \dots, n \\ \text{pelo menos para um valor de } i \end{matrix}$$

Onde  $H_0$  e  $H_1$  são as hipóteses do teste. Denomina-se  $H_0$  de hipótese nula e esta pretende verificar a igualdade das médias dos grupos.  $H_1$  é aceite quando pelo menos uma das médias é diferente das restantes. A média de cada grupo é representada por  $\mu_i$  e  $\mu$  reproduz a média de todos os grupos. O número de grupos é dado por  $n$ . O resultado do teste, obtido em *SPSS*, encontra-se na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 - Teste *One-Way ANOVA* para o estudo da marca do equipamento nos números de TC do Ar.

ANOVA					
Números de TC do Ar Medidos					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	57867,064	3	19289,021	127,986	,000
Within Groups	48981,483	325	150,712		
Total	106848,547	328			

Facilmente se deduz pelo *p-value* obtido ( $p=0,000$ ) para um nível de significância de 5%, que existe uma variação nos números de TC do Ar consoante a marca de equipamento. A hipótese nula de as médias serem iguais foi rejeitada, pois o *p-value* obtido é nulo. Foi necessário prosseguir para um teste de comparações múltiplas, pois foram testados quatro grupos. Aplicou-se, então, o teste de *Tukey* para efetuar comparações múltiplas entre todos os pares de médias. O resultado da aplicação do teste encontra-se no Apêndice III-1.

O teste vem confirmar que apenas na marca GE, existem variações nos números de TC do Ar ( $p\text{-value} \leq 0,05$ ). Simultaneamente, reforçou-se a hipótese de que os números de TC medidos do Ar, não variam para a marca de equipamentos da Siemens, Philips e Toshiba. Tal facto, também, pode ser confirmado pelos resultados estatísticos obtidos da Tabela 7.5 e pela distribuição dos números de TC do Ar, segundo a marca do equipamento, na Figura 7.4.

Tabela 7.5 - Resultados estatísticos dos Números de TC Medidos do Ar divididos por marca de equipamento.

Números de TC Medidos do Ar (HU) – Protocolo Base				
Marca do Equipamento	GE	Siemens	Philips	Toshiba
<b>Dimensão da Amostra</b>	127	116	54	33
<b>Média</b>	-980,13±0,89	-1007,07±1,33	-1006,72±1,17	-1002,36±2,91
<b>Mediana</b>	-977,00	-1012,00	-1008,00	-1003,00
<b>Desvio Padrão</b>	10,09	14,33	8,57	16,72
<b>Variância</b>	101,91	205,39	73,49	279,80
<b>Mínimo</b>	-1017,00	-1024,00	-1024,00	-1031,00
<b>Máximo</b>	-953,00	-960,00	-979,00	-970,00
<b>Intervalo Interquartil</b>	12,00	13,00	9,00	28,00
<b>Percentil 75 (3.ºQ)</b>	-972,00	-1002,25	-1001,50	-988,00

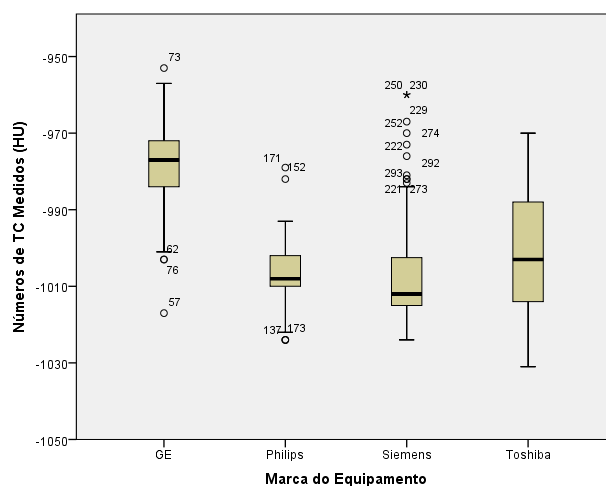


Figura 7.4 - Diagrama de extremos e quartis dos valores obtidos dos Números de TC Medidos do Ar consoante a marca do equipamento.

Relativamente aos números de TC do Teflon, onde se observou 40 casos não conformes, verifica-se que os valores médios obtidos não variam significativamente (Tabela 7.6). Também, através do percentil 75 das várias marcas de equipamentos, é possível verificar que os valores obtidos são muito próximo. Através do teste estatístico *One-Way ANOVA*, reforçou-se a hipótese já confirmada de que os números de TC medidos do Teflon não variam consoante a marca do equipamento ( $p\text{-value}=0,225>0,05$ ), pois foi encontrada igualdade de médias. Não foi necessário recorrer a testes de comparações múltiplas. Pode-se, então, concluir que as quatro marcas de equipamentos não têm comportamentos distintos no que se refere aos números de TC do Teflon.

Tabela 7.6 - Resultados estatísticos dos Números de TC Medidos do Teflon divididos por marca de equipamento.

Números de TC Medidos do Teflon (HU) – Protocolo Base				
Marca do Equipamento	GE	Siemens	Philips	Toshiba
Dimensão da Amostra	127	116	54	33
Média	953,15±1,83	955,99±2,91	956,57±6,44	943,27±6,24
Mediana	957,00	955,00	954,50	938,00
Desvio Padrão	20,65	31,22	47,31	35,86
Variância	426,49	974,67	2238,21	1285,83
Mínimo	874,00	867,00	869,00	895,00
Máximo	994,00	1081,00	1109,00	1086,00
Intervalo Interquartil	25,00	25,00	17,00	33,00
Percentil 75 (3.ºQ)	967,00	969,00	967,00	955,75

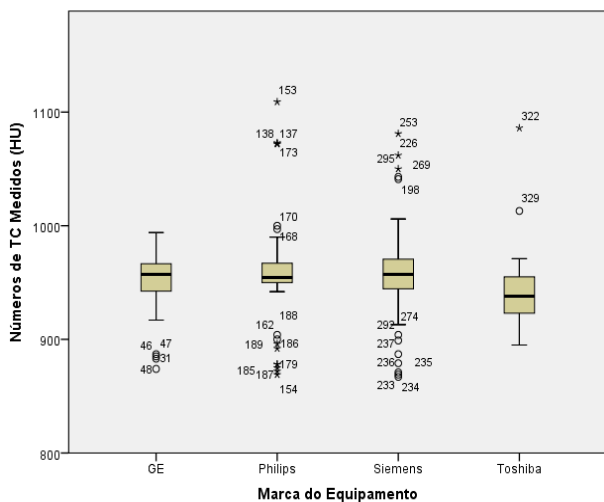


Figura 7.5 - Diagrama de extremos e quartis dos valores obtidos dos Números de TC Medidos do Teflon consoante a marca do equipamento.

Tabela 7.7 - Teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da marca do equipamento nos números de TC do Teflon.

ANOVA					
Números de TC do Teflon Medidos					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4384,019	3	1461,340	1,462	,225
Within Groups	324915,124	325	999,739		
Total	329299,143	328			

Na variação dos números de TC do Acrílico com a marca do equipamento recorreu-se, mais uma vez, ao teste *One-Way ANOVA*, cujos resultados do teste encontram-se expressos na Tabela 7.9. Analisando os números de TC do Acrílico, para uma significância de 0,05, confirma-se a rejeição da hipótese nula ( $p\text{-value}=0,001<0,05$ ) e constata-se que pelo menos um dos números de TC medidos do acrílico varia com a marca. Consequentemente, efetuou-se o teste de comparações múltiplas de *Tukey* cujos resultados se encontram no Apêndice III-2. O teste de *Tukey* veio concluir que as marcas de equipamentos da GE, Siemens e Philips, apresentam pelo menos um dos seus valores medidos diferente. Também, através da análise da Tabela 7.8 e do gráfico da Figura 7.6, pode-se observar que os valores médios obtidos variam significativamente.

Tabela 7.8 - Resultados estatísticos dos Números de TC Medidos do Acrílico divididos por marca de equipamento.

Números de TC Medidos do Acrílico (HU) – Protocolo Base				
Marca do Equipamento	GE	Siemens	Philips	Toshiba
Dimensão da Amostra	127	116	54	33
Média	120,21±0,22	118,70±0,46	121,04±0,57	119,15±0,79
Mediana	120,00	117,00	120,00	118,00
Desvio Padrão	2,46	4,95	4,21	4,58
Variância	6,05	24,51	17,73	21,08
Mínimo	111,00	109,00	114,00	111,00
Máximo	126,00	139,00	129,00	136,00
Intervalo Interquartil	3,00	7,00	5,00	4,00
Percentil 75 (3.ºQ)	122,00	122,00	123,00	120,75

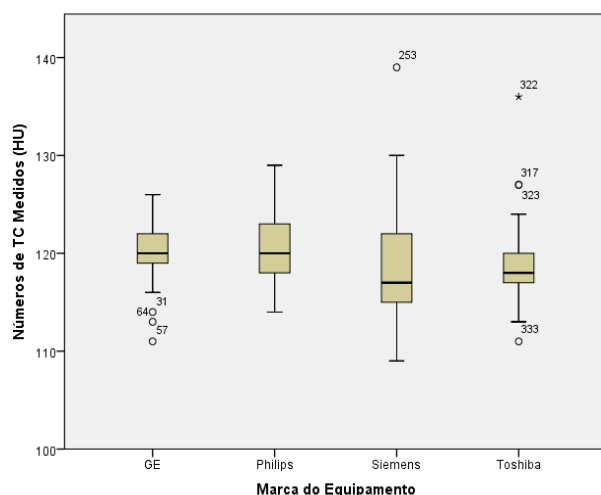


Figura 7.6 - Diagrama de extremos e quartis dos valores obtidos dos Números de TC Medidos do Acrílico consoante a marca do equipamento.

Tabela 7.9 - Teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da marca do equipamento nos números de TC do Acrílico.

ANOVA					
Números de TC do Acrílico Medidos					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	254,642	3	84,881	5,337	,001
Within Groups	5168,500	325	15,903		
Total	5423,143	328			

Nos números de TC do LDPE verificou-se que os valores médios obtidos variam consoante a marca do equipamento. Pode-se observar no gráfico da Figura 7.7, que a amplitude de valores para a marca Siemens e Toshiba é bastante grande, comparativamente às restantes. Realizou-se o teste *One-Way ANOVA* e facilmente se concluiu pelo *p-value* obtido ( $p=0,000 < 0,05$ ), que existe uma variação nos números de TC do LDPE consoante a marca do equipamento. A hipótese nula de as médias serem iguais foi rejeitada. Dado o teste *ANOVA* ter evidenciado diferenças nas médias obtidas, efetuou-se o teste de *Tukey*, que se encontra no Apêndice III-3. O teste de Tukey revelou diferenças entre os valores médios das marcas de equipamento da GE e Toshiba, contrariamente para as marcas da Siemens e Philips constatou-se que os valores médios dos números de TC medidos do LDPE são iguais. Este facto, também, pode ser concluído pelos resultados estatísticos descritos na Tabela 7.10.

Tabela 7.10 - Resultados estatísticos dos Números de TC Medidos do LDPE divididos por marca de equipamento.

Números de TC Medidos do LDPE (HU) – Protocolo Base				
Marca do Equipamento	GE	Siemens	Philips	Toshiba
Dimensão da Amostra	127	116	54	33
Média	-91,67±0,35	-99,80±0,79	-98,83±1,01	-103,82±1,47
Mediana	-91,00	-102,00	-98,00	-106,00
Desvio Padrão	3,97	8,55	7,40	8,41
Variância	15,76	73,09	54,82	70,78
Mínimo	-114,00	-128,00	-119,00	-117,00
Máximo	-82,00	-82,00	-87,00	-85,00
Intervalo Interquartil	5,00	13,00	6,00	12,00
Percentil 75 (3.ºQ)	-89,00	-92,00	-94,75	-99,25

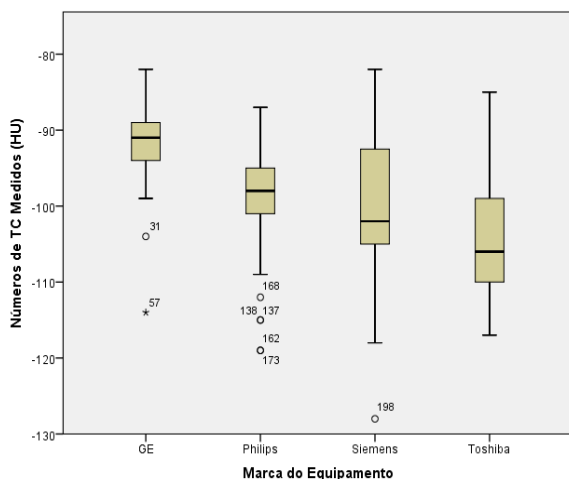


Figura 7.7 - Diagrama de extremos e quartis dos valores obtidos dos Números de TC Medidos do LDPE consoante a marca do equipamento.

Tabela 7.11 - Teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da marca do equipamento nos números de TC do LDPE.

**ANOVA**

Números de TC do LDPE Medidos

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6306,878	3	2102,293	44,352	,000
Within Groups	15405,201	325	47,401		
Total	21712,079	328			

### 7.1.2.2 Variação dos Números de TC

Neste ponto variou-se os números de TC do Ar, do Teflon, do Acrílico e do LDPE de acordo com a tensão de aquisição, a corrente, a espessura de corte e o kernel, como se pode observar na Tabela 7.12. Isto significa que foram adquiridas imagens para valores de menor tensão, entre 80 kV e 100 kV, para valores de tensão superiores, compreendidos entre 130 kV e 140 kV, para uma corrente de 100 mA, para espessuras de corte entre 5 e 6 mm e para kernels smooth e sharp. Esta análise foi dividida segundo a marca do equipamento, uma vez que cada marca apresenta as suas especificações. E, comparou-se os valores obtidos com os resultados do protocolo base de aquisição.

Da amostra estudada, o número de casos conformes e não conformes encontra-se expresso, na Tabela 7.2, tendo-se verificado que existiam pelo menos 95% de conformidades. Os números de TC do Teflon representaram, novamente, a maior amostra de não conformidades para as várias tensões de aquisição, corrente, espessura de corte e kernel.

Pela análise da Tabela 7.12, pode-se verificar que os números médios de TC do Ar, do Teflon, do Acrílico e do LDPE variam consoante o protocolo utilizado. Outros resultados estatísticos e os testes *One-Way ANOVA* efetuados encontram-se expressos no Apêndice II. Sempre que o teste *ANOVA* apresentou valores inferiores ao nível de significância de 0,05, recorreu-se ao teste de *Tukey*, presente no Apêndice III.

Tabela 7.12 – Valores médios obtidos nas medições dos números de TC variando a tensão de aquisição, corrente, espessura de corte e o kernel, e agrupado segundo a marca.

Material	Marca do Equipamento	Valor Médio dos Números de TC (HU)					
		Variação com a Tensão		Variação com a Corrente	Variação com a Espessura de Corte	Variação com o Kernel	
		80 kV a 100 kV	130 kV a 140 kV	100 mA	[5-6 mm]	Smooth	Sharp
Ar	GE	-986,2 ±0,74	-974,8 ±0,84	-978,7 ±0,68	-986,5 ±0,86	-977,8 ±0,77	-987,7 ±0,65
	Siemens	-1011,3 ±1,12	-1010,3 ±1,07	-1008,4 ±1,23	-1007,6 ±1,18	-1013,1 ±1,09	-991,5 ±0,92
	Philips	-1013,5 ±1,33	-1004,6 ±1,09	-1007,1 ±1,02	-1006,3 ±1,42	-1005,2 ±0,86	-1006,1 ±1,06
	Toshiba	-1014,6 ±3,29	-1000,3 ±2,65	-1003,4 ±2,54	-1005,5 ±2,40	-991,6 ±2,45	-1007,2 ±2,12
Teflon	GE	1012,4 ±2,11	942,3 ±1,83	956,3 ±1,45	963,4 ±1,59	955,9 ±1,46	960,3 ±2,37
	Siemens	1002,3 ±3,31	952,3 ±2,82	962,6 ±2,073	962,9 ±2,79	968,3 ±2,82	951,2 ±1,51
	Philips	994,7 ±7,16	949,6 ±8,01	949,1 ±7,94	950,2 ±8,35	928,6 ±6,23	937,5 ±7,35
	Toshiba	964,7 ±28,84	956,0 ±10,27	940,2 ±5,18	944,2 ±5,08	926,6 ±5,89	961,6 ±3,79
Acrílico	GE	99,6 ±0,54	124,9 ±0,26	120,1 ±0,20	120,7 ±0,23	119,9 ±0,19	120,2 ±0,31
	Siemens	100,1 ±0,54	124,1 ±0,37	118,4 ±0,44	118,5 ±0,43	118,6 ±0,39	118,1 ±0,43
	Philips	102,5 ±1,18	128,9 ±0,94	122,4 ±0,78	122,7 ±0,72	122,6 ±0,66	112,9 ±1,29
	Toshiba	100,4 ±1,78	120,2 ±0,62	117,2 ±0,68	118,0 ±0,57	116,5 ±0,53	117,9 ±0,69
LDPE	GE	-124,7 ±0,61	-83,9 ±0,55	-91,7 ±0,28	-92,9 ±0,30	-91,5 ±0,28	-92,6 ±0,46
	Siemens	-128,7 ±0,82	-92,5 ±0,69	-100,1 ±0,77	-100,0 ±0,79	-101,1 ±0,76	-97,3 ±0,66
	Philips	-125,7 ±1,40	-87,6 ±1,10	-97,3 ±1,04	-97,4 ±1,11	-94,8 ±0,81	-102,2 ±1,78
	Toshiba	-132,7 ±3,26	-101,5 ±1,64	-105,5 ±1,09	-105,6 ±1,10	-98,7 ±1,03	-100,7 ±1,27

### 7.1.2.3 Variação dos Números de TC com a Tensão de Aquisição

Dos resultados obtidos, observou-se que tanto para valores de menor tensão, como para valores de maior tensão, a marca GE representa a marca com valores médios dos números de TC do Ar inferiores, de -986,2 HU e 974,8 HU, respetivamente. Verificou-se, para todas as marcas, que ao se utilizar as tensões de aquisição entre 80 kV e 100 kV, os números médios de TC do Ar são inferiores comparativamente ao valor médio obtido para as tensões de aquisição superiores. Pelo gráfico da Figura 7.8, também, se pode observar a distribuição dos números de TC do Ar variando a tensão de aquisição e segundo a marca do equipamento. Os resultados estatísticos obtidos encontram-se discriminados no Apêndice II-1. Realizou-se o teste *One-Way ANOVA* (Apêndice II-2) e facilmente se concluiu pelo *p-value* obtido, que existe uma variação nos números de TC do Ar consoante a tensão de aquisição, uma vez que o *p-value* é inferior a 0,05. Dado o teste *One-Way ANOVA* ter evidenciado diferenças nas médias obtidas, efetuou-se o teste de *Tukey*, que se encontra no Apêndice III-4. O teste de *Tukey* revelou diferenças entre os valores médios obtidos nos equipamentos.

Quanto aos valores médios obtidos dos números de TC do Teflon para as diferentes tensões de aquisição, constatou-se que, com menor tensão, os valores médios são ligeiramente superiores, comparativamente aos valores medidos para tensões superiores. Este facto, também, pode ser observado no gráfico da Tabela 7.8, que mostra a distribuição dos valores medidos dos números de TC do Teflon, consoante a tensão utilizada. As marcas da GE, Siemens e Philips possuem uma distribuição dos diagramas de extremos e quartis semelhante, ou seja, os números de TC obtidos dos diversos equipamentos para menor tensão são superiores e decrescem com o aumento da tensão. Outros resultados estatísticos para os números de TC do Teflon encontram-se expressos no Apêndice II-3. Também, foi realizado o teste *One-Way ANOVA* (Apêndice II-4) e verificou-se a existência de diferenças significativas. Para tensões menores, a hipótese nula foi rejeitada (*p-value*=0,000<0,05), e para os valores adquiridos para tensões superiores, a hipótese nula foi confirmada (*p-value*=0,360>0,05). Recorreu-se, então, ao teste de *Tukey* para se fazer as comparações múltiplas e o resultado encontra-se expresso no Apêndice III-5. Observou-se uma semelhança entre as médias dos números de TC do Teflon adquiridos com menor tensão, na marca GE, da Siemens e da Philips.

Relativamente aos números de TC do Acrílico medidos constatou-se que, para valores de menor tensão, os números de TC obtidos são inferiores, e que à medida que a tensão aumenta, os números de TC do Acrílico aumentam (Figura 7.8). Verifica-se através da Tabela 7.12 que, para as duas variantes de tensões, os tomógrafos da Philips são os que possuem maior valor médio, de ~103 HU e ~129 HU, respetivamente. Mais uma vez, recorreu-se ao teste *One-Way ANOVA*, cujos resultados do teste encontram-se expressos no Apêndice II-6. Analisando os números de TC do Acrílico, para uma significância de 0,05, confirma-se a rejeição da hipótese nula ( $p < 0,05$ ) para as duas variantes das tensões utilizadas e, constatou-se que pelo menos um dos números de TC medidos do Acrílico varia com a tensão de aquisição. Consequentemente, efetuou-se o teste de comparações múltiplas de *Tukey* cujos resultados se encontram no Apêndice III-6.

Já no que diz respeito à variação dos números de TC do LDPE com a tensão de aquisição, verificou-se, novamente, que para valores de tensão compreendidos entre 80 e 100 kV, os valores médios são inferiores, quando comparados aos valores médios de tensões superiores. Os equipamentos da marca GE apresentam valores medidos superiores às restantes marcas (Tabela 7.12). Os resultados estatísticos obtidos encontram-se discriminados no Apêndice II-7 e observa-se a distribuição dos números de TC do LDPE, segundo a tensão de aquisição e a marca do equipamento, na Figura 7.8. Mais uma vez recorreu-se ao teste *One-Way ANOVA* e a hipótese nula da igualdade das médias foi rejeitada, para as duas variantes da tensão utilizada. Aplicou-se, então, o teste de *Tukey* para efetuar comparações múltiplas entre todos os pares de médias. O resultado da aplicação do teste encontra-se no Apêndice III-7. O teste vem confirmar que as quatro marcas de equipamentos apresentam variações nos números de TC do LDPE com a variação da tensão.

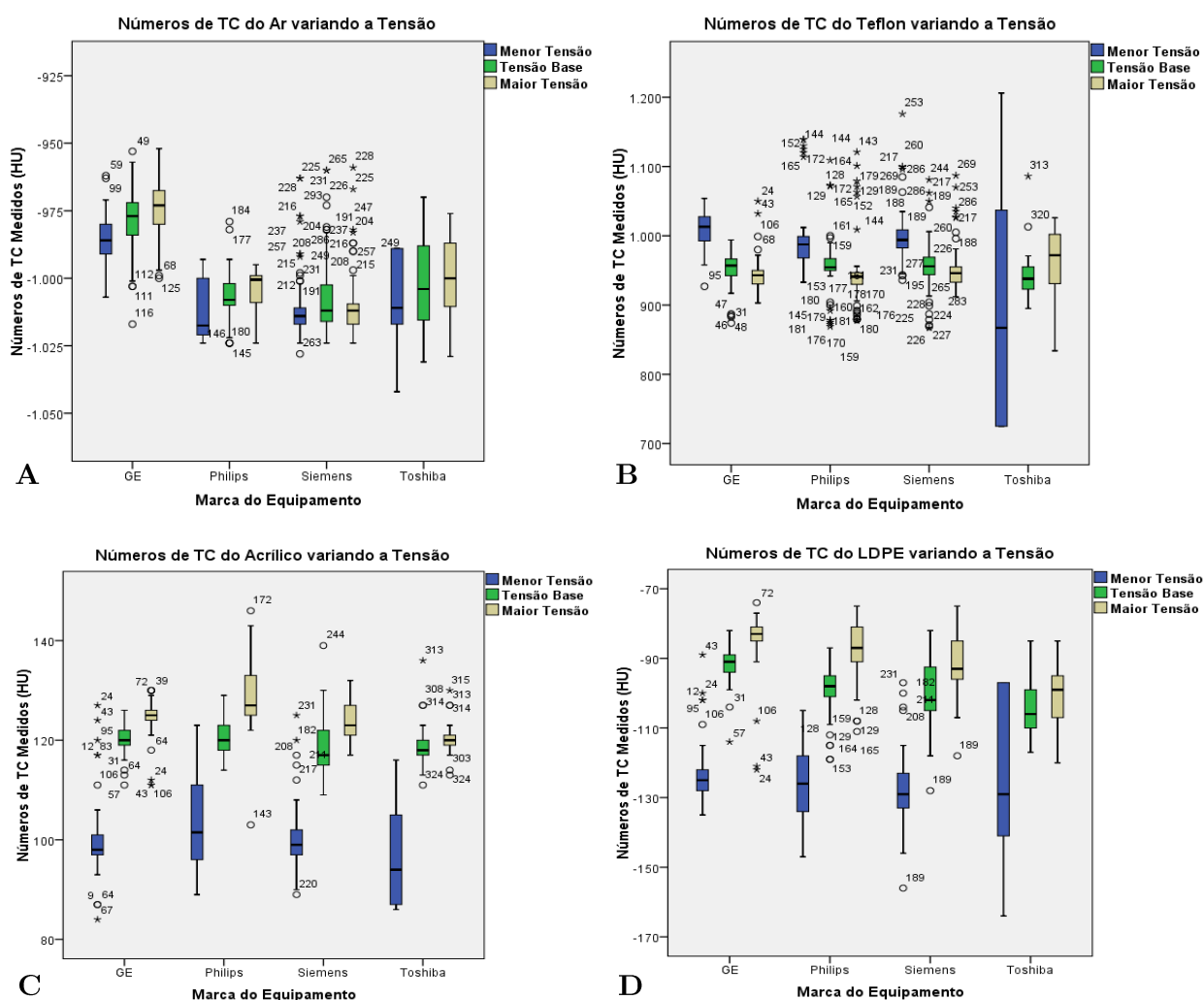


Figura 7.8 - Diagrama de extremos e quartis dos valores dos números de TC Medidos no [A] Ar, [B] Teflon, [C] Acrílico e [D] LDPE variando com a tensão de aquisição e agrupado por marca do equipamento.

#### 7.1.2.4 Variação dos Números de TC com a corrente

Continuou-se a analisar os testes efetuados aos números de TC, mas agora de acordo com a corrente aplicada (100 mA). Pela análise da Tabela 7.12 e do gráfico da Figura 7.9, constatou-se que os números de TC do Ar não variam com a corrente, mas sim com a marca do equipamento, ou seja, pode-se verificar que variando a corrente de 200 mA para 100 mA, a distribuição dos valores obtidos é semelhante, mas segundo a marca do equipamento podemos observar que a marca GE (~ -979 HU) apresenta os valores medidos mais elevados, seguidos pela marca Toshiba (~ -1003 HU), Philips (~ -1007 HU) e Siemens (~ -1008 HU). O teste *One-Way ANOVA*, expresso no Apêndice II-10, concluiu que a medição dos números de TC do Ar teve influência da corrente, pois o *p-value* obtido foi inferior a 0,05. Então, recorreu-se ao teste de *Tukey* efetuado (Apêndice III-8), e concluiu-se que os números de TC do Ar que diferem dos restantes, correspondem à marca de equipamentos da GE. Quanto às restantes marcas, confirmou-se que os números de TC do Ar não variaram.

Relativamente à variação dos números de TC do Teflon com uma corrente de 100 mA, verificou-se que os valores médios obtidos se situam entre 940 HU e 963 HU. A marca Toshiba (~940 HU) apresentou o valor médio mais baixo. Através do diagrama de extremos e quartis dos números de TC do Teflon medidos (Figura 7.9), pode-se verificar que nas marcas GE e Siemens, a distribuição dos valores é semelhante. No entanto, não se verifica diferenças significativas entre uma corrente de 200 mA e uma corrente de 100 mA. Apenas, na marca Philips a amplitude de valores é superior, tal como foi verificado pela análise da tabela do Apêndice II-11. Realizou-se, mais uma vez, o teste *One-Way ANOVA* (Apêndice II-12) e rejeitou-se a hipótese nula de igualdade das médias dos números de TC do Teflon com uma corrente de 100 mA. O *p-value*=0,005, é inferior a 0,05 e, portanto, os números de TC do Teflon variam consoante as marcas de equipamentos. Consequentemente, efetuou-se o teste de comparações múltiplas de *Tukey* cujos resultados se encontram no Apêndice III-9. O teste *Tukey* mostrou que os valores medidos dos equipamentos da Toshiba diferem.

Os resultados dos números médios de TC do Acrílico para uma corrente de 100 mA encontram-se descritos na Tabela 7.12. Os valores médios obtidos estão compreendidos entre 117 HU e 122 HU. Segundo a marca do equipamento, podemos observar que a marca Philips (~122 HU) apresenta o valor médio mais elevado. Através da análise do gráfico da Figura 7.9, podemos observar que o valor das medianas obtidas com 200 mA e 100 mA são semelhantes e os diagramas de extremos e quartis são idênticos. No entanto, a marca Philips, com 100 mA de corrente, apresenta uma amplitude interquartil superior às restantes marcas. Pelo resultado do teste *One-Way ANOVA* do Apêndice II-14, rejeita-se a hipótese nula da igualdade das médias dos números de TC do Acrílico para uma corrente de 100 mA, uma vez que o *p-value*=0,000<0,05. Dado este resultado aplicou-se o teste de *Tukey* cujos resultados estão descritos no Apêndice III-10. Constatou-se, então, que existem diferenças entre os valores medidos dos números de TC do Acrílico entre as várias marcas de equipamentos.

Relativamente ao estudo da influência da corrente de 100 mA nos números de TC do LDPE, pode-se verificar que não existe igualdade entre médias. Este facto pode ser observado pela análise da Tabela 7.12. Pelo gráfico da Figura 7.9, pode-se concluir que não existe uma variação significativa nos números de TC do LDPE, com uma corrente de 200 mA e de 100 mA, uma vez que a distribuição dos valores medidos é semelhante. Entre marcas pode-se constatar algumas diferenças, ou seja, os números de TC do LDPE são superiores na marca GE, seguidos pela Philips, Siemens e Toshiba. Neste ponto, o resultado do teste *One-Way ANOVA*, mais uma vez, rejeita a hipótese nula da igualdade das médias, pois o  $p\text{-value}=0,000$  (Apêndice II-16). Como o  $p\text{-value}$  encontrado foi inferior a 0,05, tornou-se necessário fazer o teste de comparações múltiplas de *Tukey*, cujos resultados se encontram no Apêndice III-11. O teste de *Tukey* vem confirmar as suspeitas de variação do valor médio dos números de TC do LDPE para uma corrente de 100 mA.

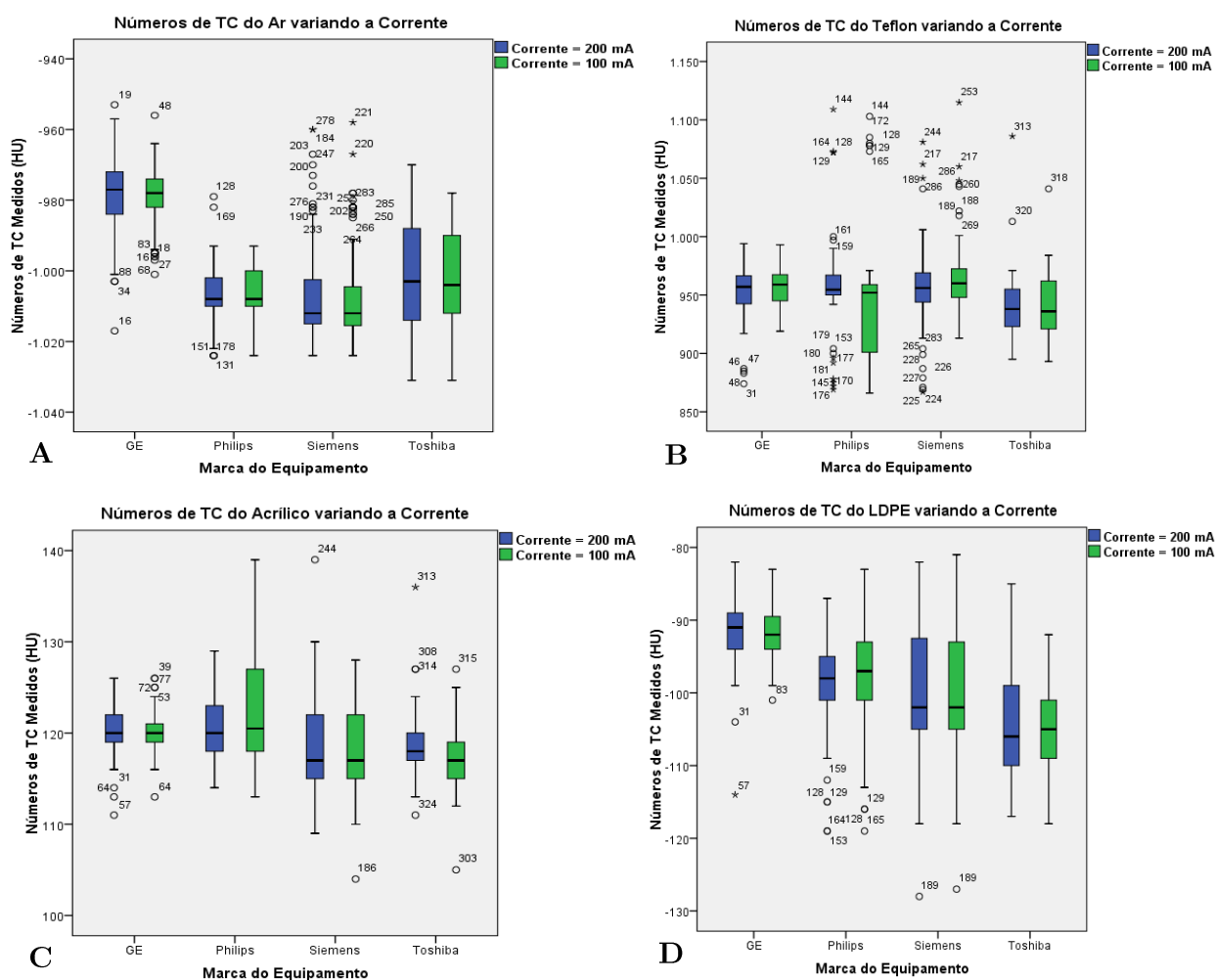


Figura 7.9 - Diagrama de extremos e quartis dos valores dos números de TC Medidos do [A] Ar, [B] Teflon, [C] Acrílico e [D] LDPE variando com a corrente e agrupado por marca do equipamento.

### 7.1.2.5 Variação dos Números de TC com a espessura de corte

Estudou-se, também, a influência da espessura de corte na variação dos números de TC. Para as marcas GE e Siemens, a espessura de corte utilizada foi de 5 mm e, para as marcas Philips

e Toshiba utilizou-se uma espessura de corte de 6 mm. Também, se procedeu a comparações dos números de TC medidos com a espessura de corte de 10 mm.

Na Tabela 7.12 apresentam-se os valores estimados médios dos números de TC do Ar para uma espessura de corte entre 5 e 6 mm. Outros resultados estatísticos encontram-se no Apêndice II-17. Constatou-se, pela análise do gráfico da Figura 7.10, que os números de TC do Ar não variam com a espessura de corte para as marcas Philips, Siemens e Toshiba. Na marca GE verificam-se diferenças entre uma espessura de corte de 10 mm e de 5 mm, uma vez que ao diminuir a espessura de corte observou-se uma diminuição dos números de TC do Ar. Podemos observar que a marca GE (~ -987 HU) apresenta os valores medidos mais elevados, seguidos pela marca Toshiba, Philips e Siemens. O teste *One-Way ANOVA*, cujo resultado se encontra no Apêndice II-18, revela que não existe igualdade de médias dos números de TC do Ar em função da espessura de corte ( $p\text{-value}=0,000<0,05$ ). Foi, então, necessário recorrer ao teste de comparações múltiplas de *Tukey*, cujos resultados estão expressos no Apêndice III-12. Este teste veio confirmar a não variação das médias dos números de TC do Ar para as marcas Siemens, Philips e Toshiba, pois o  $p\text{-value}$  obtido foi superior a 0,05. No entanto, para os equipamentos da marca GE, verificou-se a existência de pelo menos um valor medido dos números de TC do Ar diferente dos restantes.

No que diz respeito ao estudo da variação dos números de TC do Teflon com uma espessura de corte de 5 a 6 mm, verificou-se que os valores médios obtidos estão compreendidos entre 944 HU e 963 HU. Pode-se concluir, pela Tabela 7.12, que a marca de equipamentos GE apresentou o valor médio mais elevado, seguido pela marca Siemens, Philips e Toshiba. Através do diagrama de extremos e quartis dos números de TC do Teflon medidos (Figura 7.10), pode-se verificar que na marca GE, Siemens e Toshiba, a distribuição dos valores é semelhante, sendo que não se verifica diferenças significativas entre uma espessura de corte de 10 mm e 5-6 mm para os números de TC do Teflon. Observa-se, pelos resultados do teste *One-Way ANOVA* (Apêndice II-20), que existem diferenças nas médias dos números de TC do Teflon consoante a espessura de corte e a marca de equipamento utilizada ( $p\text{-value}=0,019<0,05$ ). Dado este resultado aplicou-se o teste de *Tukey* cujos resultados estão expressos no Apêndice III-13. Neste caso, constatou-se que os valores médios não variam, uma vez que o  $p\text{-value}$  obtido é superior a 0,05 para todas as marcas.

Os resultados dos números de TC do Acrílico consoante as espessuras de corte encontram-se descritos na Tabela 7.12. Quanto aos valores médios obtidos verificou-se que, segundo a marca do equipamento, a marca Philips (~123 HU) apresenta o valor médio mais elevado, seguido pelas marcas GE, Siemens e Toshiba. Através da análise do gráfico da Figura 7.10, podemos observar que o valor das medianas obtidas com 10 mm e 5-6 mm são semelhantes e os diagramas de extremos e quartis são idênticos. À exceção da marca Philips que apresenta uma amplitude interquartil superior com uma espessura de corte de 10 mm. Na variação dos números de TC do Acrílico com a espessura de corte recorreu-se, mais uma vez, ao teste *One-Way ANOVA*, cujos resultados do teste encontram-se expressos no Apêndice II-22. Analisando os números de TC do Acrílico, para uma significância de 0,05, confirma-se a rejeição da hipótese nula ( $p$ -

$value=0,000<0,05$ ) e constata-se que pelo menos um dos números de TC medidos do acrílico variam com a espessura de corte de 5 e 6 mm. Consequentemente, efetuou-se o teste de comparações múltiplas de *Tukey* cujos resultados se encontram no Apêndice III-14. O teste de *Tukey* veio concluir que as marcas de equipamentos apresentam pelo menos um dos seus valores médios diferentes.

Já no que diz respeito ao estudo da influência da espessura de corte nos números de TC do LDPE, verificou-se que os valores obtidos se situam, aproximadamente, entre -93 HU e -106 HU. Dos valores obtidos com uma espessura de corte de 5 e 6 mm e com uma espessura de corte de 10 mm, pode-se observar que dentro de cada marca não existem diferenças significativas, uma vez que os diagramas de extremos e quartis são semelhantes. Da análise dos resultados com uma espessura de corte de 5 e 6 mm, pode-se concluir que a marca GE apresenta um valor médio superior às restantes marcas. Mais uma vez recorreu-se ao teste *One-Way ANOVA* e a hipótese nula da igualdade das médias foi rejeitada, para uma espessura de corte compreendida entre 5 e 6 mm. Aplicou-se, então, o teste de *Tukey* para efetuar comparações múltiplas entre todos os pares de médias. O resultado da aplicação do teste encontra-se no Apêndice III-15. O teste vem confirmar que as quatro marcas de equipamentos apresentam variações nos números de TC do LDPE com a espessura de corte de 5-6 mm.

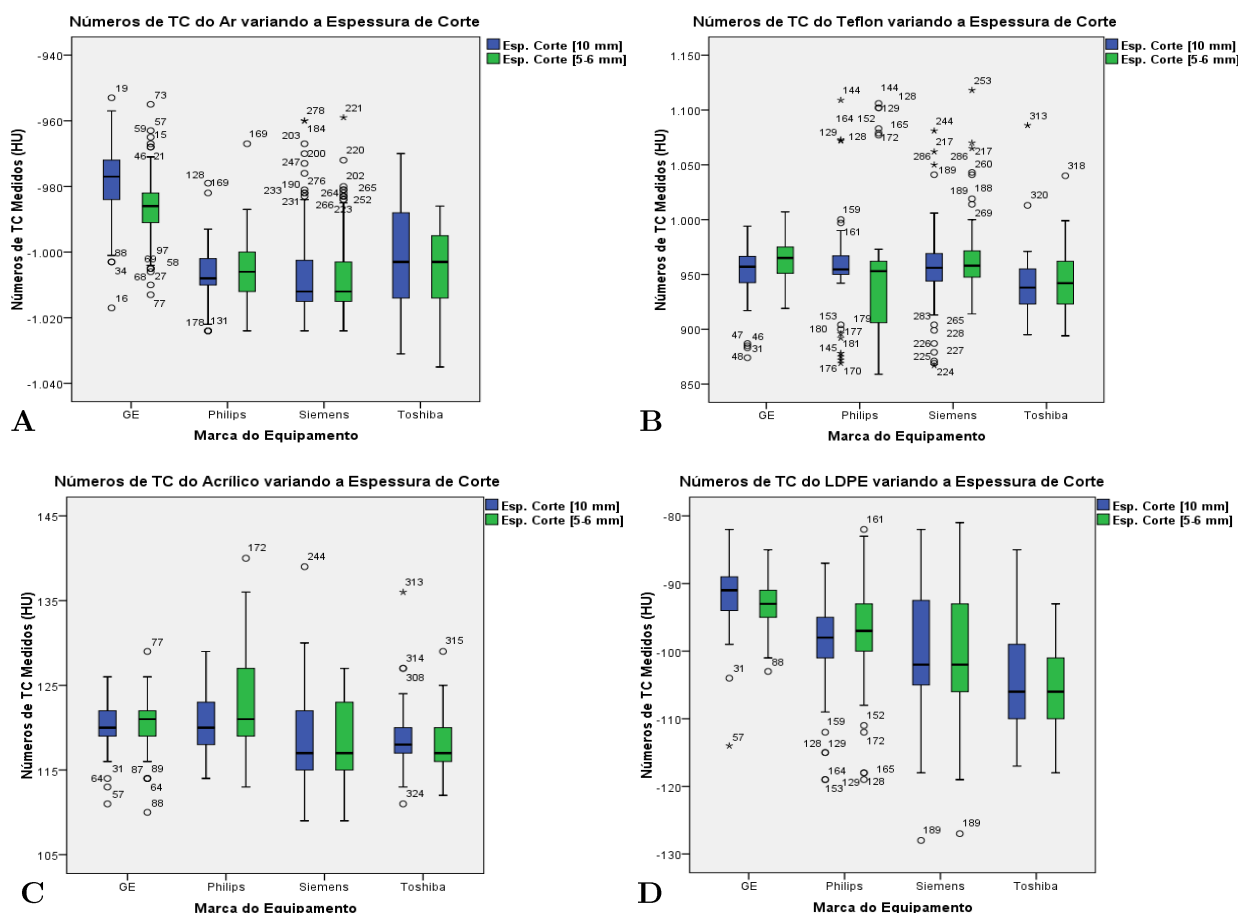


Figura 7.10 - Diagrama de extremos e quartis dos valores dos números de TC Medidos do [A] Ar, [B] Teflon, [C] Acrílico e [D] LDPE variando com a espessura de corte e agrupado por marca do equipamento.

### 7.1.2.6 Variação dos Números de TC com o kernel

O último teste realizado aos números de TC foi variando o kernel entre smooth e sharp. Relativamente à variação dos números de TC do Ar com o kernel, observou-se que a marca com média superior, tanto com um kernel smooth como com um kernel sharp, é a GE, com aproximadamente  $\sim -978$  HU e  $\sim -988$  HU, respetivamente. Através da análise da Figura 7.11, verificou-se que a Philips representa a marca mais homogénea quando se varia o kernel, uma vez que os diagramas de extremos e quartis obtidos para os três tipos de kernel são muito semelhantes. Por outro lado, na Siemens verificou-se um aumento dos números de TC do Ar com a variação do kernel. E, tanto na GE como na Philips, observou-se que com um kernel sharp, os valores medidos dos números de TC do Ar diminuíram. Outros resultados estatísticos encontram-se descritos no Apêndice II-25. Realizou-se, novamente, o teste *One-Way ANOVA* e concluiu-se pelo *p-value* obtido, que existem variações nos números de TC do Ar quando se aplica um kernel smooth, dado que o  $p=0,000$  é inferior a 0,05. Efetuou-se, assim, o teste de *Tukey*, que se encontra no Apêndice II-16. O teste de *Tukey* revelou que nenhuma das marcas apresenta valores médios idênticos com o kernel smooth. Por outro lado, os números de TC do Ar não mostraram evidências de variação com o kernel sharp, pois o *p-value* obtido é superior a 0,05 ( $p=0,221$ ).

Os resultados obtidos dos números de TC do Teflon variando o kernel encontram-se expressos na Tabela 7.12 e no Apêndice II-27. Os valores médios obtidos dos números de TC do Teflon para as duas variantes de kernel, constataram que para as marcas de equipamentos GE, Philips e Toshiba, os números de TC do Teflon são superiores com um kernel smooth, do que com um kernel sharp, e para a Siemens verificou-se o inverso. No que diz respeito ao teste *One-Way ANOVA*, rejeitou-se a hipótese nula de igualdade entre as médias ( $p\text{-value}=0,000 < 0,05$ ) para os dois tipos de kernels estudados. Recorreu-se, assim, novamente ao teste de *Tukey* para se fazer as comparações múltiplas e o resultado encontra-se expresso no Apêndice III-17. Concluiu-se que com um kernel smooth apenas as médias dos números de TC do Teflon para a marca Philips e Toshiba são idênticas. Em relação ao kernel sharp, constatou-se que os tomógrafos da marca GE, Siemens e Toshiba possuem valores médios muito próprios entre si e a marca Philips é a que se mais distancia.

Relativamente aos números de TC medidos do Acrílico constatou-se que, para o kernel smooth, os números de TC médios obtidos são ligeiramente inferiores para os tomógrafos das marcas GE e Toshiba, comparativamente aos números de TC adquiridos para com um kernel sharp. Este facto pode ser verificado pela análise do diagrama de extremos e quartis da Figura 7.11. Por sua vez, nos tomógrafos Siemens e Philips verificou-se o contrário, ou seja, os valores médios dos números de TC do Acrílico são ligeiramente superiores com um kernel smooth. Outros resultados estatísticos encontram-se descritos no Apêndice II-29. Mais uma vez, recorreu-se ao teste *One-Way ANOVA*, cujos resultados do teste se encontram expressos no Apêndice II-30. Confirma-se a rejeição da hipótese nula ( $p < 0,05$ ) para as duas variantes dos kernels utilizados. Consequentemente, efetuou-se o teste de comparações múltiplas de *Tukey* cujos resultados se encontram no Apêndice III-18. Este teste veio concluir que a GE, Siemens, Philips e Toshiba

apresentam pelo menos um dos seus valores medidos diferente com um kernel smooth. No entanto, com um kernel sharp verificou-se que a marca Philips se distancia significativamente das restantes marcas.

Já no que diz respeito à variação dos números de TC do LDPE com o kernel, verificou-se que, de acordo com a marca do equipamento o kernel smooth e sharp aumentam ou diminuem, comparativamente ao kernel standard (Figura 7.11). Os equipamentos da marca GE apresentam valores médios superiores às restantes marcas para os dois tipos de kernels, nomeadamente, -92 HU para o kernel smooth e -93 HU para o kernel sharp. Os resultados estatísticos obtidos encontram-se discriminados no Apêndice II-31. Mais uma vez recorreu-se ao teste *One-Way ANOVA* e a hipótese nula da igualdade das médias foi rejeitada, para as duas variantes de kernel, pois o *p-value* obtido é inferior a 0,05. Aplicou-se, então, o teste de *Tukey* para efetuar comparações múltiplas entre todos os pares de médias. O resultado da aplicação do teste encontra-se no Apêndice III-19. O teste vem confirmar que as quatro marcas de equipamentos apresentam variações nos números de TC do LDPE com a variação do kernel.

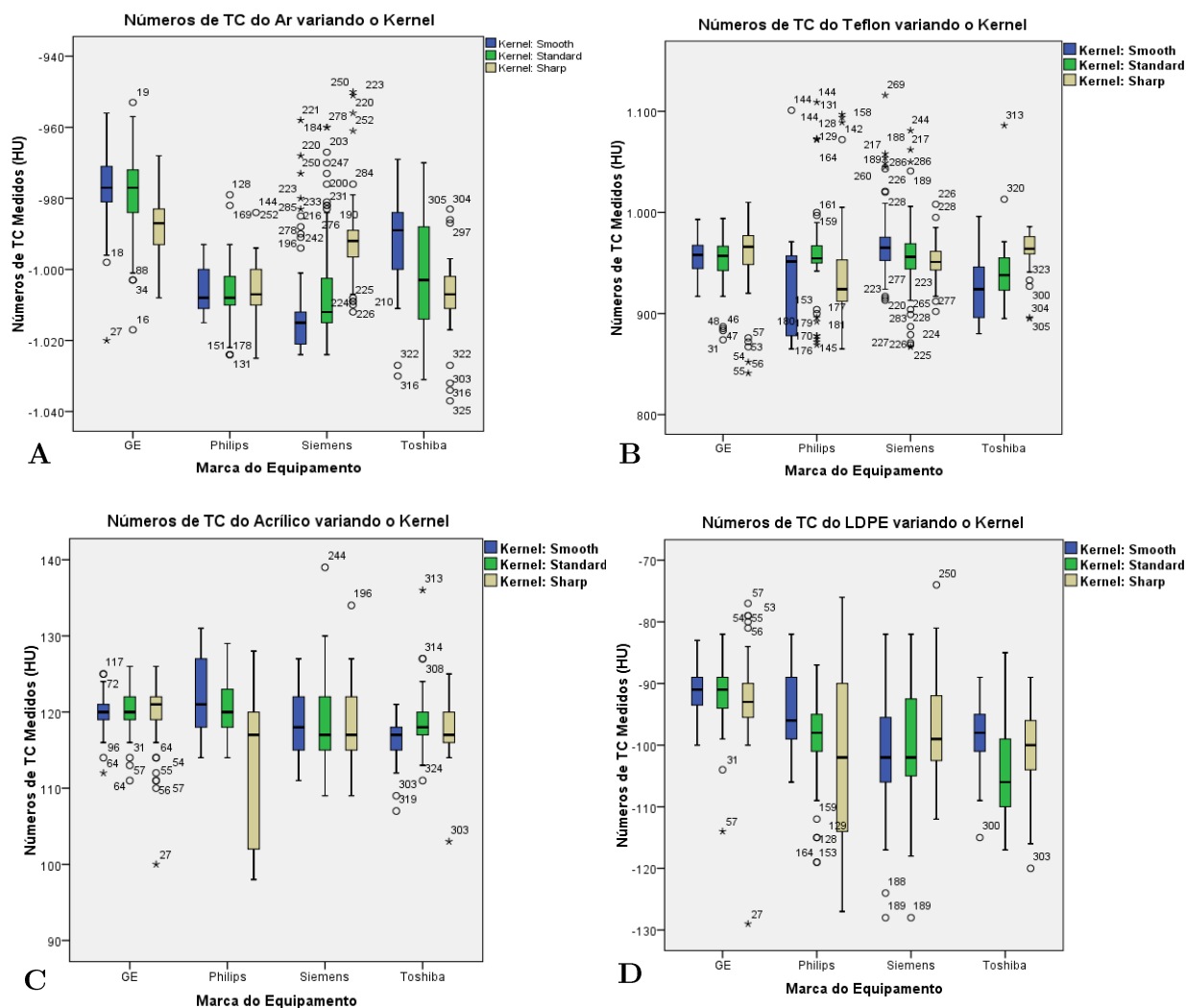


Figura 7.11 - Diagrama de extremos e quartis dos valores dos números de TC Medidos do [A] Ar, [B] Teflon, [C] Acrílico e [D] LDPE variando com o kernel e agrupado por marca do equipamento.

### 7.1.3 Resolução de Espacial

Na resolução espacial, também denominada de resolução de alto contraste, os valores de referência protocolados foram os definidos no Protocolo Espanhol de Controlo da Qualidade em Radiodiagnóstico, que considera o limite de referência de resolução espacial  $\geq 6$  pares de linhas por centímetro. Tendo em conta este limite, não foram encontradas não conformidades, registando-se 100% de medições conformes. O valor médio da resolução espacial, para as 330 medições, rondou os 9,26 lp/cm, e a amostra encontra compreendida entre 6 lp/cm e 12 lp/cm. Verificou-se que 75% dos casos têm uma frequência espacial abaixo de 10 lp/cm. Outros valores estatísticos para a resolução espacial encontram-se descritos na Tabela 7.13.

Tabela 7.13 – Resultados estatísticos das medições de resolução espacial.

Resolução Espacial (lp/mm)	
Dimensão da Amostra	330
Média	9,28 $\pm$ 0,08
Mediana	9,00
Desvio Padrão	1,37
Mínimo	6,00
Máximo	12,00
Intervalo Interquartil	2,00
Percentil 75 (3.ºQ)	10,00
Skewness	0,13 $\pm$ 0,13
Kurtosis	-0,51 $\pm$ 0,27

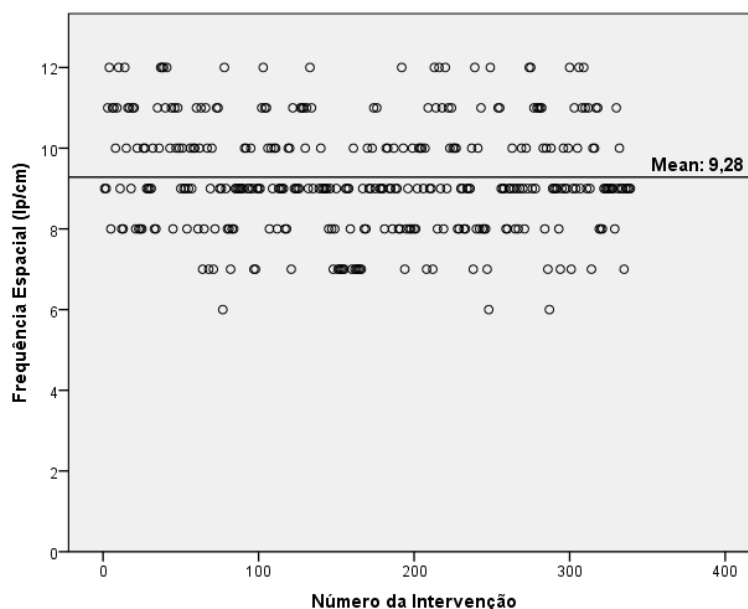


Figura 7.12 - Distribuição de todos os valores medidos de resolução espacial.

A distribuição dos valores medidos de frequência espacial tem um comportamento assimétrico negativo e leptocúrtico, o que revela uma homogeneidade dos valores medidos e uma tendência para estes se encontrarem abaixo do valor médio, conforme se observa na Figura 7.13 –A. O diagrama de extremos e quartis vem confirmar que todos os valores medidos para a resolução espacial se encontram distribuídos entre 6 lp/cm e 12 lp/cm.

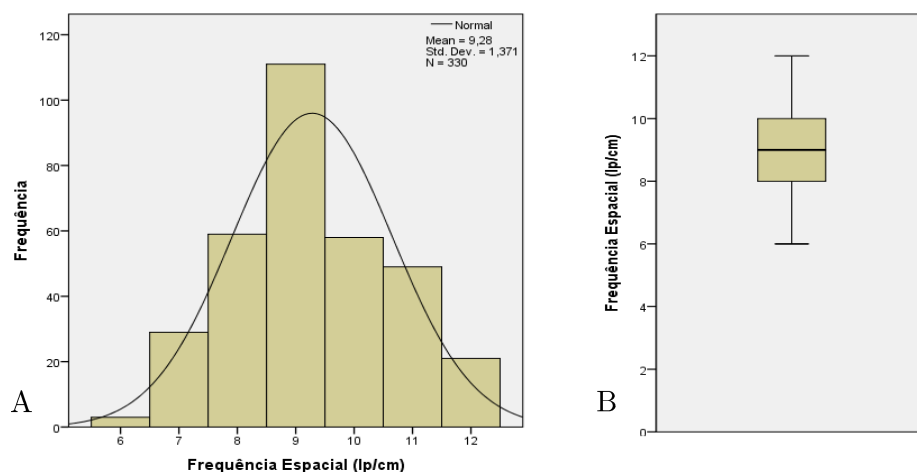


Figura 7.13 - [A] Histograma e [B] Diagrama de extremos e quartis de todos os valores obtidos de Resolução de Espacial.

### 7.1.3.1 Variação da Resolução de Espacial com a Marca do Equipamento

Observa-se na Tabela 7.14 uma constância nos resultados obtidos para as marcas GE, Philips e Toshiba ( $\approx 9$  lp/cm), tanto a nível da média como da mediana, apesar da dimensão da amostra ser diferente para cada marca de equipamento. Nos equipamentos da Siemens verifica-se uma frequência espacial superior, de 10 lp/cm. Todas as marcas de equipamento estão conforme os valores protocolados.

Tabela 7.14 - Resultados estatísticos da Resolução Espacial divididos por marca de equipamento.

Marca do Equipamento	Resolução Espacial (lp/cm)			
	GE	Siemens	Philips	Toshiba
Dimensão da Amostra	127	116	54	33
Média	9,18±0,11	9,73±0,14	8,67±0,16	9,09±0,23
Mediana	9,00	10,00	9,00	9,00
Desvio Padrão	1,25	1,46	1,18	1,33
Variância	1,56	2,13	1,39	1,77
Mínimo	6,00	6,00	6,00	7,00
Máximo	12,00	12,00	10,00	11,00
Intervalo Interquartil	2,00	2,00	1,00	2,00
Percentil 75 (3.ºQ)	10,00	11,00	9,00	10,00

Neste ponto, o resultado do teste *One-Way ANOVA* rejeita a hipótese nula da igualdade das médias, pois o  $p\text{-value}=0,000<0,05$  (Tabela 7.15). Desta forma, torna-se necessário fazer o teste de comparações múltiplas de *Tukey*, cujos resultados se encontram no Apêndice III-20. O teste de *Tukey* vem confirmar a não variação do valor médio da resolução espacial com as seguintes marcas de equipamento: GE, Philips e Toshiba, pois em todos os casos encontrou-se um  $p\text{-value}$

superior a 0,05. Quanto ao equipamento da marca Siemens, verificou-se que rejeita a hipótese nula de igual das médias, dado que o  $p\text{-value} < 0,05$ , pelo que se conclui que pelo menos um valor médio difere dos restantes para um nível de significância de 0,05. Estas evidências são, também, claras no gráfico da Figura 7.14.

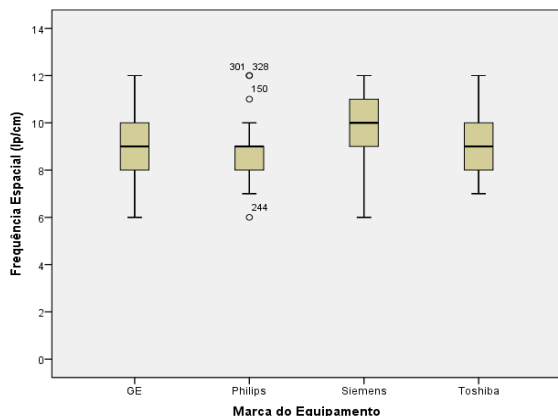


Figura 7.14 - Diagrama de extremos e quartis dos valores da resolução espacial agrupada por marca do equipamento.

Tabela 7.15 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da marca do equipamento na resolução espacial.

ANOVA					
Frequência Espacial (lp/cm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	46,513	3	15,504	8,832	,000
Within Groups	572,277	326	1,755		
Total	618,791	329			

### 7.1.3.2 Variação da Resolução Espacial com a Tensão de Aquisição

Neste caso, foram analisadas um total de 777 medições, realizadas com uma tensão de aquisição de 80, 120 e 140kV. Posto isto, constatou-se que não se verificam diferenças nos valores obtidos de frequência espacial com a variação da tensão, como se pode observar na Figura 7.15. É de referenciar que todos os casos se encontram dentro dos valores protocolados. Através da Tabela 7.16, verifica-se que os valores médios obtidos, a mediana, o valor mínimo e máximo, e o percentil 75 das três tensões, são iguais.

Tabela 7.16 - Resultados estatísticos da Resolução Espacial divididos por tensão de aquisição.

Resolução Espacial (lp/cm)			
Tensão (kV)	80	120	140
Dimensão da Amostra	251	319	207
Média	9,03±0,09	9,31±0,08	9,06±0,09
Mediana	9,00	9,00	9,00
Desvio Padrão	1,34	1,36	1,24
Mínimo	6,00	6,00	6,00
Máximo	12,00	12,00	12,00
Percentil 75 (3.ºQ)	10,00	10,00	10,00

Pelos resultados do teste *One-Way ANOVA* da Tabela 7.17, não se rejeita a hipótese nula da igualdade das médias do valor de resolução espacial, consoante a tensão de aquisição onde se efetuou a medição, uma vez que o  $p\text{-value} = 0,03 < 0,05$ . Apesar desse valor ser próximo de 0,05,

torna-se necessário fazer o teste de comparações múltiplas de *Tukey*, cujos resultados se encontram no Apêndice III-21. O teste de *Tukey* confirma a não variação das médias para os casos de variação entre as tensões.

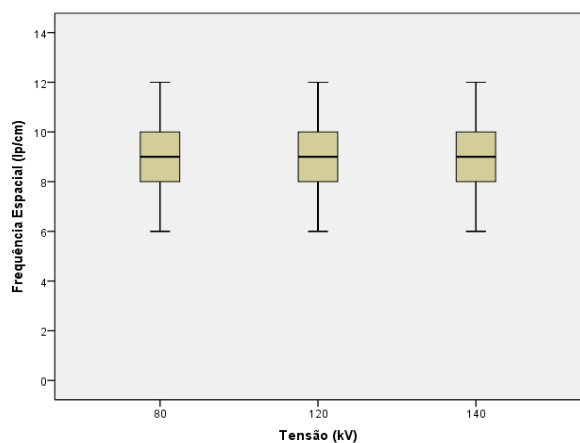


Figura 7.15 - Diagrama de extremos e quartis dos valores da resolução espacial agrupada por tensão de

Tabela 7.17 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da tensão de aquisição na resolução espacial.

ANOVA					
Frequência Espacial variando a Tensão					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12,953	2	6,476	3,703	,025
Within Groups	1353,822	774	1,749		
Total	1366,775	776			

### 7.1.3.3 Variação da Resolução Espacial com a Corrente

Para a avaliação da resolução espacial variando a corrente, foram realizadas medições para valores de corrente compreendidos entre 100 e 300 mA. Verificou-se que a frequência espacial média com uma corrente de 100 e 200 mA, é de 9 lp/cm, encontrando-se os valores obtidos compreendidos entre 6 e 12 lp/cm. Com uma corrente de 300 mA, 75% dos valores obtidos encontram abaixo de 11 lp/cm. Com o gráfico da Figura 7.16, pode-se concluir que o aumento da corrente de 100 mA para 300 mA origina um aumento da resolução espacial para 10 lp/cm. O mesmo se conclui pela análise da Tabela 7.18.

Neste caso, o teste *One-Way ANOVA*, indica que não existe igualdade de médias nas várias correntes (Tabela 7.19), dado que o  $p\text{-value} < 0,05$ . Desta forma, utilizou-se o teste de *Tukey* para analisar as diferenças entre as várias médias (Apêndice III-22). Este teste veio concluir que comparando os valores de corrente de 100 e 200 mA, existe igualdade entre as médias. Este facto, também, pode ser constatado pela Tabela 7.29. Para uma corrente de 300 mA, concluiu-se que existia diferenças significativas entre as médias, dado que se obteve um  $p\text{-value} = 1,000$ .

Tabela 7.18 - Resultados estatísticos da Resolução Espacial divididos por corrente.

Resolução Espacial (lp/cm)			
Corrente (mA)	100	200	300
Dimensão da Amostra	332	134	192
Média	8,78±0,07	8,78±0,09	9,70±0,10
Mediana	9,00	9,00	10,00
Desvio Padrão	1,35	1,15	1,44
Mínimo	6,00	6,00	6,00
Máximo	12,00	12,00	13,00
Percentil 75 (3.ºQ)	10,00	10,00	11,00

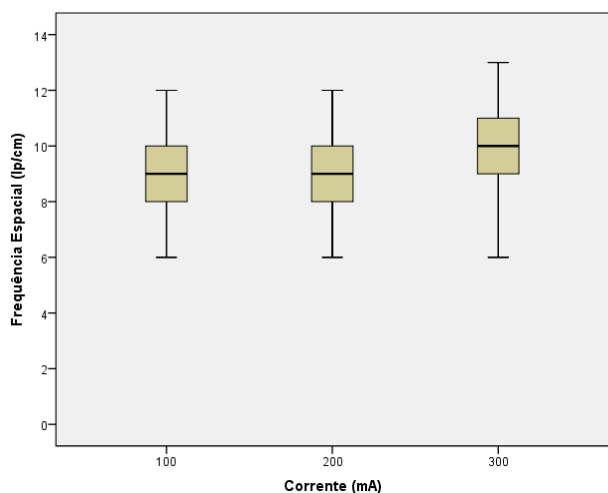


Figura 7.16 - Diagrama de extremos e quartis dos valores da resolução espacial agrupada por corrente.

Tabela 7.19 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da corrente na resolução espacial.

ANOVA					
Resolução Espacial variando a Corrente					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	113,756	2	56,878	31,745	,000
Within Groups	1173,589	655	1,792		
Total	1287,345	657			

### 7.1.3.4 Variação da Resolução Espacial com a Espessura de Corte

Os valores de espessura de corte utilizados, neste teste, foram inferiores a 10 mm, para que se pudesse avaliar a sua variação com a resolução espacial. Deste modo, pode-se observar na Figura 7.17, que a resolução de contraste varia de acordo com a espessura de corte, ou seja, com uma espessura de corte superior, a resolução espacial aumenta. Com uma espessura de corte de 7 a 9 mm, os valores de frequência espacial encontram-se compreendidos entre 7 e 12 lp/cm. Quanto às espessuras de corte inferiores, estas encontram-se entre 6 e 12 lp/cm. É de salientar, que todos os casos estão conforme os valores de referência protocolados. O resultado do teste *One-Way ANOVA*, expresso na Tabela 7.20, confirma a hipótese nula da igualdade das médias da frequência espacial nas várias espessuras de corte, pois o  $p\text{-value}=0,197 > 0,05$ .

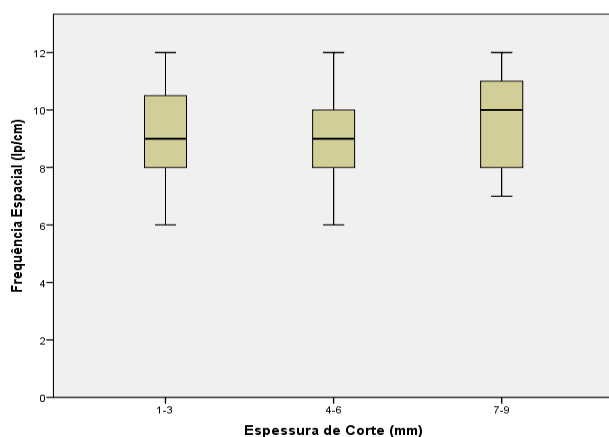


Figura 7.17 - Diagrama de extremos e quartis dos valores da resolução espacial agrupada por espessura de corte.

Tabela 7.20 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da espessura de corte na resolução espacial.

ANOVA					
Resolução Espacial variando a Espessura de Corte					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9,101	3	3,034	1,568	,197
Within Groups	628,729	326	1,935		
Total	637,830	329			

### 7.1.3.5 Variação da Resolução Espacial com o FOV

Para avaliar a variação da resolução espacial com o FOV foram analisadas 658 medições. Observou-se que com o aumento do FOV, a resolução espacial diminuía. Com um FOV de 100 mm e 200 mm, a resolução espacial média obtida foi de 10 lp/cm. E para um FOV de 400 mm, a frequência espacial média diminuiu para 7 lp/cm. Outros resultados estatísticos podem ser verificados na Tabela 7.21.

Tabela 7.21 - Resultados estatísticos da Resolução Espacial divididos por FOV.

FOV (mm)	Resolução Espacial (lp/cm)			
	100	200	300	400
Dimensão da Amostra	158	173	224	103
Média	10,26±0,12	9,49±0,11	8,55±0,11	6,95±0,13
Mediana	10,00	10,00	8,50	7,00
Desvio Padrão	1,55	1,47	1,61	1,35
Mínimo	6,00	6,00	6,00	6,00
Máximo	13,00	13,00	12,00	12,00
Percentil 75 (3.ºQ)	11,00	11,00	9,00	7,00

Analisando a Tabela 7.22, o  $p\text{-value}=0,000$  leva-nos à rejeição da hipótese da igualdade das médias, ao nível de significância de 0,05, concluindo-se que o FOV tem comportamentos distintos, no que se refere à resolução espacial. Assim, realizou-se o teste de comparações múltiplas de *Tukey*, cujos resultados se encontram no Apêndice III-23. Dos resultados obtidos do teste de *Tukey*, constatou-se que os valores médios obtidos de frequência espacial são diferentes para os quatro valores de FOV. Estas diferenças, também, são observadas na Tabela 7.21.

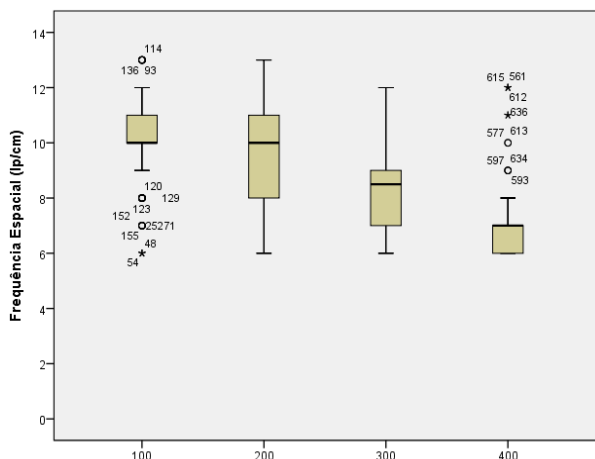


Figura 7.18 - Diagrama de extremos e quartis dos valores da resolução espacial agrupada por FOV (mm).

Tabela 7.22 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência do FOV na resolução espacial.

ANOVA					
Resolução Espacial variando o FOV					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	767,119	3	255,706	110,626	,000
Within Groups	1511,689	654	2,311		
Total	2278,809	657			

### 7.1.3.6 Variação da Resolução Espacial com o Kernel

Os kernels utilizados em cada uma das intervenções variam consoante a marca do equipamento, pelo que se verificou que não seria possível estabelecer uma correspondência exata do kernel padrão para cada marca. Assim, verificou-se a variação da resolução espacial para um kernel Smooth e um kernel Standard. O valor médio de frequência espacial para um kernel smooth foi de 6,3 lp/cm e um kernel standard foi de 7,1 lp/cm. Quanto ao kernel smooth, verificou-se 7 casos não conformes, ou seja, 2,1% da amostra apresenta valores fora dos protocolados. Com o kernel standard, todos os valores analisados estavam conformes.

Tabela 7.23 – Resultados estatísticos da Resolução Espacial divididos por Kernel.

Resolução Espacial (lp/cm)		
Kernel	Smooth	Standard
Dimensão	330	330
Média	6,30±0,04	7,08±0,03
Mediana	6,00	7,00
Desvio Padrão	0,70	0,61
Mínimo	5,00	6,00
Máximo	10,00	10,00
Percentil 75 (3.ºQ)	6,00	7,00

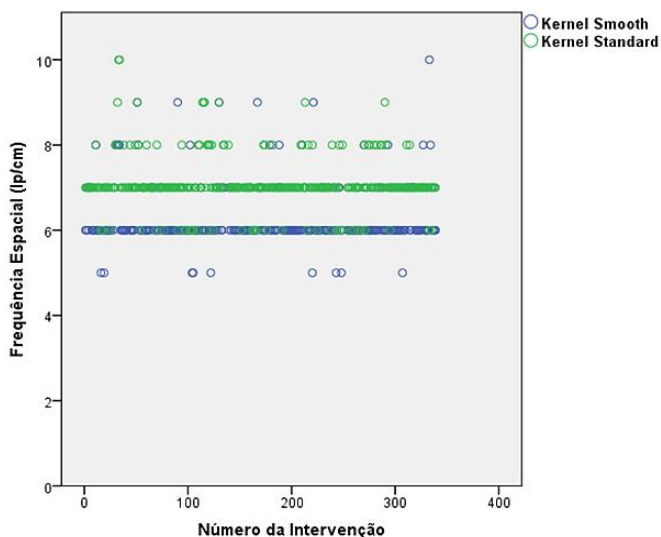


Figura 7.19 - Diagrama de dispersão valores de resolução de baixo contraste em função do Kernel.

### 7.1.4 Resolução de Baixo Contraste

No que se refere a este parâmetro, os valores de referência foram os descritos no Protocolo Espanhol de Controlo da Qualidade em Radiodiagnóstico, que considera o limite de contraste de pelo menos 9 mm, como sendo aceitável para a resolução de contraste a 1%. Quanto mais círculos são detetáveis, menor o tamanho do detalhe. Conseqüentemente, não foram detetadas não conformidades neste parâmetro, o que demonstra que os valores obtidos respeitam o valor de referência. A Figura 7.19 apresenta a distribuição de todos dos valores do limiar de visibilidade do contraste obtidos.

O valor médio do limiar de contraste encontrado foi de 2,5 mm, e os valores obtidos encontram-se todos no intervalo de 2 a 5 mm. Além disso, em 75% dos casos analisados encontravam-se abaixo de 3 mm. Outros valores estatísticos para o limiar de contraste encontram-se descritos na Tabela 7.24.

Tabela 7.24 – Resultados estatísticos para os valores de resolução de baixo contraste.

Resolução de Contraste a 1% (mm)	
Dimensão da Amostra	330
Média	2,45±0,04
Mediana	2,00
Desvio Padrão	0,67
Mínimo	2,00
Máximo	5,00
Intervalo Interquartil	1,00
Percentil 75 (3.ºQ)	3,00
Skewness	1,38 ±0,13
Kurtosis	1,31 ±0,27

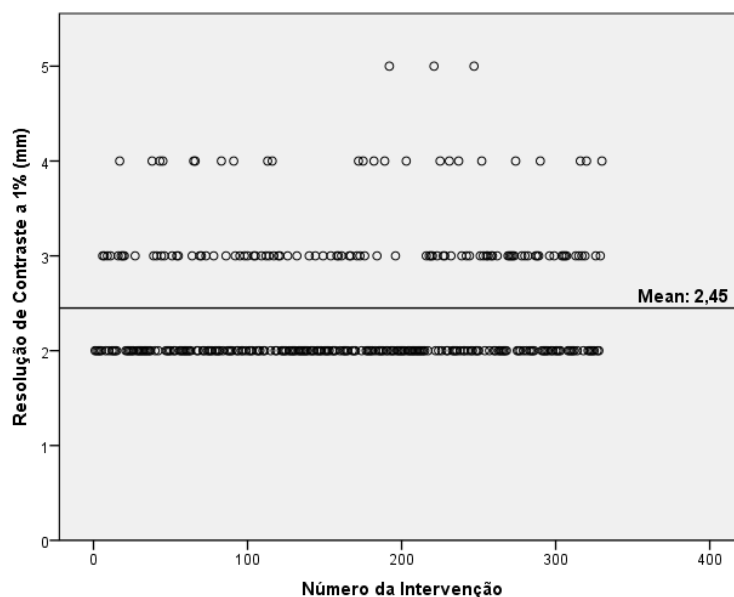


Figura 7.20 – Distribuição de todos os valores obtidos de resolução de baixo contraste.

Os valores do limiar de contraste obtidos apresentam uma distribuição leptocúrtica com assimetria positiva, como se pode verificar pela análise do Skewness e Kurtosis da Tabela 7.24. Isto significa que há uma grande homogeneidade nas medições e que, em geral, os valores se encontram abaixo da média, significando que o tamanho menor do detalhe observado é de 2 mm para um contraste de 1%.

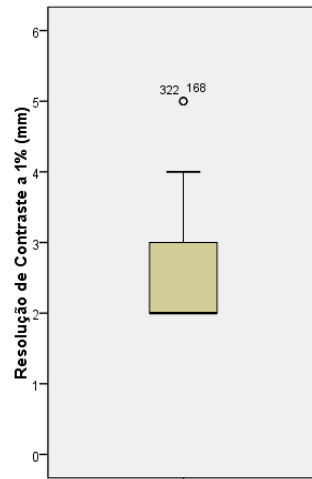


Figura 7.21 – Diagrama de extremos e quartis de todos os valores obtidos de Resolução de Baixo Contraste a 1%.

#### 7.1.4.1 Variação da Resolução de Contraste com a marca do equipamento

Observa-se na Tabela 7.25 uma constância nos resultados obtidos, tanto a nível da média e mediana, apesar da dimensão da amostra ser diferente para cada marca de equipamento. Nos equipamentos da Siemens, Philips e Toshiba verifica-se que os limiares de visibilidade do contraste dos valores obtidos encontram-se entre os 2 mm e os 5 mm e nos equipamentos da GE entre 2 mm e 4 mm.

Tabela 7.25 – Resultados estatísticos da Resolução de Baixo Contraste divididos por marca de equipamento.

Resolução de Contraste (mm)				
Marca do Equipamento	GE	Siemens	Philips	Toshiba
<b>Dimensão da Amostra</b>	127	116	54	33
<b>Média</b>	2,40±0,06	2,51±0,06	2,46±0,10	2,39±0,12
<b>Mediana</b>	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>Desvio Padrão</b>	0,63	0,67	0,75	0,70
<b>Variância</b>	0,40	0,44	0,56	0,49
<b>Mínimo</b>	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>Máximo</b>	4,00	5,00	5,00	5,00
<b>Intervalo Interquartil</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Percentil 75 (3.ºQ)</b>	3,00	3,00	3,00	3,00

Pelo resultado do teste *One-Way ANOVA* rejeita-se a hipótese nula da igualdade das médias do limiar de contraste para as várias marcas de equipamentos, pois o  $p\text{-value}=0,616$  (Tabela 7.26). Isto significa que entre cada marca, a média não varia, como se pode concluir na Tabela 7.25.

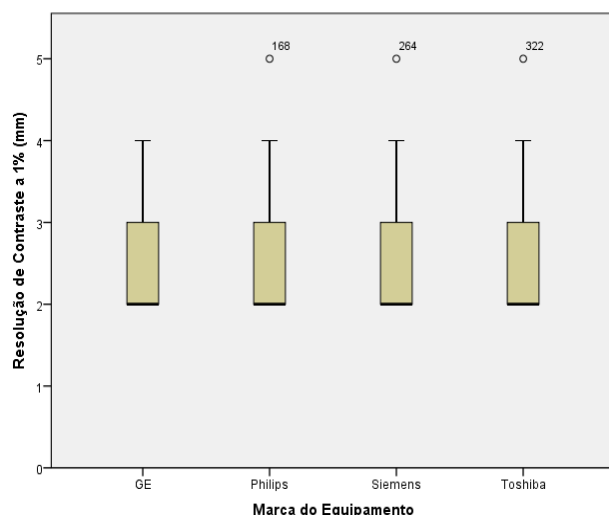


Figura 7.22 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de resolução de baixo contraste em função da marca dos equipamentos.

Tabela 7.26 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da marca dos equipamentos na resolução de baixo contraste.

ANOVA					
Resolução de Contraste a 1% (mm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,808	3	,269	,598	,616
Within Groups	146,816	326	,450		
Total	147,624	329			

#### 7.1.4.2 Variação da Resolução de Contraste com a Tensão de Aquisição

Neste caso, foram analisadas medições realizadas com uma tensão de 80, 120 e 140kV. Posto isto, constatou-se que com uma tensão de aquisição menor, a resolução de contraste a 1% é inferior, como se pode observar na Figura 7.23. No entanto, é de referir que todos os casos se encontram dentro dos valores protocolados. A 80 kV constata-se que o tamanho do menor detalhe é de 4 mm a 1% de contraste. Por sua vez, para uma tensão de 120 e 140 kV, a 1%, verifica-se que o tamanho do menor detalhe é de 2 mm. Outros valores estatísticos para o limiar de contraste encontram-se descritos na Tabela 7.27.

Tabela 7.27 - Resultados estatísticos da Resolução de Baixo Contraste de acordo com a tensão.

Tensão (kV)	Resolução de Contraste (mm)		
	80	120	140
Dimensão da Amostra	249	243	207
Média	3,67±0,07	2,43±0,04	2,36±0,05
Mediana	4,00	2,00	2,00
Desvio Padrão	1,11	0,65	0,67
Mínimo	2,00	2,00	2,00
Máximo	7,00	5,00	5,00
Percentil 75 (3.ºQ)	4,00	3,00	3,00

Pelos resultados do teste *One-Way ANOVA* da Tabela 7.28, não se rejeita a hipótese nula da igualdade das médias do valor de limiar de contraste, consoante a tensão de aquisição onde se efetuou a medição. Dado este resultado aplicou-se o teste de *Tukey* cujos resultados estão expressos no Apêndice III-24. O teste de *Tukey* vem confirmar as suspeitas da variação do valor

médio da resolução de contraste para uma tensão de aquisição de 80 kV, no entanto, comparando uma tensão de 120 com 140 kV encontrou-se um *p-value* superior a 0,05 (*p-value*=0,659), indicando que não existe variação entre as médias. Esta evidência é, também, clara no gráfico da Figura 7.23.

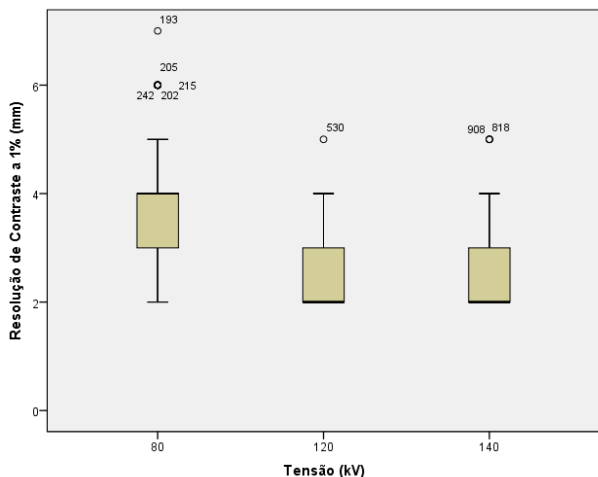


Figura 7.23 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de limiar de contraste em função da tensão de aquisição.

Tabela 7.28 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da tensão de aquisição na resolução de baixo contraste.

ANOVA					
Resolução de Contraste a 1% variando a Tensão					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	261,010	2	130,505	181,624	,000
Within Groups	500,106	696	,719		
Total	761,116	698			

### 7.1.4.3 Variação da Resolução de Contraste com a Corrente

Para a avaliação da resolução de baixo contraste variando a corrente, foram realizadas medições para valores de corrente compreendidos entre 100 e 300 mA. Verificou-se que a resolução de contraste com uma corrente de 100 e 200 mA, o limiar de visibilidade de contraste médio é de 3 mm, encontrando-se os valores obtidos compreendidos entre 2 e 7 mm. Com uma corrente de 300 mA, observou-se que 80,4% dos casos apresenta um tamanho do menor detalhe de 2 mm a 1% de contraste. O mesmo se conclui pela análise da Figura 7.24 e dos dados da Tabela 7.29.

Neste caso, o teste *One-Way ANOVA*, indica que não existe igualdade de médias nas várias correntes (Tabela 7.30), dado que o *p-value*<0,05. Como tal, utilizou-se o teste de *Tukey* para analisar as diferenças (Apêndice III-25). Este teste mostrou que comparando os valores de corrente de 100 e 200 mA, existe igualdade entre as médias, como se pode verificar pela Tabela 7.29. Para uma corrente de 300 mA, concluiu-se que existia diferenças significativas entre as médias.

Tabela 7.29 - Resultados estatísticos da Resolução de Baixo Contraste de acordo com a corrente.

Resolução de Contraste (mm)			
Corrente (mA)	100	200	300
Dimensão da Amostra	344	314	219
Média	3,39±0,06	3,41±0,07	2,26±0,04
Mediana	3,00	3,00	2,00
Desvio Padrão	1,04	1,29	0,59
Mínimo	2,00	2,00	2,00
Máximo	7,00	7,00	5,00
Percentil 75 (3.ºQ)	4,00	4,00	2,00

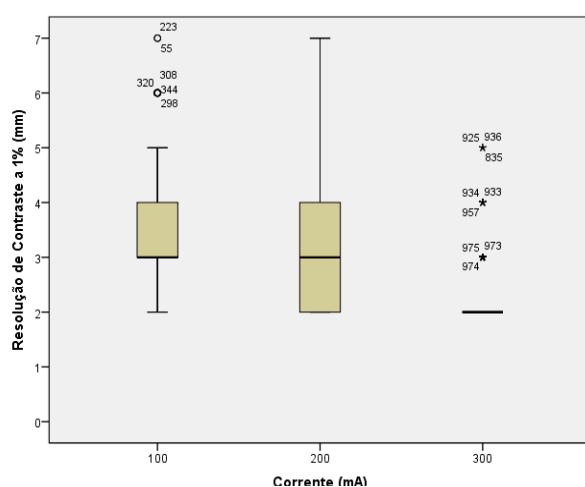


Figura 7.24 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de limiar de contraste em função da corrente.

Tabela 7.30 – Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da corrente na resolução de baixo contraste.

ANOVA					
Resolução de Contraste a 1% variando a Corrente					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	212,260	2	106,130	95,669	,000
Within Groups	969,565	874	1,109		
Total	1181,824	876			

#### 7.1.4.4 Variação da Resolução de Contraste com a Espessura de Corte

Os valores de espessura de corte utilizados, neste teste, foram inferiores ao do protocolo base (10 mm), para avaliar a sua variação com a resolução de contraste. Observa-se na Tabela 7.31 que a resolução de contraste varia de acordo com a espessura de corte. Rejeitou-se a hipótese nula de igualdade entre as médias, pois o *p-value* obtido foi nulo. Recorreu-se, novamente, ao teste de *Tukey*, expresso no Apêndice III-26, para se fazer comparações múltiplas, e verificou-se em muitos casos que as diferenças são estatisticamente significativas. Concluiu-se, através do gráfico da Figura 7.25, que quanto maior a espessura de corte, melhor é a resolução de contraste, uma vez que o tamanho do menor detalhe para um contraste de 1% é de 2mm, para uma espessura de corte entre 7 a 9 mm. É de salientar, que todos os casos estão conforme os valores de referência protocolados.

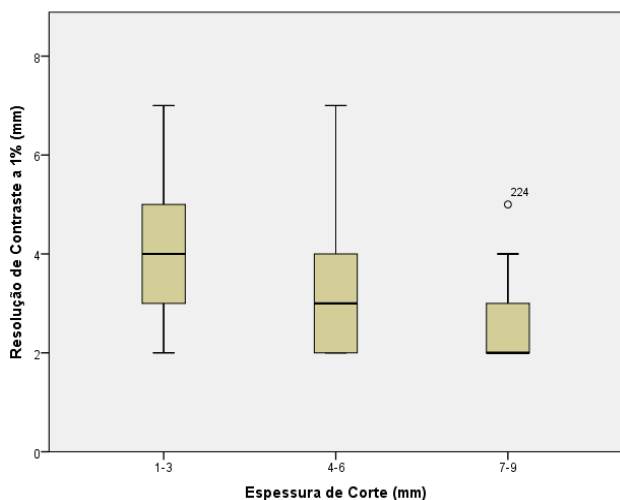


Figura 7.25 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de limiar de contraste em função da espessura de corte.

Tabela 7.31 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da espessura de corte na resoluo de baixo contraste.

ANOVA					
Resoluo de Contraste variando a Espessura de Corte					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	74,886	2	37,443	33,673	,000
Within Groups	362,494	326	1,112		
Total	437,380	328			

### 7.1.4.5 Variao da Resoluo de Contraste com o FOV

Neste teste foram obtidos resultados com janelas de visualizao diferentes. Registou-se 14 medioes com limiares de visibilidade de contraste longe dos valores médios. No entanto, dentro dos valores de referência protocolados. Observou-se que com um FOV de 400 mm, a resoluo de contraste diminuía, e para os valores de FOV de 100 mm, 200 mm e 300 mm, verificou-se uma homogeneidade dos resultados obtidos (2 mm). Concluiu-se, também, que apesar de se variar o FOV, o tamanho do detalhe encontra-se sempre compreendido entre 2 mm e 6 mm (Tabela 7.32).

Tabela 7.32 - Resultados estatísticos da Resoluo de Baixo Contraste de acordo com o FOV.

FOV (mm)	Resoluo de Contraste (mm)			
	100	200	300	400
Dimensão da Amostra	157	162	161	176
Média	2,43±0,06	2,45±0,06	2,42±0,05	2,70±0,06
Mediana	2,00	2,00	2,00	3,00
Desvio Padrão	0,75	0,71	0,67	0,64
Mínimo	2,00	2,00	2,00	2,00
Máximo	6,00	6,00	6,00	6,00
Percentil 75 (3.Q)	3,00	3,00	3,00	3,00

Analisando a Tabela 7.33, o *p-value*=0,001<0,05 e isso leva-nos  rejeio da hipótese da igualdade das médias, ao nível de significância de 0,05, concluindo-se que o FOV tem comportamentos distintos no que se refere  resoluo de contraste. Desta maneira, realizou-se o teste de comparaoes múltiplas de *Tukey* cujos resultados se encontram no Apêndice III-27, tendo-se constatado que os valores médios variam significativamente para um FOV de 400 mm. Com os restantes FOV concluiu-se que os valores médios são iguais entre si, como se verifica na Tabela 7.32.

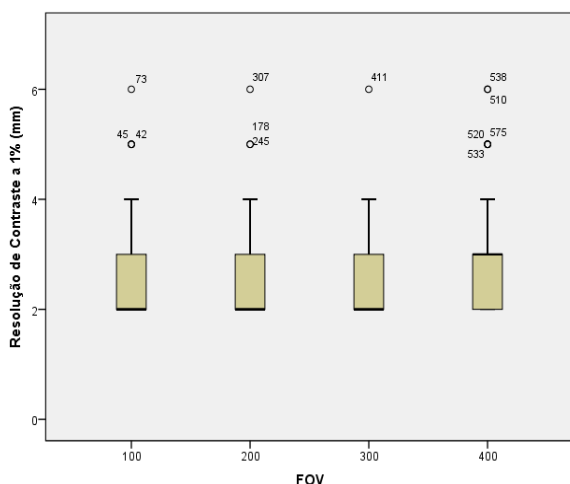


Figura 7.26 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de limiar de contraste em função do FOV (mm).

Tabela 7.33 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência do FOV na resolução de baixo contraste.

ANOVA					
Resolução de Contraste a 1% variando o FOV					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9,393	3	3,131	5,758	,001
Within Groups	354,569	652	,544		
Total	363,962	655			

### 7.1.4.6 Variação da Resolução de Contraste com o Kernel

Cada marca de equipamento apresenta o seu código específico para o Kernel Smooth e Sharp. No entanto, decidiu-se dividir em dois grupos de Kernel para simplificar o estudo. O valor médio do limiar de contraste encontrado foi de 2,6 mm para um Kernel Smooth e de 3,5 mm para um Kernel Sharp. Além disso, para um Kernel Smooth são visíveis diâmetros mínimos de 2 a 8 mm, a uma resolução de contraste de 1%. Isto significa que durante o teste de controlo foram detetados entre 9 a 3 círculos, respetivamente. Quanto ao Kernel Sharp, os valores obtidos variaram de 2 a 7 mm de diâmetro mínimo visível, como se pode verificar na Figura 7.27. Outros resultados estatísticos encontram-se descritos na Tabela 7.34.

Tabela 7.34 – Resultados estatísticos da Resolução de Baixo Contraste de acordo com o Kernel.

Resolução de Contraste (mm)		
Kernel	Smooth	Sharp
Dimensão da Amostra	330	330
Média	2,64±0,05	3,48±0,07
Mediana	2,00	3,00
Desvio Padrão	0,91	1,28
Mínimo	2,00	2,00
Máximo	8,00	7,00
Percentil 75 (3.ºQ)	3,00	4,00

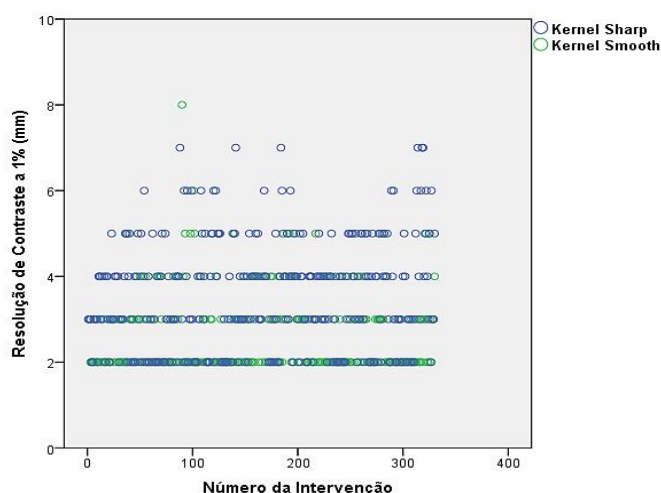


Figura 7.27 - Diagrama de dispersão valores de resolução de baixo contraste em função do Kernel.

### 7.1.5 Ruído

No que se refere a este parâmetro, a legislação considera o limite para a variação de ruído como sendo 20%. Foram efetuadas 330 medições, não sendo detetadas não conformidades, como se pode verificar na Figura 7.28.

Relativamente ao valor médio de ruído obtido foi de 1,1 %. Além disso, o percentil 75 situou-se em 1,3%, indicando que 75% das 330 medições se encontravam abaixo deste valor. Outros valores estatísticos para o ruído encontram-se expressos na Tabela 7.35.

Tabela 7.35 - Resultados estatísticos das medições de ruído.

Ruído (%)	
Dimensão da Amostra	330
Média	1,06 ±0,02
Mediana	1,05
Desvio Padrão	0,37
Mínimo	0,21
Máximo	2,28
Intervalo Interquartil	0,49
Percentil 75 (3.ºQ)	1,33
Skewness	-0,03±0,13
Kurtosis	0,13 ±0,27

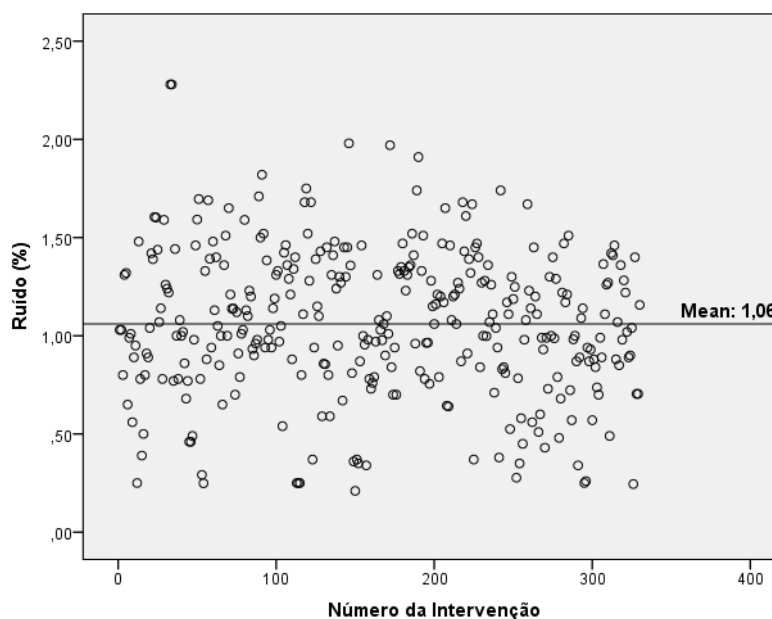


Figura 7.28 - Distribuição de todos os valores medidos de ruído.

A distribuição dos valores medidos de ruído tem um comportamento assimétrico positivo e mesocúrtico, o que revela uma homogeneidade dos valores medidos e uma tendência para estes se encontrarem abaixo do valor médio, conforme se observa na Figura 7.29. Os valores de ruído obtidos encontram-se entre 0,21% e 2,28%, sendo que 75% dos casos encontram-se abaixo de 1,3%.

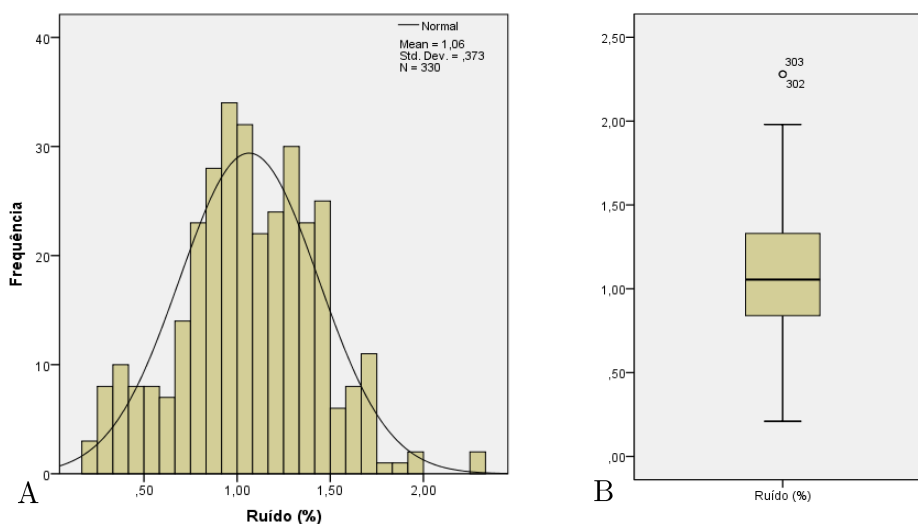


Figura 7.29 – [A] Histograma e [B] Diagrama de extremos e quartis de todos os valores obtidos de Ruído.

### 7.1.5.1 Variação do Ruído com a Marca do Equipamento

Neste caso, constatou-se que não existem desvios significativos dos valores obtidos de ruído de acordo com a marca do equipamento. O valor médio de ruído obtido é de aproximadamente 1% para todos os casos. Na marca Toshiba, a amplitude dos valores obtidos é superior, comparativamente às restantes marcas. E a marca GE e Siemens, apresentam 75% dos casos abaixo de 1,4%. Na Tabela 7.36 podem-se observar os resultados estatísticos do ruído para as várias marcas. De ressaltar que, em todas as marcas de equipamento, o valor médio encontrado respeita o limite legal de 20%.

Tabela 7.36 - Resultados estatísticos do Ruído de acordo com a marca do equipamento.

Marca do Equipamento	Ruído (%)			
	GE	Siemens	Philips	Toshiba
Dimensão da Amostra	127	116	54	33
Média	1,07±0,03	0,99±0,03	1,17±0,04	1,14±0,10
Mediana	1,07	1,00	1,19	1,21
Desvio Padrão	0,33	0,35	0,31	0,58
Variância	0,11	0,12	0,09	0,34
Mínimo	0,25	0,21	0,67	0,25
Máximo	1,69	1,91	1,98	2,28
Intervalo Interquartil	0,48	0,43	0,46	0,88
Percentil 75 (3.ºQ)	1,35	1,21	1,37	1,59

Pelo resultado do teste *One-Way ANOVA* da Tabela 7.37 rejeita-se a hipótese nula da igualdade das médias do ruído para as várias marcas de equipamentos ( $p\text{-value}=0,016<0,05$ ).

Consequentemente, efetuou-se o teste de comparações múltiplas de *Tukey* cujos resultados se encontram no Apêndice III-28. Este teste mostrou que comparando a marca Siemens com a Philips, os seus valores médios de ruído variam, uma vez que o valor do *p-value* obtido é inferior ao nível de significância de 0,05. Este facto, também, pode ser concluído através da Tabela 7.36, onde se verifica que os equipamentos da Siemens e da Philips apresentam médias ligeiramente mais afastadas. Relativamente, as restantes comparações entre marcas, verificou-se que os seus valores médios não variam.

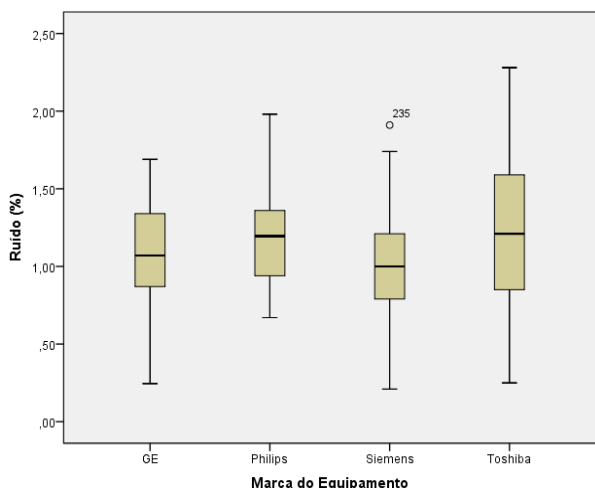


Figura 7.30 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de ruído em função da marca do equipamento.

Tabela 7.37 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da marca do equipamento no ruído.

ANOVA					
Ruído					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,436	3	,479	3,514	,016
Within Groups	44,393	326	,136		
Total	45,829	329			

### 7.1.6 Uniformidade

Relativamente a este parâmetro, os valores de referência foram os mencionados no Programa de Garantia da Qualidade em Tomografia Computorizada, da Agência Internacional de Energia Atómica. O critério de aceitabilidade da uniformidade deste programa é de  $\pm 10$  HU.

Foram efetuadas 330 medições para o teste da uniformidade e obtidos 99,4% de conformidades e 0,6% de casos não conformes. O valor médio de uniformidade encontrado foi de -1,56 HU. Os valores obtidos estão compreendidos entre -12,4 HU e 8,8 HU. Através da Figura 7.31, pode-se verificar que metade dos valores obtidos, se encontra entre -2,8 HU e 0,7 HU. Em 75% dos casos analisados encontravam-se abaixo de 0,7 HU. Outros valores estatísticos para a uniformidade encontram-se descritos na Tabela 7.38.

O histograma dos valores de uniformidade obtidos (Figura 7.32 - A) apresenta uma distribuição leptocúrtica com assimetria positiva, o que significa que há uma grande homogeneidade nas medições e que, em geral, os valores se encontram abaixo da média.

Tabela 7.38 - Resultados estatísticos das medições de uniformidade.

Uniformidade (HU)	
Dimensão da Amostra	330
Média	-1,56±0,18
Mediana	-1,60
Desvio Padrão	3,24
Mínimo	-12,40
Máximo	8,80
Intervalo Interquartil	3,53
Percentil 75 (3.ºQ)	0,73
Skewness	-0,37±0,13
Kurtosis	1,05±0,27

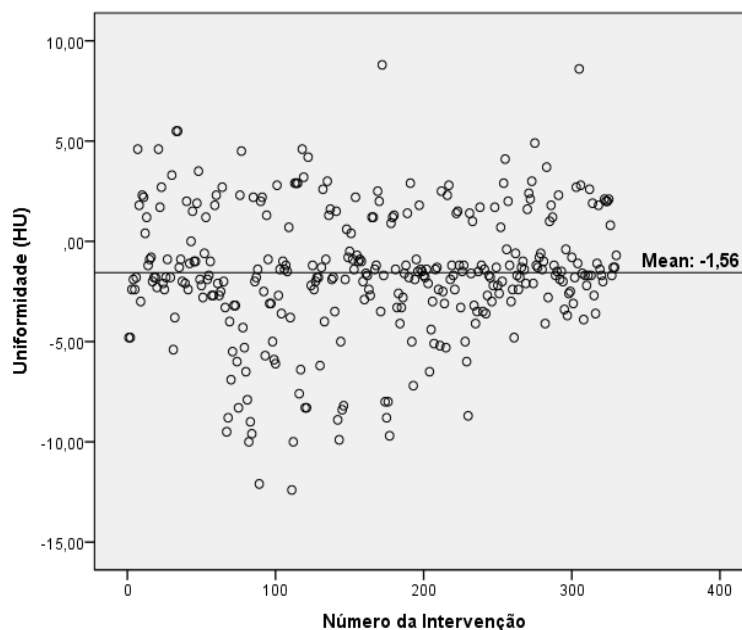


Figura 7.31 - Distribuição de todos os valores medidos de uniformidade.

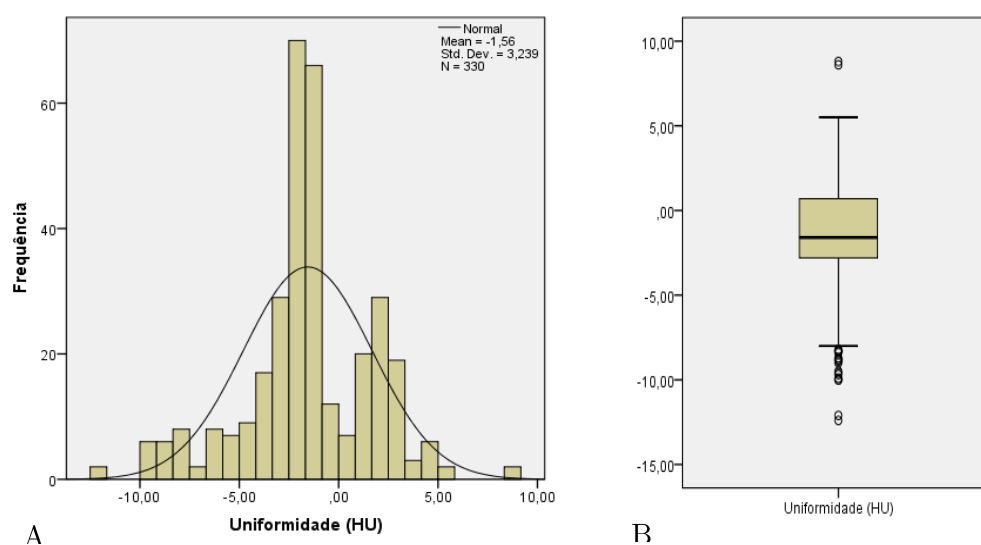


Figura 7.32 – [A] Histograma e [B] Diagrama de extremos e quartis de todos os valores obtidos de Uniformidade.

### 7.1.6.1 Variação da Uniformidade com a Marca do Equipamento

Observa-se na Tabela 7.39, que a uniformidade varia com a marca do equipamento. Dos resultados obtidos, o equipamento com o valor médio de uniformidade inferior é o da Philips. Através do gráfico da Figura 7.33, é possível verificar que os equipamentos da GE e da Siemens, apresentam uma distribuição dos valores obtidos semelhante. Na Tabela 7.39, observa-se os resultados estatísticos da uniformidade para as várias marcas. De ressaltar que, nas marcas de

equipamento da GE, Siemens e Toshiba, o valor médio encontrado respeita o limite de referência de  $\pm 10$  HU, e da amostra correspondente aos equipamentos da Philips, dois casos não se encontravam conformes.

Tabela 7.39 - Resultados estatísticos da Uniformidade de acordo com a marca do equipamento.

Uniformidade (HU)				
Marca do Equipamento	GE	Siemens	Philips	Toshiba
Dimensão da Amostra	127	116	54	33
Média	-0,89 $\pm$ 0,18	-0,87 $\pm$ 0,19	-5,90 $\pm$ 0,47	0,58 $\pm$ 0,69
Mediana	-1,40	-1,35	-6,05	2,00
Desvio Padrão	2,06	2,09	3,43	3,98
Variância	4,25	4,39	11,76	15,87
Mínimo	-5,70	-5,30	-12,40	-8,30
Máximo	8,60	4,60	3,70	8,80
Intervalo Interquartil	2,80	2,65	4,60	6,30
Percentil 75 (3.ºQ)	0,80	0,55	-3,87	3,25

O resultado do teste *One-Way ANOVA* apresentado na Tabela 7.40, indica que não existe igualdade de médias nas várias marcas de equipamento. E, como tal, utilizou-se o teste de *Tukey* para analisar as diferenças (Apêndice III-29). Este teste vem confirmar as suspeitas da variação do valor médio da uniformidade para as marcas da Philips e Toshiba. No entanto, para as marcas da GE e Siemens, vem demonstrar que as médias obtidas são iguais, uma vez que o *p-value* > 0,05. O mesmo se conclui pela análise da Figura 7.33 e dos dados da Tabela 7.39.

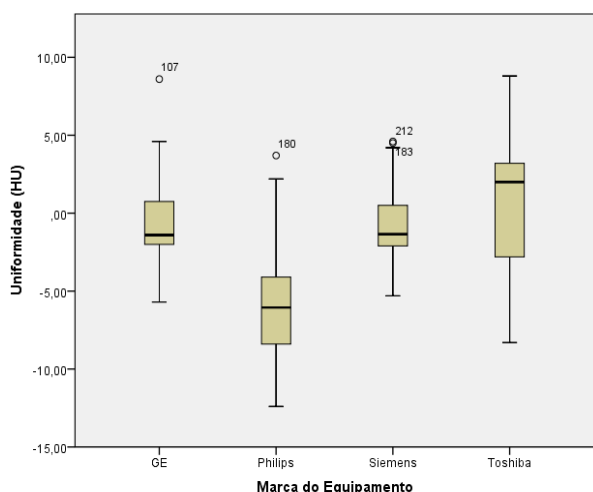


Figura 7.33 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de uniformidade em função da marca do equipamento.

Tabela 7.40 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da marca do equipamento na uniformidade.

ANOVA					
Uniformidade					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1278,924	3	426,308	63,997	,000
Within Groups	2171,613	326	6,661		
Total	3450,538	329			

## 7.2 Índice de Dose em Tomografia Computorizada

Para o índice de dose em tomografia computadorizada foram efetuadas 330 medições num fantoma de cabeça e 330 medições num fantoma de corpo. As medições foram divididas de acordo com o fantoma utilizado, a marca do equipamento e a tensão de aquisição. De referir que, neste sub-capítulo, ao analisar o débito de dose, salvo indicação em contrário, os valores comparados são os débitos de dose médios encontrados na amostra de dados. O índice de dose analisado foi normalizado para uma corrente de 200 mA, para melhor caracterização dos valores de dose medidos. Atendendo ao Decreto-Lei n.º 180/2002, os valores de dose medidos não devem desviar-se mais de  $\pm 20\%$  do valor de dose dado pelo equipamento (CTDI<sub>w</sub> Referência).

### 7.2.1 CTDI<sub>w</sub> na Cabeça

Neste teste fez-se variar a tensão de aquisição de 80 kV a 140 kV e avaliou-se o índice de dose. Como cada marca de equipamento possui parâmetros técnicos específicos, nem sempre foi possível utilizar a mesma tensão. Assim, após a recolha dos dados e para este estudo, dividiu-se a amostra consoante o valor da tensão, nomeadamente, em três grupos: 80-90 kV, 110-120 kV e 130-140 kV. Posteriormente, observou-se a sua variação entre a dose medida e a dose de referência. O valor médio do índice de dose em tomografia computadorizada, no fantoma de cabeça, para uma tensão de 80-90 kV foi de  $\sim 15$  mGy, para uma tensão de 110-120 kV foi de  $\sim 35$  mGy e para uma tensão de 130-140 kV foi de  $\sim 48$  mGy. Face aos resultados que dispomos, obteve-se um total de 330 medições para cada grupo de tensão, sendo que, para uma tensão de 80-90 kV e 110-120 kV, a amostra encontrava-se conforme em 98,5% e, para uma tensão de 130-140 kV, obteve-se 97,9% de conformidades. Na Figura 7.34, pode-se observar a distribuição dos valores de dose medidos nas várias intervenções com o fantoma de cabeça e segundo as tensões de aquisição utilizadas. Tal como era esperado, com menores tensões, as doses geradas são inferiores às que são resultantes de maiores tensões, sendo que de 80-90 kV para 130-140 kV verificou-se um aumento de 220% da dose média medida.

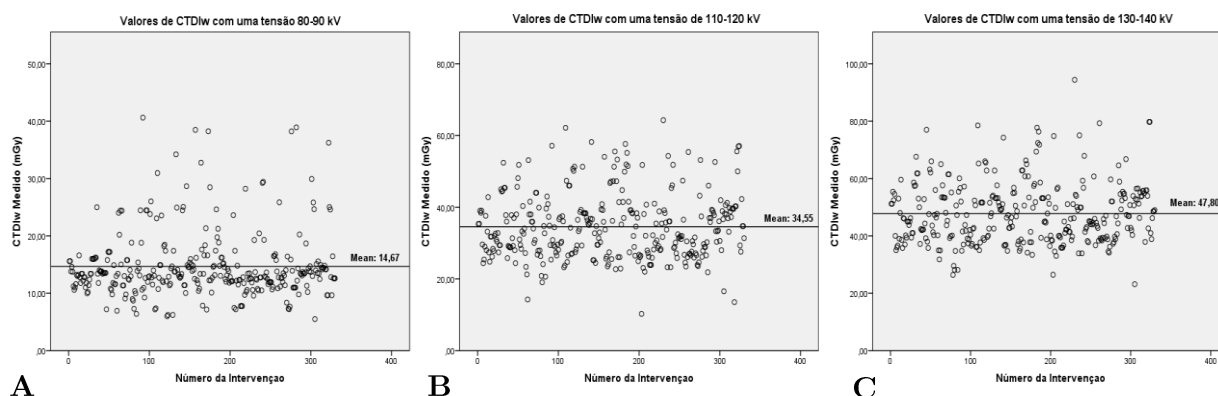


Figura 7.34 - Distribuição dos valores de dose medidos nas várias intervenções com o fantoma de cabeça e segundo as tensões de aquisição utilizadas: [A] 80-90 kV, [B] 110-120 kV, [C] 130-140 kV.

Na Tabela 7.41, Tabela 7.42 e Tabela 7.43 encontram-se descritos os valores de dose de referência, ou seja, os valores de dose fornecidos pelos tomógrafos, e os valores de dose medidos com o auxílio do dosímetro *Raysafe X2 CT*, de acordo com a tensão de aquisição aplicada. Analisando os histogramas e as tabelas dos índices de dose de referência e medido para as diferentes tensões, constatou-se que existe uma similaridade dos valores obtidos tanto ao nível da média, como do percentil 75, dentro de cada grupo de tensão. Isto significa que a maioria dos equipamentos de Portugal, após a seleção do protocolo de exame a realizar, indica corretamente o valor de dose de referência.

Para as diferentes tensões observou-se padrões de distribuição semelhantes, uma vez que, para os três grupos de tensão (Figura 7.35, Figura 7.36, Figura 7.37), verificou-se uma distribuição assimétrica positiva. Para uma tensão de 110-120 kV e de 130-140 kV a distribuição apresentou-se leptocúrtica, isto é, ligeiramente afuniladas em relação à curva normal, o que se traduz, numa elevada homogeneidade de valores que se situam sensivelmente abaixo da média. Contrariamente, para uma tensão de 80-90 kV, a distribuição mostrou-se mesocúrtica.

Tabela 7.41 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 80-90 kV.

Protocolo de Cabeça									
Tensão de Aquisição 80-90 kV									
CTDI <sub>w</sub> (mGy)	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)	Skewness	Kurtosis
CTDI <sub>w</sub> Referência	13,89 ±0,20	14,20	3,66	6,60	30,40	2,82	15,01	1,41±0,13	4,90±0,27
CTDI <sub>w</sub> Medido	14,67 ±0,32	13,38	5,73	5,50	40,62	3,85	15,65	2,03±0,13	5,12±0,27

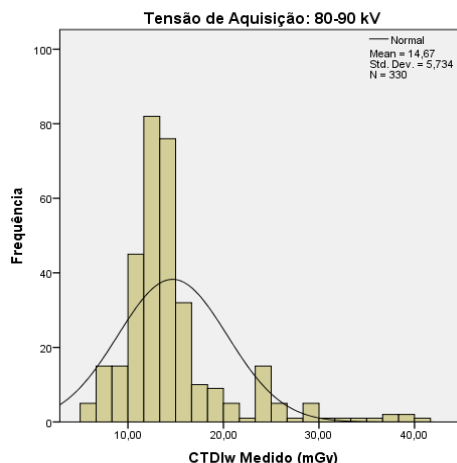


Figura 7.35 – Histograma dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 80 kV a 90 kV, com o protocolo de cabeça.

Tabela 7.42 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 110-120 kV.

Protocolo de Cabeça									
Tensão de Aquisição 110-120 kV									
CTDI <sub>w</sub> (mGy)	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)	Skewness	Kurtosis
CTDI <sub>w</sub> Referência	35,00 ±0,43	33,33	7,83	14,78	69,20	11,36	40,16	0,73±0,13	0,76±0,27
CTDI <sub>w</sub> Medido	34,55 ±0,49	33,22	9,02	10,24	64,28	11,22	40,16	0,70±0,13	0,39±0,27

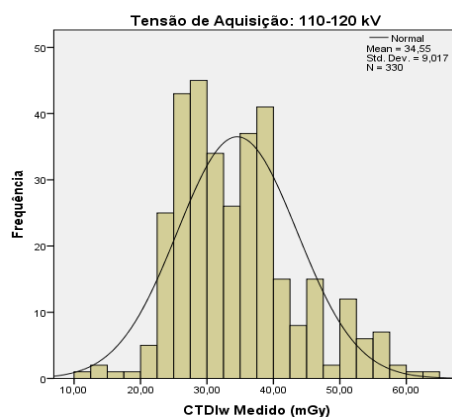


Figura 7.36 - Histograma dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 110 kV a 120 kV, com o protocolo de cabeça.

Tabela 7.43 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 130-140 kV.

Protocolo de Cabeça									
Tensão de Aquisição 130-140 kV									
CTDI <sub>w</sub> (mGy)	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)	Skewness	Kurtosis
CTDI <sub>w</sub> Referência	49,18 ±0,51	46,81	9,35	28,20	87,40	12,22	55,42	0,93±0,13	1,79±0,27
CTDI <sub>w</sub> Medido	47,80 ±0,59	46,21	10,67	23,16	94,42	14,40	53,80	0,91±0,13	1,27±0,27

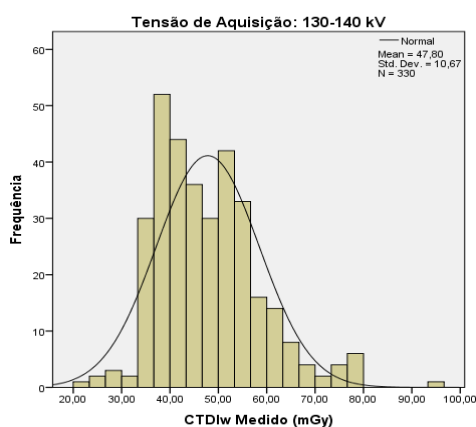


Figura 7.37 – Histograma dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 130 kV a 140 kV, com o protocolo de cabeça.



Tabela 7.44 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 80-90 kV, utilizando um protocolo de cabeça e de acordo com a marca do equipamento.

CTDI <sub>w</sub> Medido (mGy) - Protocolo de Cabeça									
Marca	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)	Skewness	Kurtosis
GE 80 kV	14,89 ±0,49	13,52	5,62	5,50	40,62	2,68	14,88	2,67 ±0,22	8,28 ±0,43
Siemens 80 kV	13,69 ±0,52	12,83	5,57	6,00	38,48	2,79	13,96	2,06 ±0,23	5,58 ±0,45
Philips 90 kV	13,84 ±0,81	12,23	5,94	6,40	38,92	3,77	14,38	2,28 ±0,33	5,95 ±0,64
Toshiba 80 kV	18,59 ±0,84	17,20	4,83	9,80	30,96	4,77	20,77	1,01 ±0,41	0,99 ±0,79

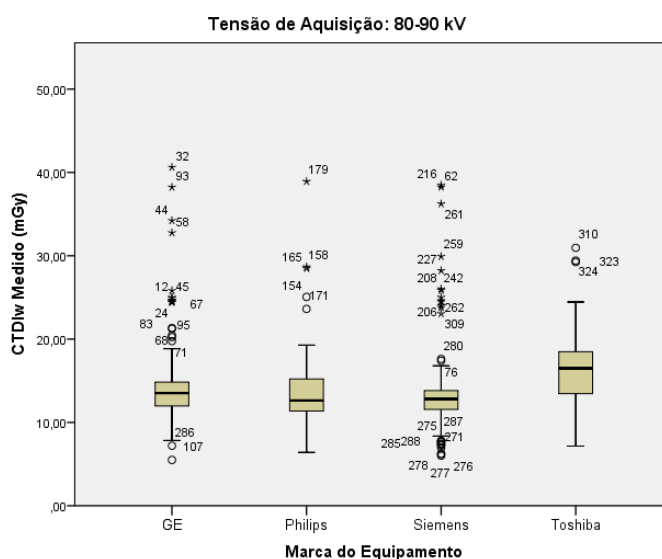


Figura 7.39 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 80-90 kV e um protocolo de cabeça em função da marca do equipamento.

Tabela 7.45 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 110-120 kV, utilizando um protocolo de cabeça e de acordo com a marca do equipamento.

CTDI <sub>w</sub> Medido (mGy) - Protocolo de Cabeça									
Marca	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)	Skewness	Kurtosis
GE 120 kV	37,75 ±0,62	37,44	6,99	13,52	57,64	6,56	39,90	0,40 ±0,22	2,15 ±0,43
Siemens 110 kV	29,84 ±0,68	28,26	7,39	10,24	57,06	4,61	30,69	1,68 ±0,23	4,47 ±0,45
Philips 120 kV	29,95 ±1,01	27,99	7,38	19,06	64,28	7,02	32,99	2,41 ±0,33	8,81 ±0,64
Toshiba 120 kV	46,30 ±1,32	46,10	7,59	21,86	62,14	7,48	51,28	-0,87 ±0,41	2,39 ±0,79

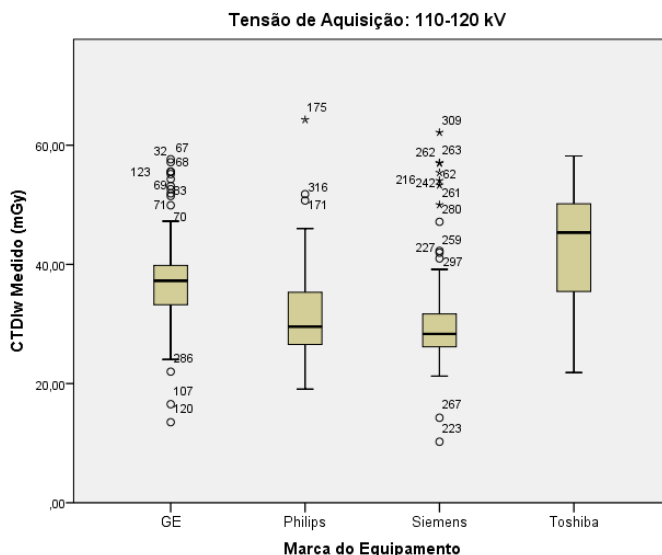


Figura 7.40 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 110-120 kV e um protocolo de cabeça em função da marca do equipamento.

Tabela 7.46 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 130-140 kV, utilizando um protocolo de cabeça e de acordo com a marca do equipamento.

CTDI <sub>w</sub> Medido (mGy) - Protocolo de Cabeça									
Marca	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)	Skewness	Kurtosis
GE 140 kV	52,19 ±0,69	52,38	7,75	23,16	77,74	7,98	55,66	0,45 ±0,22	2,78 ±0,43
Siemens 130 kV	41,99 ±0,81	39,97	8,71	26,46	79,76	5,92	43,14	2,77 ±0,23	9,53 ±0,45
Philips 140 kV	42,19 ±1,45	39,98	10,65	26,40	94,42	8,66	45,52	2,72 ±0,33	11,32 ±0,64
Toshiba 135 kV	60,50 ±1,29	61,80	7,47	45,98	78,52	9,72	65,39	-0,06 ±0,41	0,24 ±0,79

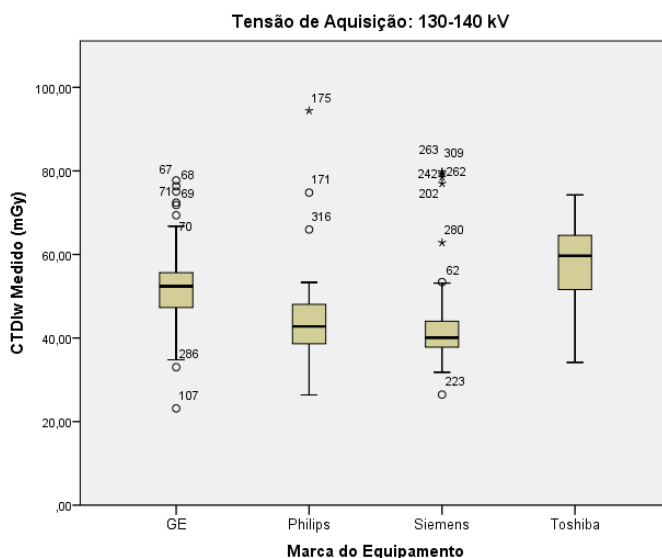


Figura 7.41 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 130-140 kV e um protocolo de cabeça em função da marca do equipamento.

### 7.2.1.2 Variação no tempo do CTDI<sub>w</sub>

Os dados resultantes deste estudo são referentes aos anos de 2014 a 2017. No entanto, o ano de 2017 não foi contabilizado para esta análise, uma vez que a amostra era pouco significativa. O teste *One-Way ANOVA* efetuado, cujos resultados se encontram expressos na Tabela 7.47, confirma a não variação dos índices de dose medidos com o fantoma de cabeça, ao longo dos anos das intervenções, para as tensões de aquisição de 110-120 kV e de 130-140 kV. Através dos gráficos da Figura 7.42 - B e C, pode-se verificar que os valores de dose medidos são constantes ao longo do tempo, não se observando variações significativas. A hipótese nula de igualdade entre médias não foi rejeitada, pois o *p-value* obtido foi superior a 0,05. Já no que diz respeito, ao estudo da variação do índice de dose medidos ao longo do tempo, para uma tensão de 80-90 kV, verificou-se que existe variação entre o ano de 2014 e os restantes anos (Figura 7.42 – A). Comparando os anos de 2015 e 2016, verificou-se uma distribuição dos valores obtidos semelhante. O teste *One-Way ANOVA* rejeitou a hipótese nula de igualdade entre as médias ( $p\text{-value}=0,002<0,05$ ), para a tensão de 80-90 kV e, desta forma, recorreu-se ao teste de *Tukey*, cujos resultados estão expressos no Apêndice III-30. O teste de *Tukey* confirmou que, o ano de 2014, apresenta valores de dose ligeiramente diferentes dos dois anos consecutivos. Assim, considerando que os mais modernos equipamentos de tomografia computadorizada comercializados têm, supostamente, índice de dose inferiores, poder-se-á constatar que não existe uma evolução significativa do parque tecnológico português, referente a este tipo de equipamentos.

Tabela 7.47 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência do ano de intervenção no CTDI<sub>w</sub> com o protocolo de cabeça e de acordo com a tensão utilizada.

<b>ANOVA</b>						
CTDI <sub>w</sub> Medido (mGy)		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tensão 80-90 kV	Between Groups	482,004	3	160,668	5,068	,002
	Within Groups	10334,461	326	31,701		
	Total	10816,465	329			
Tensão 110-120 kV	Between Groups	219,767	3	73,256	,900	,441
	Within Groups	26532,047	326	81,387		
	Total	26751,814	329			
Tensão 130-140 kV	Between Groups	323,432	3	107,811	,947	,418
	Within Groups	37129,780	326	113,895		
	Total	37453,211	329			

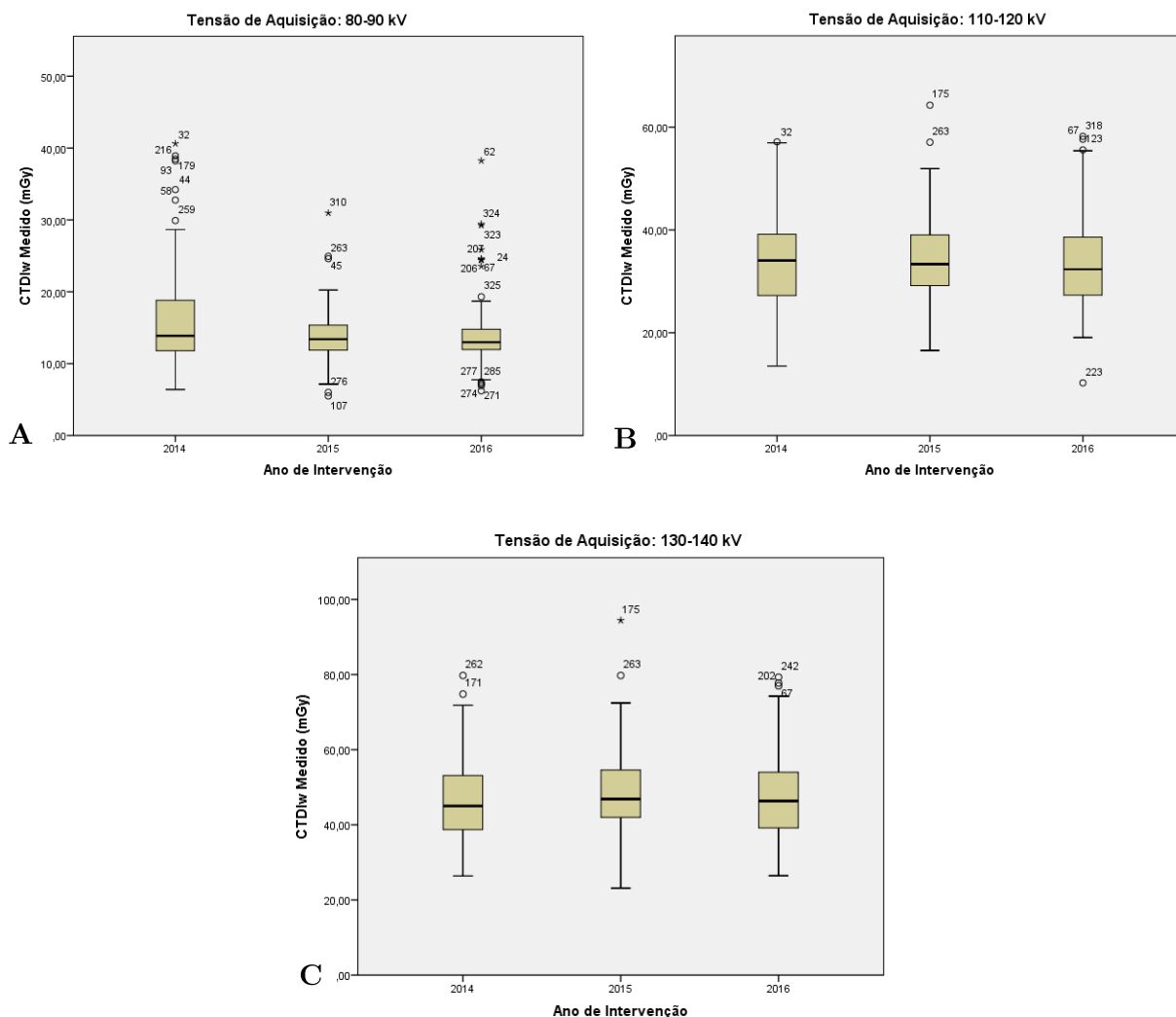


Figura 7.42 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos distribuídos em função do ano de intervenção e de acordo com a tensão de aquisição utilizada: [A] 80-90 kV, [B] 110-120 kV e [C] 130-140 kV.

### 7.2.2 CTDI<sub>w</sub> no Corpo

Com o fantoma de corpo, também, foram efetuadas 330 medições em 180 equipamentos de TC distintos, com valores de tensão compreendidos entre 80 kV e 140 kV. No entanto, como cada marca de equipamento possui valores de tensão específicos, decidiu-se agrupar os valores de tensão nos seguintes três grupos: 80-90 kV, 110-120 kV e 130-140 kV. Contabilizou-se 97,9% de conformidades para as tensões de 80-90 kV e 130-140 kV e, para a tensão de 110-120 kV, verificou-se 99,1% de casos conformes. Através da Figura 7.43, pode-se analisar a distribuição de todos os valores de dose medidos consoante a tensão de aquisição utilizada. O valor médio de dose obtido, para uma tensão de 80-90 kV foi de ~7 mGy, para uma tensão de 110-120 kV foi de ~18 mGy e para uma tensão de 130-140 kV foi de ~25 mGy.

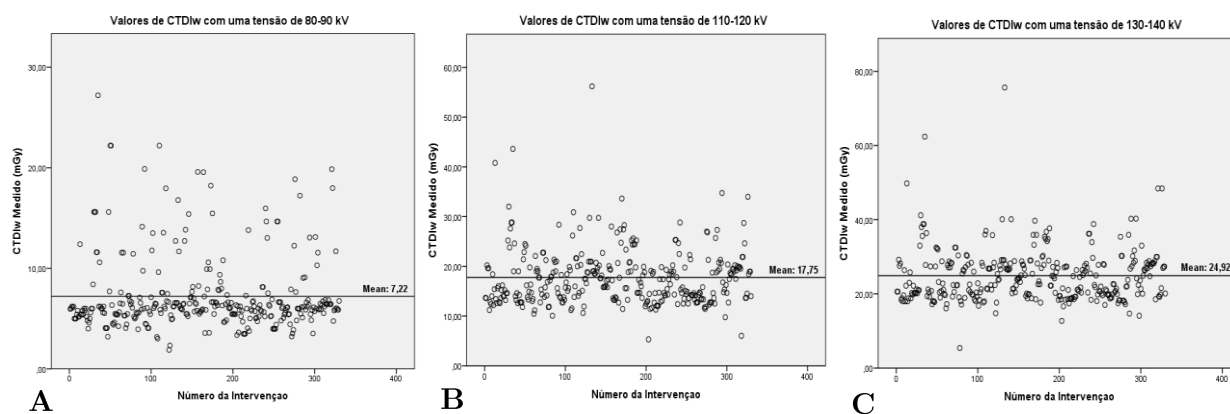


Figura 7.43 - Distribuição dos valores de dose medidos nas várias intervenções com o fantoma de corpo e segundo as tensões de aquisição utilizadas: [A] 80-90 kV, [B] 110-120 kV, [C] 130-140 kV.

Pelos resultados expressos na Tabela 7.48, Tabela 7.49 e Tabela 7.50 e pela análise dos gráficos da Figura 7.44, Figura 7.45 e Figura 7.46 pode-se concluir que os valores médios de dose variam significativamente e que, de 80 kV para 140 kV, a dose aumentou em 245%. Esta diferença sugere que deverá ser sempre bem ponderada a necessidade de aumentar a tensão nos protocolos clínicos, pois esta está associada a um aumento muito significativo da dose no paciente. Aqui encontramos um ponto de partida para futuros estudos de otimização de dose, com recurso à redução da tensão utilizada nos protocolos.

Os histogramas dos valores de dose (Figura 7.44, Figura 7.45 e Figura 7.46) apresentam uma distribuição leptocúrtica com assimetria positiva para todos os valores de tensão variados, significando que há uma grande homogeneidade nas medições e que, em geral, os valores se encontram abaixo da média. Observou-se, nos três grupos de tensão, uma semelhança dos índices de dose em tomografia computadorizada medidos com um fantoma de corpo, com os valores de dose de referência.

Tabela 7.48 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 80-90 kV.

Protocolo de Corpo									
Tensão de Aquisição de 80-90 kV									
CTDI <sub>w</sub> (mGy)	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3 <sup>o</sup> Q)	Skewness	Kurtosis
CTDI <sub>w</sub> Referência	6,61 ±0,16	6,06	2,96	2,28	27,20	1,70	6,80	2,81 ±0,13	11,03 ±0,27
CTDI <sub>w</sub> Medido	7,22 ±0,21	6,05	3,75	1,88	27,20	1,72	7,12	2,29 ±0,13	5,66 ±0,27

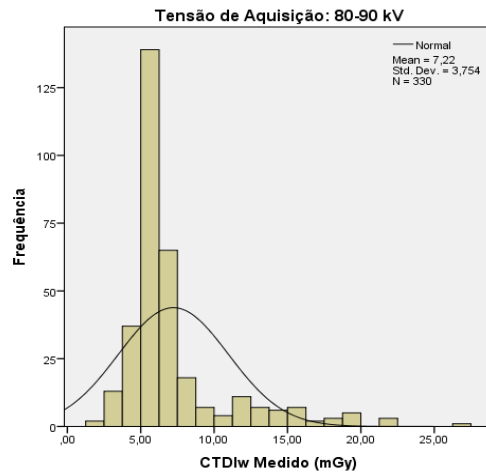


Figura 7.44 - Histogramas dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 80 kV a 90 kV, com o protocolo de corpo.

Tabela 7.49 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 110-120 kV.

Protocolo de Corpo									
Tensão de Aquisição de 110-120 kV									
CTDI <sub>w</sub> (mGy)	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)	Skewness	Kurtosis
CTDI <sub>w</sub> Referência	17,54 ±0,31	15,60	5,55	8,34	51,80	7,14	20,41	2,29 ±0,13	9,80 ±0,27
CTDI <sub>w</sub> Medido	17,75 ±0,31	16,76	5,64	5,30	56,20	6,26	19,93	1,95 ±0,13	7,89 ±0,27

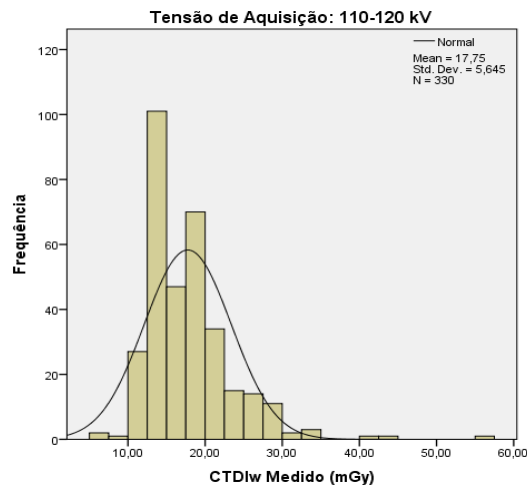


Figura 7.45 - Histogramas dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 110 kV a 120 kV, com o protocolo de corpo.

Tabela 7.50 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) de referência e medidos com uma tensão de 130-140 kV.

Protocolo de Corpo									
Tensão de Aquisição de 130-140 kV									
CTDI <sub>w</sub> (mGy)	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)	Skewness	Kurtosis
CTDI <sub>w</sub> Referência	25,28 ±0,39	24,20	7,17	12,40	79,00	8,30	28,70	3,31 ±0,13	20,22 ±0,27
CTDI <sub>w</sub> Medido	24,92 ±0,39	23,51	7,13	5,40	75,66	8,21	28,09	2,11 ±0,13	9,82 ±0,27

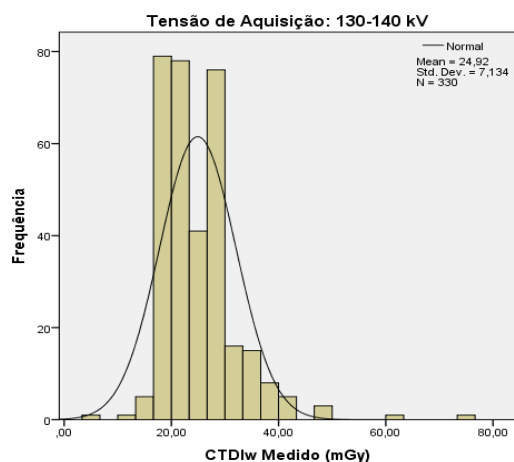


Figura 7.46 - Histogramas dos valores de dose medidos, para uma tensão de aquisição de 130 kV a 140 kV com o protocolo de corpo.

Também, pela análise do diagrama de extremos e quartis da Figura 7.47 pode-se constatar que existem diferenças significativas dos valores medidos, uma vez que com o aumento da tensão de aquisição, o índice de dose em tomografia computadorizada aumenta.

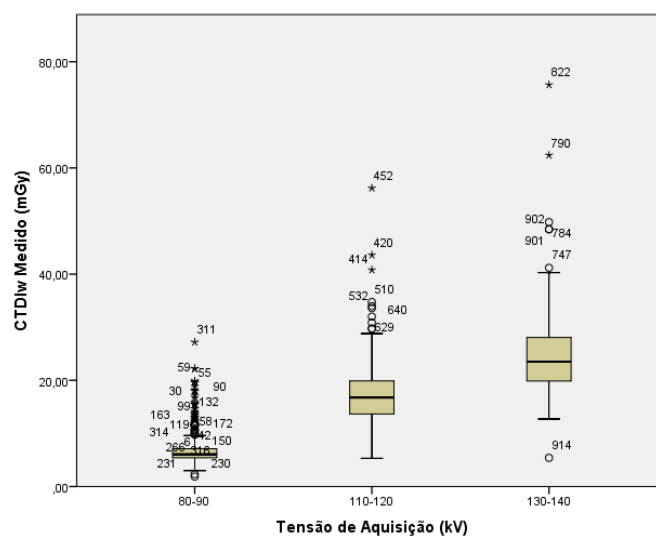


Figura 7.47 - Diagrama de extremos e quartis da dose medida para os três grupos de tensão de aquisição com o protocolo de corpo.

### 7.2.2.1 Variação do $CTDI_w$ com a marca do equipamento

Neste ponto, fez-se o estudo da variação do índice de dose medido, com o fantoma de corpo, agrupado consoante a marca de equipamento e de acordo com a tensão de aquisição aplicada.

Comparando os valores médios de dose apresentados na Tabela 7.51, Tabela 7.52 e Tabela 7.53, verifica-se que a diferença de doses médias para as várias marcas de equipamentos é significativa. Constatou-se que os equipamentos que mais dose fornecem ao paciente são os da marca Toshiba. Seguem-se os tomógrafos da marca GE, sendo os da marca Siemens e Philips os equipamentos que, em média, menos dose registam. As distribuições de dose apresentam um padrão assimétrico positivo para todos os casos, à exceção da Philips e da Toshiba, que com uma tensão de 130-140 kV, apresentam uma distribuição assimétrica negativa. Todos os equipamentos destacam-se por apresentar a distribuição homogénea nas diferentes tensões, ou seja, pelo facto de esta ser leptocúrtica. No entanto, com uma tensão de 120 kV, nos equipamentos da Toshiba, a distribuição é mesocúrtica. Também, pela análise dos diagramas de extremos e quartis da Figura 7.48, Figura 7.49 e Figura 7.50 e pelo percentil 75 da Tabela 7.51, da Tabela 7.52 e da Tabela 7.53 pode-se concluir que existe diferença entre as marcas de equipamentos e os índices de dose.

Tabela 7.51 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 80-90 kV, utilizando um protocolo de corpo e de acordo com a marca do equipamento.

CTDI <sub>w</sub> Medido (mGy) - Protocolo de Corpo									
Marca	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)	Skewness	Kurtosis
GE 80 kV	7,23 ±0,32	6,26	3,61	3,56	27,20	1,06	6,86	3,05 ±0,22	10,58 ±0,43
Siemens 80 kV	5,95 ±0,24	5,69	2,59	1,88	19,58	1,42	6,20	2,85 ±0,23	10,92 ±0,45
Philips 90 kV	6,82 ±0,40	5,84	2,96	3,94	17,22	1,18	6,64	2,36 ±0,33	4,70 ±0,64
Toshiba 90 kV	12,34 ±0,81	12,24	4,66	5,10	22,20	7,85	15,60	0,55 ±0,41	-0,19 ±0,79

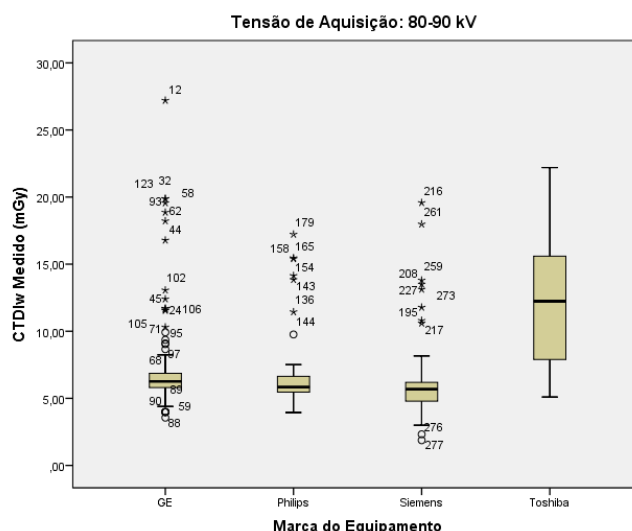


Figura 7.48 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 80-90 kV e um protocolo de corpo em função da marca do equipamento.

Tabela 7.52 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 110-120 kV, utilizando um protocolo de corpo e de acordo com a marca do equipamento.

CTDIw Medido (mGy) - Protocolo de Corpo									
Marca	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)	Skewness	Kurtosis
GE 120 kV	20,02 ±0,53	19,00	5,96	6,02	56,20	3,42	20,86	2,74 ±0,22	12,75 ±0,43
Siemens 110 kV	14,27 ±0,29	13,45	3,19	5,30	28,00	2,39	14,99	1,73 ±0,23	4,90 ±0,45
Philips 120 kV	15,72 ±0,35	15,34	2,59	10,06	23,36	3,80	17,60	0,81 ±0,33	1,07 ±0,64
Toshiba 120 kV	24,58 ±0,79	24,48	4,50	12,50	33,62	6,74	28,15	-0,21 ±0,41	0,27 ±0,79

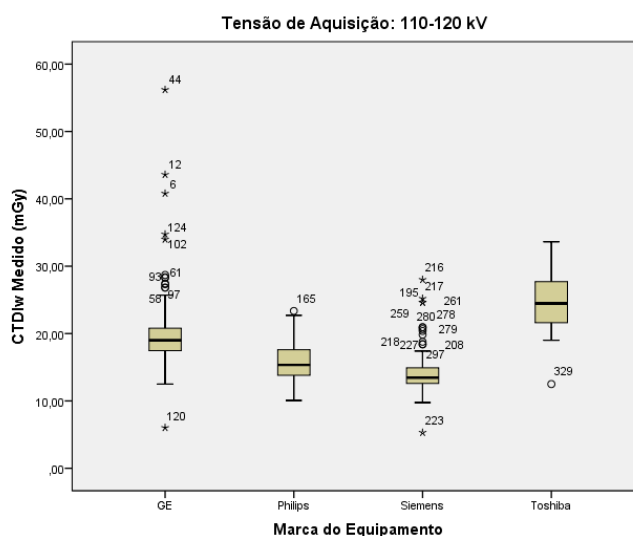


Figura 7.49 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 110-120 kV e um protocolo de corpo em função da marca do equipamento.

Tabela 7.53 - Resumo estatístico dos valores de dose (mGy) medidos com uma tensão de aquisição de 130-140 kV, utilizando um protocolo de corpo e de acordo com a marca do equipamento.

CTDI <sub>w</sub> Medido (mGy) - Protocolo de Corpo									
Marca	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)	Skewness	Kurtosis
GE 140 kV	28,06 ±0,68	27,44	7,69	14,68	60,98	4,22	29,00	2,99 ±0,22	14,27 ±0,43
Siemens 130 kV	20,53 ±0,36	19,51	3,83	12,72	37,68	2,95	21,34	1,99 ±0,23	5,77 ±0,45
Philips 140 kV	22,03 ±0,49	21,90	3,62	5,40	28,84	3,47	23,87	-1,46 ±0,33	7,44 ±0,64
Toshiba 135 kV	32,99 ±0,88	33,22	5,07	24,56	41,20	9,68	37,49	-0,01 ±0,41	-1,46 ±0,79

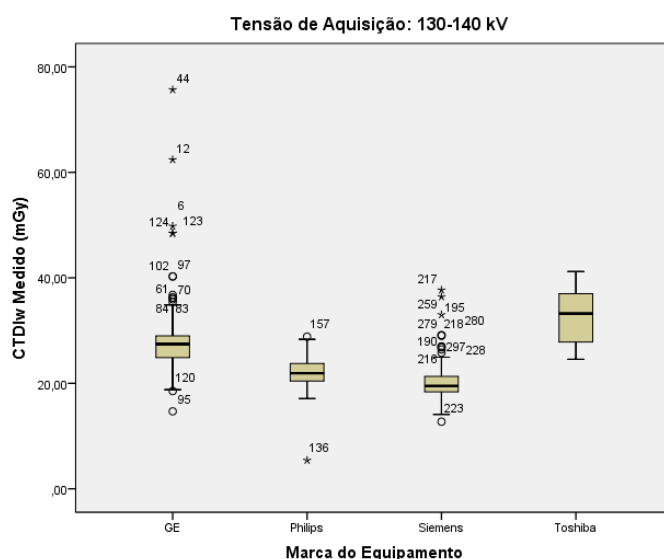


Figura 7.50 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos com uma tensão de 130-140 kV e um protocolo de corpo em função da marca do equipamento.

### 7.2.2.2 Variação no tempo do CTDI<sub>w</sub>

O teste *One-Way ANOVA*, cujo resultado se encontra presente na Tabela 7.54, revela que existe igualdade de médias ( $p\text{-value} > 0,05$ ) do índice de dose em tomografia computadorizada em função do ano de intervenção, para as tensões de aquisição de 110-120 kV e 130-140 kV. Isto significa, que o valor médio do índice de dose medido se manteve sensivelmente inalterado durante o período de realização do estudo, para estes valores de tensão (Figura 7.51 – B e C). Contrariamente, para a tensão de aquisição de 80-90 kV, rejeitou-se a hipótese nula de igualdade entre as médias, pois o  $p\text{-value}$  obtido foi inferior a 0,05. Desta forma, foi necessário recorrer a testes de comparações múltiplas, nomeadamente, o teste de *Tukey* (Apêndice III-31). Este teste revelou que, no ano de 2014, os índices de dose obtidos com uma tensão de 80-90 kV, foram ligeiramente diferentes dos restantes anos. Este facto, também, foi observado no diagrama de extremos e quartis da Figura 7.51 – A. Neste estudo temporal, o ano de 2017, também, não foi

contabilizado porque a amostra era pouco significativa. Mais uma vez, se leva a crer que não houve evolução do parque tecnológico. No entanto, esta afirmação seria melhor apoiada caso tivesse sido possível recolher a data de licenciamento de cada equipamento, bem como a sua data de início de comercialização e de instalação.

Tabela 7.54 - Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência do ano de intervenção no CTDI<sub>w</sub> com o protocolo de corpo e de acordo com a tensão utilizada.

ANOVA						
CTDI <sub>w</sub> Medido (mGy)		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tensão 80-90 kV	Between Groups	135,755	3	45,252	3,277	,021
	Within Groups	4501,427	326	13,808		
	Total	4637,182	329			
Tensão 110-120 kV	Between Groups	98,766	3	32,922	1,034	,378
	Within Groups	10383,826	326	31,852		
	Total	10482,592	329			
Tensão 130-140 kV	Between Groups	27,781	3	9,260	,181	,910
	Within Groups	16716,197	326	51,277		
	Total	16743,978	329			

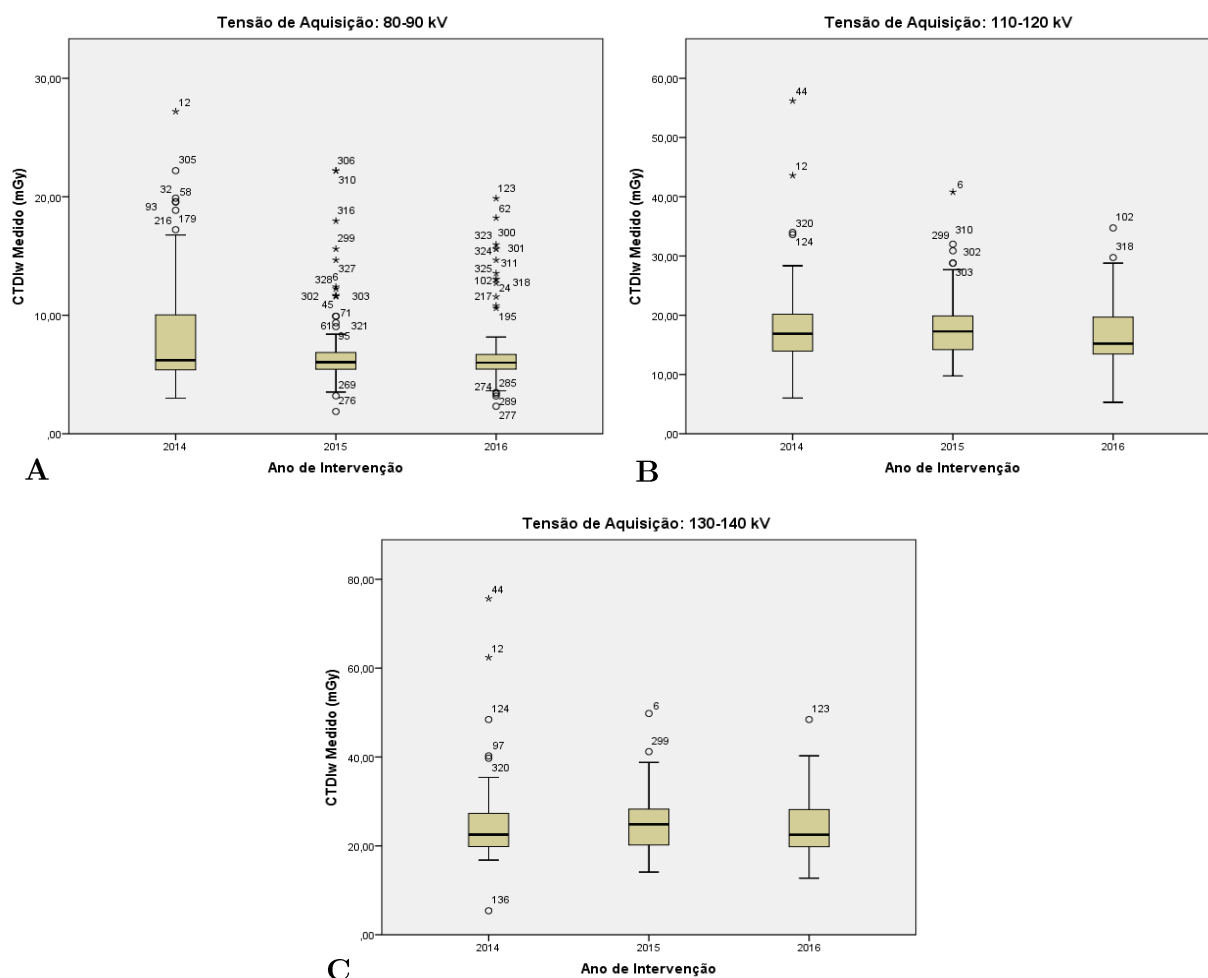


Figura 7.51 - Diagrama de extremos e quartis dos valores de dose medidos distribuídos em função do ano de intervenção e de acordo com a tensão de aquisição utilizada: [A] 80-90 kV, [B] 110-120 kV e [C] 130-140 kV.

### 7.2.3 Comparações com estudos internacionais

Na Tabela 7.55 comparou-se os valores médios de estudos internacionais com os do presente estudo. Os resultados das *Guidelines Europeias* correspondem a níveis de referência de diagnóstico propostos, e os resultados dos restantes países correspondem a estudos realizados.

Relativamente aos valores médios de dose verificou-se que, de um modo geral, o valor de dose obtido encontra-se abaixo da média nos protocolos de cabeça. Os valores médios de CTDI<sub>w</sub> medidos para o exame de crânio foram inferiores em 36% relativamente à média dos outros estudos. Na Tanzânia e no Japão, observou-se os valores médios de dose mais baixos para exames de cabeça. Nos exames de corpo, verificou-se que o Reino Unido apresentava os valores mais reduzidos de dose. Os valores obtidos neste estudo, para TC de crânio, apresentam maior semelhança com os resultados alcançados pela Tanzânia e pelo Japão. Comparativamente, ao valor médio de dose obtido para os protocolos de corpo com os outros estudos, constatou-se que o valor é bastante aproximado da Tailândia, Itália, Grécia, Polónia e Tanzânia. É de referir, que a corrente aplicada no presente estudo foi de 200 mAs e, que nos estudos internacionais os valores de corrente variaram entre 60 mAs a 385 mAs, sendo, por isso, os valores de CTDI<sub>w</sub> obtidos diferentes. O valor de dose obtido serve de ponto de partida para futuros estudos de otimização de dose.

Tabela 7.55 - Valores médios de dose encontrados em estudos internacionais.

Estudo	Referência	Parâmetros de aquisição		TC de Crânio	Parâmetros de aquisição		TC Corpo
		Tensão (kV)	Corrente (mAs)	CTDI <sub>w</sub> (mGy)	Tensão (kV)	Corrente (mAs)	CTDI <sub>w</sub> (mGy)
Guidelines Europeias (2000)	[27]	-	-	<b>60</b>	-	-	<b>30</b>
Reino Unido (2009)	[51]	120	270	<b>51</b>	120	122	<b>10</b>
Polónia (2009)	[51]	120	250	<b>51</b>	120	250	<b>16</b>
Tailândia (2007)	[52]	121	343	<b>55</b>	121	292	<b>22</b>
Itália (2006)	[53]	125	367	<b>60</b>	122	282	<b>24</b>
Grécia (2003)	[54]	120	-	<b>68</b>	120	-	<b>23</b>
Tanzânia (2006)	[55]	120-130	60-360	<b>43</b>	120-130	60-385	<b>17</b>
Canadá (2009)	[51]	-	-	-	120	267	<b>14</b>
Japão (2014)	[56]	120	-	<b>44</b>	120	-	<b>13</b>
Média de todos os estudos**				<b>54,0</b>			<b>18,8</b>
Presente Estudo (2014 - 2017)		<b>110-120</b>	<b>200</b>	<b>34,6</b>	<b>110-120</b>	<b>200</b>	<b>17,8</b>

\*\* Média aritmética dos valores encontrados nos estudos (quando se encontrou um intervalo usou-se o valor médio do mesmo ou o valor máximo/mínimo).

Em suma, é possível verificar que os índices de dose que se determinaram nos equipamentos de tomografia computadorizada portugueses, para protocolos de crânio, se enquadram abaixo da média geral dos equipamentos de outros países. Quanto aos protocolos de corpo, constatou-se que os equipamentos portugueses se encontram na média geral dos outros países. A redução de dose para os pacientes são o resultado de múltiplos avanços tecnológicos ao longo dos anos, como por exemplo o número de detetores e as reconstruções inerentes aos equipamentos.

## 8. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar o parque tecnológico português quanto aos índices de dose e de qualidade da imagem, nomeadamente, espessura de corte, linearidade, resolução espacial, resolução de contraste, ruído e uniformidade, de diversos equipamentos de tomografia computadorizada. No total, foram efetuadas 330 intervenções, em 180 equipamentos de várias unidades hospitalares e clínicas, distribuídos por Portugal continental e ilhas. A recolha dos dados foi efetuada entre 2014 e o primeiro trimestre de 2017. Desta forma, e atendendo à extensa revisão bibliográfica julga-se que este estudo detém a mais recente e maior base de dados, existente em Portugal, no que diz respeito aos parâmetros analisados dos equipamentos de tomografia computadorizada.

Primeiramente, verificou-se que da amostra de 180 equipamentos analisados, a maioria era da marca General Electrics (38,3%), seguidos pelos da marca Siemens (30%), Philips (16,1%) e Toshiba (13,9%). Um pequeno grupo (1,7%) era constituído por nove equipamentos de três marcas distintas. Também, consoante o número de intervenções por marca de equipamento, se verificou que a marca GE possuía o maior número de intervenções (127 casos), seguido pela Siemens (116 casos), Philips (54 casos), Toshiba (33 casos) e, por fim, pelo conjunto Outros (9 casos).

Relativamente aos valores de espessura de corte obtidos constatou-se que das 990 medições efetuadas, 98,7% dos valores medidos se encontravam conforme, o que representou apenas 1,3% de não conformidades, para todos os equipamentos. Depreende-se, assim, que o parâmetro da espessura de corte, encontra-se conforme e que maioritariamente os valores nominais dos equipamentos de tomografia computadorizada correspondem aos valores medidos.

A nível dos números de TC, foram realizadas 330 medições, com um protocolo base de aquisição de 110-120 kV, 200 mAs e 10 mm, a quatro diferentes materiais (Ar, Teflon, Acrílico e LDPE), e observou-se 88% de conformidades. O Teflon foi o responsável pelos 12% de casos não conformes no teste do protocolo base. Fez-se variar os números de TC com a tensão, a corrente, a espessura de corte e o kernel, e obteve-se valores conformes entre os 80% e os 87%. No entanto, o Teflon foi o material que apresentou maiores desvios dos números de TC medidos, pois no conjunto de protocolos testados, representou 16% de casos não conformes.

Já no que diz respeito à resolução espacial, o valor médio encontrado foi de 9,28 lp/cm, que se encontra dentro dos valores protocolados. Não se verificou variação na média desta variável consoante a tensão de aquisição. Encontrou-se uma diminuição do valor médio de resolução espacial, consoante o aumento do FOV. Variando a corrente e a espessura de corte constatou-se que com o seu aumento, a resolução espacial era superior. Para esta variável, não se encontrou uma relação entre a marca do equipamento e a resolução espacial.

O valor médio do limiar de contraste encontrado foi de 2,45 mm o que corresponde a 100% de valores conformes. Não se observou variação no limiar no contraste com a marca de

equipamento e o FOV. O mesmo não ocorreu quando se estudou a variação com a tensão de aquisição, a corrente, a espessura de corte e o kernel. De referir que este teste, de acordo com o modelo seguido, não permite aferir a real capacidade máxima de distinção de baixo contraste dos equipamentos, pois o teste realizado apenas mede o contraste dos objetos a 1% e seria, também, necessário saber o contraste produzido a 0,5% e a 0,3%.

No ruído, o valor médio obtido foi de 1,1% e foram encontrados 100% de conformidades. Constatou-se que não existiram desvios significativos dos valores obtidos de ruído de acordo com a marca do equipamento. Quanto à uniformidade, o valor médio obtido foi de -1,56 HU e, neste caso, foram encontrados 99,4% de conformidade. Apenas foram encontrados dois casos não conformes.

Relativamente ao índice de dose foi possível verificar uma igualdade entre os valores de dose dados pelo equipamento e os valores de dose medidos com os fantomas. Nos 180 equipamentos, com o protocolo de 110-120 kV, 200 mA e 10 mm, o valor médio medido de dose para o fantoma de cabeça foi de ~35 mGy e para o fantoma de corpo foi de ~18 mGy. Depreende-se, então, que os equipamentos de tomografia computadorizada apresentam valores conformes quanto ao índice de dose, dado o número de casos não conformes encontrado ser extremamente reduzido face às medições efetuadas com o fantoma de cabeça e de corpo, para os três grupos de tensão. E da variação realizada entre a tensão de aquisição e os índices de dose concluiu-se que, de 80 kV para 140 kV, a dose aumentou aproximadamente três vezes.

É impreterível garantir a existência de controlo de qualidade dos equipamentos, pois só assim se pode testar e assegurar o bom desempenho dos equipamentos, salvaguardando os pacientes e os profissionais de saúde dos efeitos nocivos da radiação. Considera-se que o baixo número de situações anómalas encontradas se deva à existência de protocolos de controlo de qualidade e de programa de manutenção e da sua regular aplicação.

Em suma, o presente trabalho atingiu todos os objetivos a que se propôs. Tendo-se verificado que os equipamentos em Portugal possuem, praticamente na totalidade dos casos analisados, doses bastante aceitáveis com os encontrados noutros estudos internacionais. Os valores obtidos para os números de TC, de resolução espacial, de resolução de contraste, de ruído e de uniformidade, também, se encontram congruentes com os limites de tolerância estabelecidos pelos protocolos vigorados no estrangeiro.

## 8.1 Condicionantes e Perspetivas Futuras

Durante este estudo, e após a análise resultados, encontraram-se certas condicionantes/limitações que em trabalhos futuros poderão vir a ser superadas. Nomeadamente, seria interessante estudar os protocolos de pediatria, através de fantasmas de PMMA adaptados a tamanhos de criança, e estudando a utilização de valores de tensão mais baixos. Apesar de se saber que com menor tensão, sem aumento da intensidade da corrente, existe um aumento do ruído, esse aumento poderá ser tolerado, caso se verifique elevado contraste e redução da dose para as crianças. De ressaltar que estes estudos deverão ter sempre a aprovação dos médicos radiologistas, dos técnicos e dos físicos.

Seria de igual modo importante recolher a informação relativa à data de licenciamento dos equipamentos e a sua data de entrada em funcionamento nas unidades clínicas e hospitalares, bem como o número de detetores de cada equipamento, de modo a aferir, com rigor, a evolução do parque tecnológico.

Finalmente, dado que os resultados obtidos indicam que os equipamentos apresentam, no geral, um bom desempenho, um próximo passo a dar no sentido de otimizar as doses em tomografia computadorizada é o estabelecimento dos níveis de referência nacionais para esta técnica. Não será uma tarefa simples dada a diversidade e heterogeneidade de procedimentos de tomografia computadorizada e, além disso, necessitará da colaboração de um vasto grupo de profissionais e de unidades de saúde que abranjam todo o território nacional.

## 9. Referências Bibliográficas

- [1] Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico, “OECD Health Data 2017,” 2017. [Online]. Available: [http://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=HEALTH\\_STAT](http://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=HEALTH_STAT). [Acedido em 25 Maio 2017].
- [2] J. T. Bushberg, J. A. Seibert, E. M. Leidholdt e J. M. Boone, *The Essential Physics of Medical Imaging - Second Edition*, USA: Lippincott Williams & Wilkins, 2002.
- [3] S. Forshier, *Essentials of Radiation Biology and Protection*, Canada: Delmar, 2002.
- [4] R. Crispim e A. L. Vieira, *Computer Tomography Scanners in Portugal (1990-2011)*, vol. (11)1, *Biomed Biopharm Res*, 2014, pp. 55-63.
- [5] Direção Geral da Saúde, Direção de Serviços de Epidemiologia e Estatísticas de Saúde. Divisão de Estatísticas de Saúde. *Elementos Estatísticos: Informação Geral: Saúde 2008*, Lisboa: Direcção Geral de Saúde, 2010.
- [6] Direção Geral da Saúde, Direção de Serviços de Epidemiologia e Estatísticas de Saúde. Divisão de Estatísticas de Saúde. *Elementos Estatísticos: Informação Geral: Saúde 2007*, Lisboa: Direcção Geral de Saúde, 2009.
- [7] UNSCEAR, *Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources.*, New York, USA: United Nation: UN Sales Publication, 2010.
- [8] Direção Geral da Saúde, “Lista de licenças emitidas no âmbito da proteção radiológica,” DGS, 2017. [Online]. Available: <https://www.dgs.pt/saude-ambiental/areas-de-intervencao/radiacoes/ionizantes/licenciamento.aspx>. [Acedido em 14 Setembro 2017].
- [9] R. Bly, H. Jarvien, A. Jahnen, H. Olerud, J. Vassileva e S. Vogiatzi, *European population dose from radiodiagnostic procedures - Results of Dose Datamed 2*, European Commission, 2012.
- [10] P. Teles, M. Carmen de Sousa, G. Paulo, J. Santos, G. Cardoso, I. Lança, L. Janeiro, P. Carvoeiras, R. Parafita, A. Santos, P. Simãozinho, M. Neves e P. Vaz, *Avaliação da exposição da população portuguesa a radiações ionizantes devido a exames médicos de radiodiagnóstico e medicina nuclear – Relatório sobre os resultados do projecto Dose Datamed 2 Portugal*, Portugal: IST/ITN, 2012.

- [11] X. Martínez, M. Ballarín, J. Morán, P. Manzano, J. Savall e M. Castillo, *Fundamento de Física Médica, Volumen 2, Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad*, Madrid: Sociedad Española de Física Médica, 2012.
- [12] A. Chaves, “Princípios Físicos e Tecnologia em Tomografia Computorizada,” *Siemens CT Application Specialist*, Maio 2012.
- [13] M. Mahesh, “Search for Isotropic Resolution in CT from Conventional through Multiple-Row Detector,” *The AAPM/RSNA Physics: Tutorial for Residents*, vol. 22, pp. 949-962, Julho-Agosto 2002.
- [14] W. A. Kalender, “X-ray computed tomography,” *Physics in Medicine and Biology*, vol. 51, pp. 29-43, 20 Junho 2006.
- [15] M. Prokop, M. Galanski, A. J. Van der Molen e C. M. Schaefer-Prokop, *Spiral and Multislice Computed Tomography of the Body*, New York: Thieme, 2003.
- [16] I. A. Cunningham e P. F. Judy, *The Biomedical Engineering Handbook: Second Edition. Chapter 62 - Computed Tomography*, vol. 1, J. D. Bronzino, Ed., Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.
- [17] J. Hsieh, *Computed Tomography, Second Edition: Principles, Design, Artifacts, and Recent Advances*, Washington: SPIE Press, 2009.
- [18] L. W. Goldman, “Principles of CT and CT Technology,” *JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE TECHNOLOGY*, vol. 35, pp. 115-128, 2007.
- [19] E. T. d. SUS, “Tomografia Computorizada,” Maio 2017. [Online]. Available: <http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/index.php/tomografia-computadorizada/tecnologias-e-funcionamento-dos-equipamentos-too/historia-da-tomografia-computadorizada#gerações-dos-tomógrafos>.
- [20] J. P. Lima, *Técnicas de Diagnóstico com Raios X: Aspectos Físicos e Biofísicos*, Coimbra: 2ª Edição, Imprensa da Universidade de Coimbra, 2009.
- [21] F. Nogueira, “Unidade Curricular: Imagens Seccionais em Radiologia,” *Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa*, Lisboa, 2013.
- [22] W. Hendee e E. Ritenour, *Medical Imaging Physics*, New York: Wiley-Liss, 2002, 4th Edition.
- [23] S. Bushong, *Radiologic Science for Technologists*, 6 ed., Mosby, 1998.
- [24] AAPM Report NO 96, *The Measurement, Reporting and Management of Radiation Dose in TC*, College Park, MD: The American Association of Physicists in Medicine Publishing, 2008.

- 
- [25] F. A. Smith, *A Primer in Applied Radiation Physics*, Singapore: World Scientific Publishing, 2000.
- [26] E. Commission, “European guidelines on quality criteria for diagnostic radiography images,” *Publication EUR 16260 EN*, 1999.
- [27] K. A. Jessen , W. Panzer , P. C. Shrimpton e et al, *EUR 16262: European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography*, Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 2000.
- [28] W. A. Kalender, *Computed Tomography*, Munich: Publicis MCD Verlag, 2000.
- [29] Insitute of Physics and Engineering in Medicine, *Report 32: Measurement of the Performance Characteristics of Diagnostic X-ray Systems used in Medicine. Part 3: Computed Tomography X-ray Scanners*, 2 ed., 2003.
- [30] SEFM-SEPR-SERAM, *Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico*, Madrid: Senda Editorial, S.A., 2012.
- [31] AAPM , *Report 39 - Specification and Acceptance Testing of Computed Tomography Scanners*, New York: American Association of Physicists in Medicine, 1993.
- [32] A. J. Britten, M. Crotty, H. Kiremidjian, A. Grundy e E. J. Adam, The addition of computer simulated noise to investigate radiation dose and image quality in images with spatial correlation of statistical noise: an example application to X-ray CT of the brain, vol. 77(916), *Br J Radiol*, 2004, pp. 323-8.
- [33] AAPM, *Report 83 - Quality assurance for computed-tomography simulators and the computed-tomography - simulation process*, New York: American Association of Physicists in Medicine, 2003.
- [34] AAPM, *Report 1 - Phantoms for performance evaluation and quality assurance of CT scanners*, Chicago: American Association of Physicists in Medicine, 1977.
- [35] *Diário da República*, “Decreto-lei nº 180/2002,” vol. I série A nº 182.
- [36] A. D. Wrixon, “New ICRP recommendations,” *Journal of Radiological Protection*, vol. 28, p. 166, 2008.
- [37] *Journal of the ICRU*, “Patient Dosimetry for X rays used in medical imaging, Report 74,” Oxford University Press, 2005.
- [38] J. Turner, “*Atoms, Radiation and Radiation Protection*,” Wiley, Germany, 2007.
- [39] A. Wrixon, “New ICRP Recommendations,” *Journal of Radiological Protection*, vol. 28, pp. 161-168, 2008.

- [40] J. A. Bauhs, T. J. Vrieze, A. N. Primak, M. R. Bruesewitz e C. H. McCollough, “CT dosimetry: comparison of measurement techniques and devices,” *RadioGraphics*, vol. 28, pp. 245-253, 2008.
- [41] AAPM, Report 31 - Standardized Methods for Measuring Diagnostic X-ray Exposures, New York : American Association of Physicists in Medicine, 1990.
- [42] L. W. Goldman, Principles of CT: Radiation Dose and Image Quality, vol. 35, *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 2007, p. 213–225.
- [43] International Electrotechnical Commission (IEC) , Medical Electrical Equipment. Part 2-44. Particular requirements for the safety of x-ray equipment for computed tomography, 2.1 ed., Geneva: IEC publication: No. 60601-2-44, 2002.
- [44] F. R. Verdun, D. Gutierrez, P. Schnyder, A. Aroua, F. Bochud e F. Gudinchet, CT dose optimization when changing to CT multi-detector row technology, vol. 36(4), *Curr Probl Diagn Radiol*, 2007, pp. 176-84.
- [45] P. C. Shrimpton, M. C. Hillier, M. A. Lewis e M. Dunn, Doses from computed tomography (CT) Examinations in UK - 2003 Review, vol. W67, Oxon: Nacional Radiological Protection Board, 2005.
- [46] R. Padovani, E. Vano, A. Trianni e et all., “Reference Levels at European Level For Cardiac Interventional Procedures,” *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 129, pp. 104-107, 2008.
- [47] E. Podgorsak, *Radiation Physics for Medical Physicists*, Canadá: Springer, 2006.
- [48] IAEA, “Catítulo 4 - Efeitos Biológicos da Radiação,” [Online]. Available: [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/45/073/45073469.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/073/45073469.pdf). [Acedido em 29 08 2017].
- [49] “The Phantom Laboratory - Catphan® 500 and 600 Manual,” 18 Dezembro 2016.
- [50] U. RaySafe, “RaySafe X2 User Manual,” RaySafe, Sweden, 2016.
- [51] V. Tsapaki, J. E. Aldrich, R. Sharma, M. A. Staniszewska, A. Krisanachinda, M. Rehani e et. al., “Dose Reduction in CT while Maintaining Diagnostic Confidence: A Feasibility/Demonstration Study - IAEA coordinated Research Project,” vol. 240, IAEA, 2009, pp. 2-17.
- [52] H. Y. Tsai, C. J. Tung e C. C. Yu, “Survey of Computed Tomography Scanners in Taiwan: Dose Descriptors, Dose Guidance Levels, and Effective Doses,” vol. 34, *Medical Physics*, 2007, pp. 1234-1243.
- [53] D. Origgi, S. Vigorito, G. Villa, M. Bellomi e G. Tosi, “Survey of Computed Tomography Techniques and Absorbed Dose in Italian Hospitals: A Comparison Between Two Methods

- to Estimate Dose and to Verify Fulfillment of the Diagnostic Reference Levels,” vol. 16, *European Radiology*, 2006, pp. 227-237.
- [54] D. Papadimitriou, A. Perris, A. Manetou, M. Molfetas, N. Panagiotakis, M. Lyrageosopoulou e et. al., “A Survey of 14 Computed Tomography Scanners in Greece and 32 Scanners in Italy: Examination Frequencies, Dose Reference Values, Effective Doses and Doses to Organs,” vol. 104, *Radiation Protection Dosimetry*, 2003, pp. 47-53.
- [55] J. E. Ngaile, P. Msaki e R. Kazema, “Towards Establishment of the National Reference Dose Levels from Computed Tomography Examinations in Tanzania,” vol. 26, *Journal of Radiological Protection*, 2006, pp. 213-225.
- [56] Y. Matsunaga, A. Kawaguchi, K. Kobayashi, Y. Kinomoura e et. al., Survey of volume CT dose index in Japan in 2014, vol. 88(1052):20150219, *Br J Radiology*, 2015.
- [57] E. Santos e M. Nacif, *Manual de Técnicas em Tomografia Computorizada*, Rio de Janeiro: Rubio, 2009.

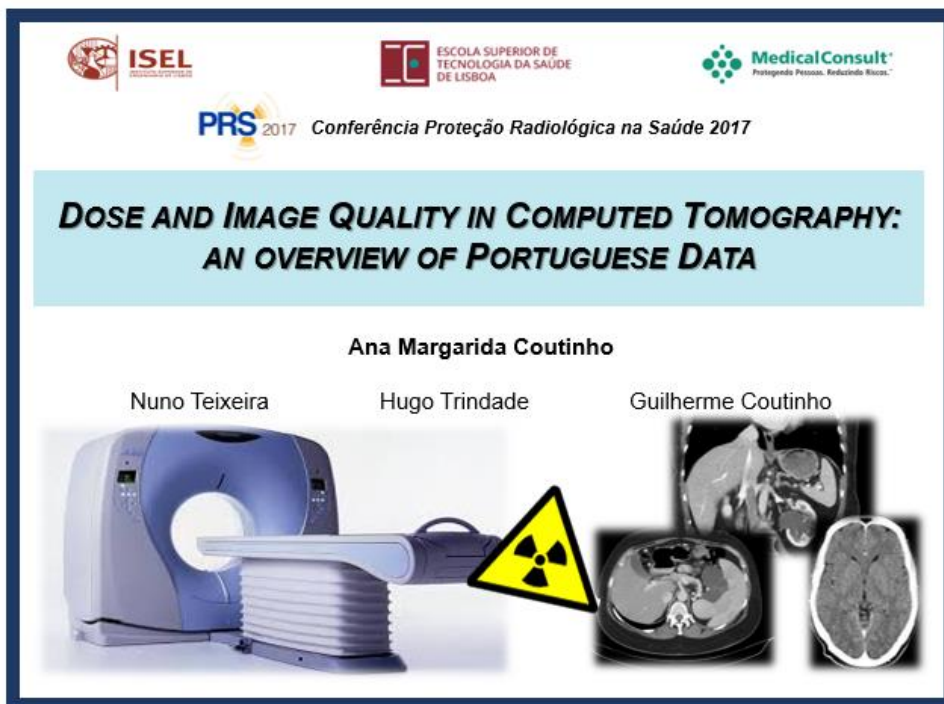
## Apêndice I

### 1. Publicação decorrente do presente estudo

Este estudo foi submetido para publicação numa revista científica da especialidade com o título: *Computed Tomography: Dose and Image Quality in Portugal from 2014 to 2017*.

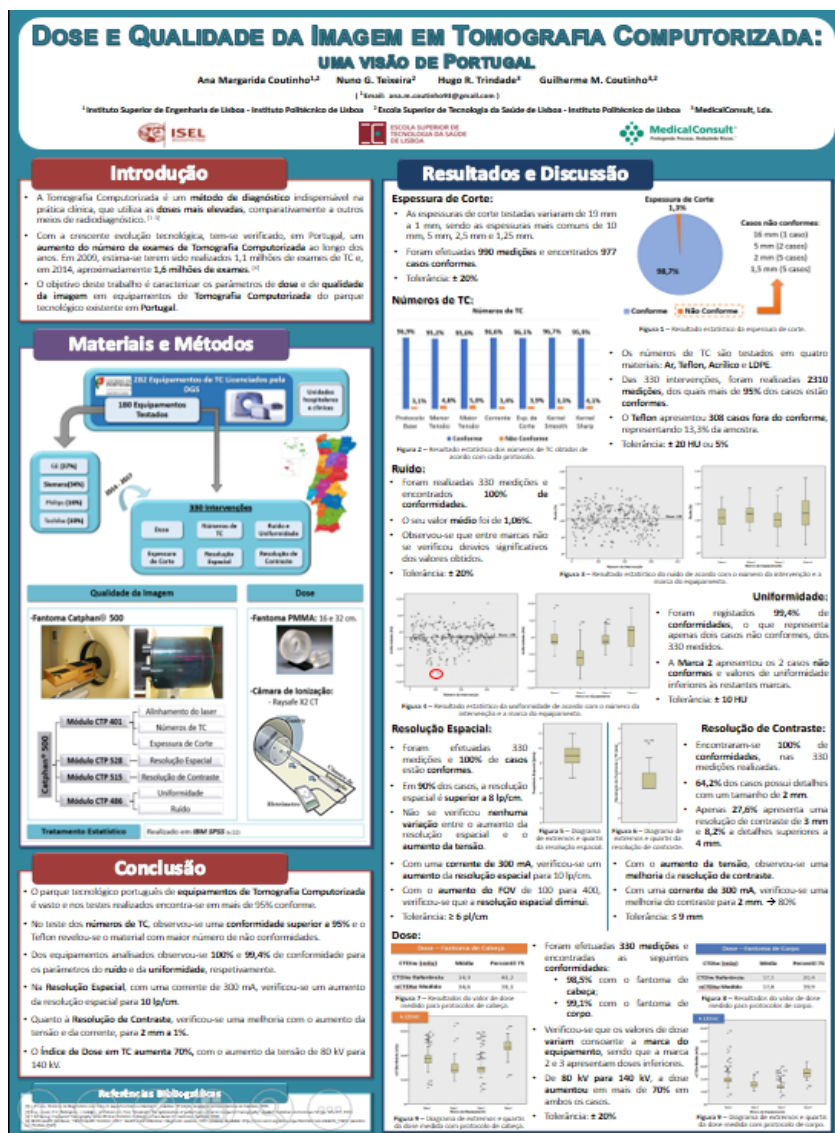
### 2. Apresentação oral na conferência “*Proteção Radiológica na Saúde 2017*”

Apresenta-se, abaixo, uma miniatura da capa da apresentação oral submetida, aceite e apresentada na conferência “*Proteção Radiológica na Saúde 2017*”, na sessão subordinada ao tema “*Optimization*”, promovido pelo *Instituto Superior Técnico (IST)* e pela *Direção Geral da Saúde (DGS)*, que decorreu entre os dias 27 e 29 de Setembro de 2017, em Lisboa.



### 3. Poster apresentado na conferência “I Jornadas das Tecnologias da Saúde do Hospital das Forças Armadas – Polo de Lisboa”

Apresenta-se, abaixo, uma miniatura do Poster submetido, aceite e exposto na conferência “I Jornadas das Tecnologias da Saúde do Hospital das Forças Armadas – Polo de Lisboa”, promovido pelo Hospital das Forças Armadas (HFAR), que decorreu nos dias 17 e 18 de Novembro de 2017, em Lisboa.



### 4. Outras atividades desenvolvidas

No decorrer do presente trabalho tive a oportunidade de acompanhar a equipa da MedicalConsult a algumas das intervenções realizadas e de contactar diretamente com o meio empresarial, hospitalar e clínico.

## Apêndice II

Outros resultados obtidos da análise e tratamento dos dados, nomeadamente, resultados estatísticos e teste *One-Way ANOVA*, dos números de TC variando a tensão de aquisição, a corrente, a espessura de corte e os kernels, encontram-se expressos neste apêndice.

II – 1. Resultados estatísticos dos números de TC do Ar de acordo com a marca do equipamento e variando a tensão de aquisição.

Números de TC do Ar (HU)								
Marca	Varição	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
<b>GE</b> 127 casos	Menor Tensão	-986,15 ±0,74	-986,00	8,08	-1007,00	-962,00	10,00	-981,00
	Maior Tensão	-974,78 ±0,84	-973,00	9,34	-1000,00	-952,00	12,00	-968,00
<b>Siemens</b> 116 casos	Menor Tensão	-1011,34 ±1,12	-1014,00	11,44	-1028,00	-963,00	6,00	-1010,38
	Maior Tensão	-1010,30 ±1,07	-1012,00	10,95	-1024,00	-959,00	8,00	-1008,00
<b>Philips</b> 54 casos	Menor Tensão	-1013,46 ±1,33	-1017,50	9,78	-1024,00	-993,00	21,00	-1000,00
	Maior Tensão	-1004,62 ±1,09	-1001,00	7,96	-1024,00	-995,00	29,00	-999,00
<b>Toshiba</b> 33 casos	Menor Tensão	-1014,56 ±3,29	-1016,00	16,48	-1042,00	-989,00	22,00	-1003,00
	Maior Tensão	-1000,29 ±2,65	-1000,00	2,65	-1029,00	-976,00	25,00	-987,75

II – 2. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da tensão de aquisição nos números de TC do Ar de acordo com a marca do equipamento.

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Números de TC do Ar para valores de Menor Tensão	Between Groups	1587070,307	3	529023,436	12,041	,000
	Within Groups	13752068,60	326	43936,321		
	Total	15339138,90	329			
Números de TC do Ar para valores de Maior Tensão	Between Groups	153712,212	3	51237,404	4,151	,007
	Within Groups	3863852,602	326	12344,577		
	Total	4017564,814	329			

II – 3. Resultados estatísticos dos números de TC do Teflon de acordo com a marca do equipamento e variando a tensão de aquisição.

Números de TC do Teflon (HU)								
Marca	Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE 127 casos	Menor Tensão	1012,44 ±2,11	1016,50	22,92	927,00	1054,00	33,00	1028,25
	Maior Tensão	942,32 ±1,83	943,00	20,47	903,00	1050,00	19,00	950,00
Siemens 116 casos	Menor Tensão	1002,27 ±3,31	996,50	33,80	936,00	1176,00	22,00	1009,50
	Maior Tensão	952,33 ±2,82	948,00	28,85	912,00	1087,00	21,00	957,00
Philips 54 casos	Menor Tensão	994,69 ±7,16	987,50	52,59	933,00	1139,00	34,00	990,50
	Maior Tensão	949,64 ±8,01	941,00	58,29	878,00	1121,00	16,00	947,00
Toshiba 33 casos	Menor Tensão	964,68 ±28,84	1009,00	144,18	725,00	1206,00	294,00	1108,75
	Maior Tensão	956,00 ±10,27	973,00	57,19	834,00	1026,00	65,00	1004,50

II – 4. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da tensão de aquisição nos números de TC do Teflon de acordo com a marca do equipamento.

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Números de TC do Teflon para valores de Menor Tensão	Between Groups	1695685,267	3	565228,422	12,264	,000
	Within Groups	14425971,57	326	46089,366		
	Total	16121656,84	329			
Números de TC do Teflon para valores de Maior Tensão	Between Groups	40452,231	3	13484,077	1,074	,360
	Within Groups	3931442,892	326	12560,520		
	Total	3971895,123	329			

II – 5. Resultados estatísticos dos números de TC do Acrílico de acordo com a marca do equipamento e variando a tensão de aquisição.

Números de TC do Acrílico (HU)								
Marca	Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE 127 casos	Menor Tensão	99,59 ±0,54	98,50	5,83	84,00	127,00	4,00	101,00
	Maior Tensão	124,96 ±0,26	125,00	2,98	111,00	130,00	2,00	126,00
Siemens 116 casos	Menor Tensão	100,03 ±0,54	99,00	5,28	89,00	125,00	5,00	102,00
	Maior Tensão	124,06 ±0,37	123,00	3,75	117,00	132,00	6,00	127,00
Philips 54 casos	Menor Tensão	102,52 ±1,18	101,00	8,67	89,00	123,00	15,00	111,00
	Maior Tensão	128,89 ±0,94	127,00	6,83	103,00	149,00	8,00	133,00
Toshiba 33 casos	Menor Tensão	100,36 ±1,78	98,00	8,88	86,00	116,00	13,00	105,75
	Maior Tensão	120,23 ±0,62	120,00	3,43	113,00	130,00	2,00	121,00

II – 6. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da tensão de aquisição nos números de TC do Acrílico de acordo com a marca do equipamento.

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Números de TC do Acrílico para valores de Menor Tensão	Between Groups	15545,952	3	5181,984	10,761	,000
	Within Groups	150722,256	326	481,541		
	Total	166268,208	329			
Números de TC do Acrílico para valores de Maior Tensão	Between Groups	2145,286	3	715,095	3,374	,019
	Within Groups	66340,727	326	211,951		
	Total	68486,013	329			

II – 7. Resultados estatísticos dos números de TC do LDPE de acordo com a marca do equipamento e variando a tensão de aquisição.

Números de TC do LDPE (HU)								
Marca	Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE 127 casos	Menor Tensão	-124,68 ±0,61	-125,50	6,59	-135,00	-89,00	5,00	-123,00
	Maior Tensão	-83,98 ±0,55	-83,00	6,09	-122,00	-74,00	5,00	-81,00
Siemens 116 casos	Menor Tensão	-128,64 ±0,82	-130,00	8,35	-156,00	-97,00	8,00	-125,00
	Maior Tensão	-92,50 ±0,69	-93,00	7,03	-118,00	-75,00	9,00	-87,50
Philips 54 casos	Menor Tensão	-125,65 ±1,40	-126,00	10,65	-147,00	-105,00	16,00	-118,00
	Maior Tensão	-87,58 ±1,10	-87,00	8,03	-111,00	-75,00	10,00	-81,00
Toshiba 33 casos	Menor Tensão	-132,72 ±3,26	-134,00	16,30	-164,00	-97,00	25,00	-119,25
	Maior Tensão	-101,48 ±1,64	-100,00	9,11	-120,00	-85,00	12,00	-95,00

II – 8. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da tensão de aquisição nos números de TC do LDPE de acordo com a marca do equipamento.

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Números de TC do LDPE para valores de Menor Tensão	Between Groups	20790,575	3	6930,192	8,666	,000
	Within Groups	250310,611	326	799,714		
	Total	271101,186	329			
Números de TC do LDPE para valores de Maior Tensão	Between Groups	9454,582	3	3151,527	21,068	,000
	Within Groups	46821,103	326	149,588		
	Total	56275,685	329			

II – 9. Resultados estatísticos dos números de TC do Ar com uma corrente de 100 mA de acordo com a marca do equipamento.

Números de TC do Ar (HU)								
Marca	Dimensão Amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE	127	-978,71 ±0,68	-978,00	7,64	-1001,00	-956,00	8,00	-974,00
Siemens	116	-1008,35 ±1,23	-1012,00	13,22	-1024,00	-958,00	12,00	-1004,00
Philips	54	-1007,11 ±1,02	-1008,00	7,52	-1024,00	-993,00	10,00	-1000,00
Toshiba	33	-1003,42 ±2,54	-1004,00	14,60	-1031,00	-978,00	22,00	-990,75

II – 10. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da corrente de 100 mA nos números de TC do Ar de acordo com a marca do equipamento.

**ANOVA**  
Números de TC do Ar com uma corrente de 100 mA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	63803,212	3	21267,737	185,382	,000
Within Groups	37285,317	326	114,724		
Total	101088,529	329			

II – 11. Resultados estatísticos dos números de TC do Teflon com uma corrente de 100 mA de acordo com a marca do equipamento.

Números de TC do Teflon (HU)								
Marca	Dimensão Amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE	127	956,25 ±1,45	959,00	16,36	919,00	993,00	23,00	968,00
Siemens	116	962,62 ±2,073	960,00	29,35	913,00	1115,00	25,00	971,75
Philips	54	949,07 ±7,94	952,00	58,41	866,00	1103,00	60,00	959,00
Toshiba	33	940,21 ±5,18	936,00	29,76	893,00	1041,00	43,00	962,75

II – 12. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da corrente de 100 mA nos números de TC do Teflon de acordo com a marca do equipamento.

**ANOVA**  
Números de TC do Teflon com uma corrente de 100 mA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12614,481	3	4204,827	4,338	,005
Within Groups	315017,507	326	969,285		
Total	327631,988	329			

II – 13. Resultados estatísticos dos números de TC do Acrílico de acordo com a marca do equipamento e variando a corrente.

Números de TC do Acrílico (HU)								
Marca	Dimensão Amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE	127	120,13 ±0,20	120,00	2,26	113,00	126,00	2,00	121,00
Siemens	116	118,36 ±0,44	117,00	4,67	104,00	128,00	7,00	122,00
Philips	54	122,44 ±0,78	120,50	5,76	113,00	139,00	9,00	127,25
Toshiba	33	117,18 ±0,68	117,00	3,89	105,00	127,00	4,00	119,00

II – 14. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da corrente de 100 mA nos números de TC do Acrílico de acordo com a marca do equipamento.

**ANOVA**  
Números de TC do Acrílico com uma corrente de 100 mA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	846,883	3	282,294	17,077	,000
Within Groups	5372,351	326	16,530		
Total	6219,234	329			

II – 15. Resultados estatísticos dos números de TC do LDPE de acordo com a marca do equipamento e uma corrente de 100 mA.

Números de TC do LDPE (HU)								
Marca	Dimensão Amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE	127	-91,74 ±0,28	-92,00	3,15	-101,00	-83,00	5,00	-89,00
Siemens	116	-100,11 ±0,77	-102,00	8,21	-127,00	-81,00	12,00	-93,00
Philips	54	-97,30 ±1,04	-97,00	7,64	-119,00	-83,00	8,00	-92,75
Toshiba	33	-105,45 ±1,09	-105,00	6,27	-118,00	-92,00	8,00	-101,00

II – 16. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da corrente de 100 mA nos números de TC do LDPE de acordo com a marca do equipamento.

**ANOVA**  
Números de TC do LDPE com uma corrente de 100 mA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7089,179	3	2363,060	58,247	,000
Within Groups	13185,137	326	40,570		
Total	20274,316	329			

II – 17. Resultados estatísticos dos números de TC do Ar de acordo com a marca do equipamento e com uma espessura de corte entre 5 e 6 mm.

Números de TC do Ar (HU)								
Marca	Dimensão Amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE	127	-986,45 ±0,86	-986,00	9,64	-1013,00	-955,00	9,00	-982,00
Siemens	116	-1007,63 ±1,18	-1012,00	12,69	-1024,00	-959,00	12,00	-1002,25
Philips	54	-1006,30 ±1,42	-1006,00	10,49	-1024,00	-967,00	12,00	-1000,00
Toshiba	33	-1005,94 ±2,40	-1003,00	13,81	-1035,00	-986,00	21,00	-995,00

II – 18. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da espessura de corte nos números de TC do Ar de acordo com a marca do equipamento.

## ANOVA

Números de TC do Ar para uma espessura de corte de 5-6 mm

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	33003,642	3	11001,214	84,997	,000
Within Groups	42064,887	326	129,430		
Total	75068,529	329			

II – 19. Resultados estatísticos dos números de TC do Teflon de acordo com a marca do equipamento e com uma espessura de corte entre 5 e 6 mm.

Números de TC do Teflon (HU)								
Marca	Dimensão Amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE	127	963,35 ±1,59	965,00	17,98	919,00	1007,00	24,00	975,00
Siemens	116	962,97 ±2,79	958,00	29,98	914,00	1118,00	25,00	971,75
Philips	54	950,24 ±8,35	953,00	61,33	859,00	1106,00	60,00	962,00
Toshiba	33	944,18 ±5,08	942,00	29,23	894,00	1040,00	41,00	962,00

II – 20. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da espessura de corte nos números de TC do Teflon de acordo com a marca do equipamento.

## ANOVA

Números de TC do Teflon para uma espessura de corte de 5-6 mm

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	23193,827	3	7731,276	3,350	,019
Within Groups	750070,635	326	2307,910		
Total	773264,462	329			

II – 21. Resultados estatísticos dos números de TC do Acrílico de acordo com a marca do equipamento e com uma espessura de corte entre 5 e 6 mm.

Números de TC do Acrílico (HU)								
Marca	Dimensão Amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE	127	120,67 ±0,23	121,00	2,64	110,00	129,00	3,00	122,00
Siemens	116	118,51 ±0,43	117,00	4,55	109,00	127,00	8,00	123,00
Philips	54	122,69 ±0,72	121,00	5,30	113,00	140,00	8,00	127,00
Toshiba	33	118,00 ±0,57	117,00	3,28	112,00	129,00	4,00	120,00

II – 22. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da espessura de corte nos números de TC do Acrílico de acordo com a marca do equipamento.

**ANOVA**

Números de TC do Acrílico para uma espessura de corte de 5-6 mm

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	830,226	3	276,742	17,710	,000
Within Groups	5078,625	326	15,627		
Total	5908,851	329			

II – 23. Resultados estatísticos dos números de TC do LDPE de acordo com a marca do equipamento e com uma espessura de corte entre 5 e 6 mm.

Números de TC do LDPE (HU)								
Marca	Dimensão Amostra	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE	127	-92,87 ±0,30	-93,00	3,43	-103,00	-85,00	4,00	-91,00
Siemens	116	-100,00 ±0,79	-102,00	8,54	-127,00	-81,00	13,00	-93,00
Philips	54	-97,39 ±1,11	-97,00	8,16	-119,00	-82,00	8,00	-92,75
Toshiba	33	-105,61 ±1,10	-106,00	6,33	-118,00	-93,00	9,00	-101,00

II – 24. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência da espessura de corte nos números de TC do LDPE de acordo com a marca do equipamento.

**ANOVA**

Números de TC do LDPE para uma espessura de corte de 5-6 mm

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5716,350	3	1905,450	42,710	,000
Within Groups	14499,395	326	44,614		
Total	20215,745	329			

II – 25. Resultados estatísticos dos números de TC do Ar de acordo com a marca do equipamento e o kernel.

Números de TC do Ar (HU)								
Marca	Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE 127 casos	Kernel	-977,75	-977,00	8,76	-1020,00	-956,00	10,00	-977,28
	Smooth	±0,77						
	Kernel	-987,68	-987,00	7,28	-1008,00	-968,00	10,00	-987,57
	Sharp	±0,65						
Siemens 116 casos	Kernel	-1013,03	-1015,00	11,76	-1024,00	-958,00	9,00	-1014,64
	Smooth	±1,09						
	Kernel	-991,50	-992,00	9,90	-1012,00	-950,00	8,00	-992,18
	Sharp	±0,92						
Philips 54 casos	Kernel	-1005,15	-1008,00	6,33	-1015,00	-993,00	11,00	-1005,30
	Smooth	±0,86						
	Kernel	-1006,06	-1007,00	7,77	-1025,00	-984,00	10,00	-1005,90
	Sharp	±1,06						
Toshiba 33 casos	Kernel	-991,58	-989,00	14,05	-1030,00	-969,00	20,00	-990,76
	Smooth	±2,45						
	Kernel	-1007,27	-1007,00	12,20	-1037,00	-983,00	9,00	-1006,97
	Sharp	±2,12						

II – 26. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência do kernel nos números de TC do Ar de acordo com a marca do equipamento.

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Números de TC do Ar para um Kernel Smooth	Between Groups	80346,118	3	26782,039	253,250	,000
	Within Groups	34475,546	326	105,753		
	Total	114821,664	329			
Números de TC do Ar para um Kernel Sharp	Between Groups	53840,848	3	17946,949	1,476	,221
	Within Groups	3964235,215	326	12160,231		
	Total	4018076,064	329			

II – 27. Resultados estatísticos dos números de TC do Teflon de acordo com a marca do equipamento e o kernel.

Números de TC do Teflon (HU)								
Marca	Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE 127 casos	Kernel	955,91	958,00	16,45	917,00	993,00	24,00	956,08
	Smooth	±1,46						
	Kernel	960,34	966,00	26,70	841,00	1010,00	29,00	963,02
	Sharp	±2,37						
Siemens 116 casos	Kernel	968,34	965,00	30,27	913,00	1116,00	24,00	965,87
	Smooth	±2,82						
	Kernel	951,23	951,00	16,18	902,00	1008,00	19,00	951,22
	Sharp	±1,51						
Philips 54 casos	Kernel	928,57	951,50	45,78	865,00	1101,00	79,00	927,02
	Smooth	±6,23						
	Kernel	937,48	924,00	54,01	865,00	1097,00	42,00	932,74
	Sharp	±7,35						
Toshiba 33 casos	Kernel	926,64	924,00	33,86	880,00	996,00	59,00	925,51
	Smooth	±5,89						
	Kernel	961,58	964,00	21,80	895,00	986,00	18,00	963,92
	Sharp	±3,79						

II – 28. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência do kernel nos números de TC do Teflon de acordo com a marca do equipamento.

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Números de TC do Teflon para um Kernel Smooth	Between Groups	108577,211	3	36192,404	18,506	,000
	Within Groups	637552,853	326	1955,684		
	Total	746130,064	329			
Números de TC do Teflon para um Kernel Sharp	Between Groups	23046,445	3	7682,148	8,659	,000
	Within Groups	289230,310	326	887,210		
	Total	312276,755	329			

II – 29. Resultados estatísticos dos números de TC do Acrílico de acordo com a marca do equipamento e o kernel.

Números de TC do Acrílico								
Marca	Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE 127 casos	Kernel	119,97	120,00	2,19	112,00	125,00	2,00	120,00
	Smooth	±0,19						
	Kernel	120,16	121,00	3,47	100,00	126,00	3,00	120,42
	Sharp	±0,31						
Siemens 116 casos	Kernel	118,61	118,00	4,26	111,00	127,00	7,00	118,57
	Smooth	±0,39						
	Kernel	118,03	117,00	4,57	109,00	117,00	7,00	117,91
	Sharp	±0,43						
Philips 54 casos	Kernel	122,56	121,00	4,89	114,00	131,00	9,00	122,57
	Smooth	±0,66						
	Kernel	112,93	117,00	9,53	98,00	128,00	18,00	112,95
	Sharp	±1,29						
Toshiba 33 casos	Kernel	116,52	117,00	3,03	107,00	121,00	3,00	116,75
	Smooth	±0,53						
	Kernel	117,85	117,00	3,99	103,00	125,00	4,00	118,06
	Sharp	±0,69						

II – 30. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência do kernel nos números de TC do Acrílico de acordo com a marca do equipamento.

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Números de TC do Acrílico para um Kernel Smooth	Between Groups	917,825	3	305,942	23,472	,000
	Within Groups	4249,208	326	13,034		
	Total	5167,033	329			
Números de TC do Acrílico para um Kernel Sharp	Between Groups	1230,436	3	410,145	10,651	,000
	Within Groups	12553,152	326	38,507		
	Total	13783,588	329			

II – 31. Resultados estatísticos dos números de TC do LDPE de acordo com a marca do equipamento e o kernel.

Números de TC do LDPE (HU)								
Marca	Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo interquartil	Percentil 75 (3ºQ)
GE 127 casos	Kernel Smooth	-91,50 ±0,28	-91,00	3,17	-100,00	-183,00	5,00	-91,45
	Kernel Sharp	-92,64 ±0,46	-93,00	5,25	-129,00	-77,00	6,00	-92,64
Siemens 116 casos	Kernel Smooth	-101,13 ±0,76	-102,00	8,22	-128,00	-82,00	11,00	-101,01
	Kernel Sharp	-97,30 ±0,66	-99,00	7,08	-112,00	-74,00	11,00	-97,52
Philips 54 casos	Kernel Smooth	-94,78 ±0,81	-96,00	5,92	-106,00	-82,00	10,00	-94,90
	Kernel Sharp	-102,17 ±1,78	-102,00	13,15	-127,00	-76,00	24,00	-102,27
Toshiba 33 casos	Kernel Smooth	-98,67 ±1,03	-98,00	5,91	-115,00	-89,00	7,00	-98,43
	Kernel Sharp	-100,70 ±1,27	-100,00	7,31	-120,00	-89,00	9,00	-100,36

II – 32. Resultados do teste *One-Way ANOVA* para o estudo da influência do kernel nos números de TC do LDPE de acordo com a marca do equipamento.

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Números de TC do LDPE para um Kernel Smooth	Between Groups	5868,865	3	1956,288	53,171	,000
	Within Groups	11994,286	326	36,792		
	Total	17863,152	329			
Números de TC do LDPE para um Kernel Sharp	Between Groups	4361,569	3	1453,856	23,678	,000
	Within Groups	20017,050	326	61,402		
	Total	24378,618	329			

## Apêndice III

Os testes de *Tukey* obtidos em SPSS, efetuados durante a análise e tratamento dos resultados, encontram-se apresentados neste apêndice.

III – 1. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da marca do equipamento nos números de TC medidos do Ar.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Números de TC do Ar Medidos

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	27,588 <sup>*</sup>	1,994	,000	22,44	32,74
	Siemens	28,021 <sup>*</sup>	1,577	,000	23,95	32,09
	Toshiba	22,772 <sup>*</sup>	2,428	,000	16,50	29,04
Philips	GE	-27,588 <sup>*</sup>	1,994	,000	-32,74	-22,44
	Siemens	,433	2,022	,997	-4,79	5,66
	Toshiba	-4,816	2,739	,295	-11,89	2,26
Siemens	GE	-28,021 <sup>*</sup>	1,577	,000	-32,09	-23,95
	Philips	-,433	2,022	,997	-5,66	4,79
	Toshiba	-5,249	2,451	,142	-11,58	1,08
Toshiba	GE	-22,772 <sup>*</sup>	2,428	,000	-29,04	-16,50
	Philips	4,816	2,739	,295	-2,26	11,89
	Siemens	5,249	2,451	,142	-1,08	11,58

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 2. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da marca do equipamento nos números de TC medidos do Acrílico.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Números de TC do Acrílico Medidos

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	-,824	,648	,581	-2,50	,85
	Siemens	1,514 <sup>*</sup>	,512	,017	,19	2,84
	Toshiba	1,025	,789	,564	-1,01	3,06
Philips	GE	,824	,648	,581	-,85	2,50
	Siemens	2,339 <sup>*</sup>	,657	,002	,64	4,04
	Toshiba	1,850	,890	,162	-,45	4,15
Siemens	GE	-1,514 <sup>*</sup>	,512	,017	-2,84	-,19
	Philips	-2,339 <sup>*</sup>	,657	,002	-4,04	-,64
	Toshiba	-,489	,796	,927	-2,55	1,57
Toshiba	GE	-1,025	,789	,564	-3,06	1,01
	Philips	-1,850	,890	,162	-4,15	,45
	Siemens	,489	,796	,927	-1,57	2,55

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 3. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da marca do equipamento nos números de TC medidos do LDPE.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Números de TC do LDPE Medidos

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	7,164*	1,118	,000	4,28	10,05
	Siemens	8,063*	,884	,000	5,78	10,35
	Toshiba	12,518*	1,362	,000	9,00	16,03
Philips	GE	-7,164*	1,118	,000	-10,05	-4,28
	Siemens	,899	1,134	,858	-2,03	3,83
	Toshiba	5,354*	1,536	,003	1,39	9,32
Siemens	GE	-8,063*	,884	,000	-10,35	-5,78
	Philips	-,899	1,134	,858	-3,83	2,03
	Toshiba	4,455*	1,375	,007	,90	8,00
Toshiba	GE	-12,518*	1,362	,000	-16,03	-9,00
	Philips	-5,354*	1,536	,003	-9,32	-1,39
	Siemens	-4,455*	1,375	,007	-8,00	-,90

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 4. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da tensão de aquisição nos números de TC medidos do Ar de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Números de TC do Ar para valores de Menor Tensão	GE	Philips	97,195*	34,053	,024	9,24	185,15
		Siemens	94,913*	27,648	,004	23,50	166,32
		Toshiba	-130,171*	41,991	,011	-238,63	-21,71
	Philips	GE	-97,195*	34,053	,024	-185,15	-9,24
		Siemens	-2,282	35,101	1,000	-92,94	88,38
		Toshiba	-227,366*	47,233	,000	-349,36	-105,37
	Siemens	GE	-94,913*	27,648	,004	-166,32	-23,50
		Philips	2,282	35,101	1,000	-88,38	92,94
		Toshiba	-225,084*	42,846	,000	-335,75	-114,42
	Toshiba	GE	130,171*	41,991	,011	21,71	238,63
		Philips	227,366*	47,233	,000	105,37	349,36
		Siemens	225,084*	42,846	,000	114,42	335,75
Números de TC do Ar para valores de Maior Tensão	GE	Philips	26,585	18,050	,455	-20,04	73,21
		Siemens	50,615*	14,655	,004	12,76	88,47
		Toshiba	9,115	22,258	,977	-48,37	66,60
	Philips	GE	-26,585	18,050	,455	-73,21	20,04
		Siemens	24,029	18,606	,569	-24,03	72,09
		Toshiba	-17,470	25,036	,898	-82,14	47,20
	Siemens	GE	-50,615*	14,655	,004	-88,47	-12,76
		Philips	-24,029	18,606	,569	-72,09	24,03
		Toshiba	-41,499	22,711	,262	-100,16	17,16
	Toshiba	GE	-9,115	22,258	,977	-66,60	48,37
		Philips	17,470	25,036	,898	-47,20	82,14
		Siemens	41,499	22,711	,262	-17,16	100,16

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 5. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da tensão de aquisição nos números de TC medidos do Teflon de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Números de TC do Teflon para valores de Menor Tensão	GE	Philips	-53,992	34,877	,410	-144,08	36,09
		Siemens	-61,498	28,317	,133	-134,64	11,64
		Toshiba	194,790*	43,008	,000	83,71	305,87
	Philips	GE	53,992	34,877	,410	-36,09	144,08
		Siemens	-7,505	35,951	,997	-100,36	85,35
		Toshiba	248,782*	48,376	,000	123,83	373,73
	Siemens	GE	61,498	28,317	,133	-11,64	134,64
		Philips	7,505	35,951	,997	-85,35	100,36
		Toshiba	256,287*	43,883	,000	142,94	369,63
	Toshiba	GE	-194,790*	43,008	,000	-305,87	-83,71
		Philips	-248,782*	48,376	,000	-373,73	-123,83
		Siemens	-256,287*	43,883	,000	-369,63	-142,94
Números de TC do Teflon para valores de Maior Tensão	GE	Philips	-4,575	18,207	,994	-51,60	42,45
		Siemens	-24,643	14,783	,343	-62,83	13,54
		Toshiba	1,513	22,452	1,000	-56,48	59,50
	Philips	GE	4,575	18,207	,994	-42,45	51,60
		Siemens	-20,068	18,768	,708	-68,54	28,41
		Toshiba	6,088	25,254	,995	-59,14	71,32
	Siemens	GE	24,643	14,783	,343	-13,54	62,83
		Philips	20,068	18,768	,708	-28,41	68,54
		Toshiba	26,156	22,909	,664	-33,01	85,33
	Toshiba	GE	-1,513	22,452	1,000	-59,50	56,48
		Philips	-6,088	25,254	,995	-71,32	59,14
		Siemens	-26,156	22,909	,664	-85,33	33,01

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 6. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da tensão de aquisição nos números de TC medidos do Acrílico de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Números de TC do Acrílico para valores de Menor Tensão	GE	Philips	-9,983*	3,565	,028	-19,19	-,78
		Siemens	-7,455	2,894	,051	-14,93	,02
		Toshiba	14,697*	4,396	,005	3,34	26,05
	Philips	GE	9,983*	3,565	,028	,78	19,19
		Siemens	2,528	3,675	,902	-6,96	12,02
		Toshiba	24,680*	4,945	,000	11,91	37,45
	Siemens	GE	7,455	2,894	,051	-,02	14,93
		Philips	-2,528	3,675	,902	-12,02	6,96
		Toshiba	22,152*	4,485	,000	10,57	33,74
	Toshiba	GE	-14,697*	4,396	,005	-26,05	-3,34
		Philips	-24,680*	4,945	,000	-37,45	-11,91
		Siemens	-22,152*	4,485	,000	-33,74	-10,57
Números de TC do Acrílico para valores de Maior Tensão	GE	Philips	-3,508	2,365	,449	-9,62	2,60
		Siemens	-1,046	1,920	,948	-6,01	3,91
		Toshiba	6,702	2,917	,101	-,83	14,23
	Philips	GE	3,508	2,365	,449	-2,60	9,62
		Siemens	2,462	2,438	,744	-3,84	8,76
		Toshiba	10,210*	3,281	,011	1,74	18,68
	Siemens	GE	1,046	1,920	,948	-3,91	6,01
		Philips	-2,462	2,438	,744	-8,76	3,84
		Toshiba	7,748*	2,976	,047	,06	15,43
	Toshiba	GE	-6,702	2,917	,101	-14,23	,83
		Philips	-10,210*	3,281	,011	-18,68	-1,74
		Siemens	-7,748*	2,976	,047	-15,43	-,06

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 7. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da tensão de aquisição nos números de TC medidos do LDPE de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Números de TC do LDPE para valores de Menor Tensão	GE	Philips	9,806	4,594	,145	-2,06	21,67
		Siemens	12,805*	3,730	,004	3,17	22,44
		Toshiba	-12,972	5,665	,103	-27,60	1,66
	Philips	GE	-9,806	4,594	,145	-21,67	2,06
		Siemens	2,999	4,736	,921	-9,23	15,23
		Toshiba	-22,777*	6,372	,002	-39,24	-6,32
	Siemens	GE	-12,805*	3,730	,004	-22,44	-3,17
		Philips	-2,999	4,736	,921	-15,23	9,23
		Toshiba	-25,777*	5,780	,000	-40,71	-10,85
	Toshiba	GE	12,972	5,665	,103	-1,66	27,60
		Philips	22,777*	6,372	,002	6,32	39,24
		Siemens	25,777*	5,780	,000	10,85	40,71
Números de TC do LDPE para valores de Maior Tensão	GE	Philips	3,302	1,987	,346	-1,83	8,43
		Siemens	9,786*	1,613	,000	5,62	13,95
		Toshiba	16,016*	2,450	,000	9,69	22,34
	Philips	GE	-3,302	1,987	,346	-8,43	1,83
		Siemens	6,485*	2,048	,009	1,19	11,77
		Toshiba	12,714*	2,756	,000	5,60	19,83
	Siemens	GE	-9,786*	1,613	,000	-13,95	-5,62
		Philips	-6,485*	2,048	,009	-11,77	-1,19
		Toshiba	6,230	2,500	,063	-.23	12,69
	Toshiba	GE	-16,016*	2,450	,000	-22,34	-9,69
		Philips	-12,714*	2,756	,000	-19,83	-5,60
		Siemens	-6,230	2,500	,063	-12,69	,23

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 8. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da corrente de 100 mA nos números de TC medidos do Ar de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Números de TC do Ar com uma corrente de 100 mA

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	28,402*	1,740	,000	23,91	32,90
	Siemens	29,455*	1,376	,000	25,90	33,01
	Toshiba	25,229*	2,119	,000	19,76	30,70
Philips	GE	-28,402*	1,740	,000	-32,90	-23,91
	Siemens	1,053	1,765	,933	-3,50	5,61
	Toshiba	-3,174	2,389	,546	-9,34	3,00
Siemens	GE	-29,455*	1,376	,000	-33,01	-25,90
	Philips	-1,053	1,765	,933	-5,61	3,50
	Toshiba	-4,226	2,139	,199	-9,75	1,30
Toshiba	GE	-25,229*	2,119	,000	-30,70	-19,76
	Philips	3,174	2,389	,546	-3,00	9,34
	Siemens	4,226	2,139	,199	-1,30	9,75

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 9. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da corrente de 100 mA nos números de TC medidos do Teflon de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Números de TC do Teflon com uma corrente de 100 mA

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	7,178	5,058	,488	-5,88	20,24
	Siemens	-4,239	3,999	,714	-14,57	6,09
	Toshiba	16,064*	6,158	,047	,16	31,97
Philips	GE	-7,178	5,058	,488	-20,24	5,88
	Siemens	-11,417	5,129	,118	-24,66	1,83
	Toshiba	8,887	6,945	,577	-9,05	26,82
Siemens	GE	4,239	3,999	,714	-6,09	14,57
	Philips	11,417	5,129	,118	-1,83	24,66
	Toshiba	20,304*	6,217	,007	4,25	36,36
Toshiba	GE	-16,064*	6,158	,047	-31,97	-,16
	Philips	-8,887	6,945	,577	-26,82	9,05
	Siemens	-20,304*	6,217	,007	-36,36	-4,25

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 10. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da corrente de 100 mA nos números de TC medidos do Acrílico de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Números de TC do Acrílico com uma corrente de 100 mA

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	-2,311*	,661	,003	-4,02	-,60
	Siemens	1,772*	,522	,004	,42	3,12
	Toshiba	3,009*	,804	,001	,93	5,09
Philips	GE	2,311*	,661	,003	,60	4,02
	Siemens	4,082*	,670	,000	2,35	5,81
	Toshiba	5,319*	,907	,000	2,98	7,66
Siemens	GE	-1,772*	,522	,004	-3,12	-,42
	Philips	-4,082*	,670	,000	-5,81	-2,35
	Toshiba	1,237	,812	,424	-,86	3,33
Toshiba	GE	-3,009*	,804	,001	-5,09	-,93
	Philips	-5,319*	,907	,000	-7,66	-2,98
	Siemens	-1,237	,812	,424	-3,33	,86

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 11. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da corrente de 100 mA nos números de TC medidos do LDPE de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Números de TC do LDPE com uma corrente de 100 mA

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	5,556*	1,035	,000	2,88	8,23
	Siemens	8,320*	,818	,000	6,21	10,43
	Toshiba	14,072*	1,260	,000	10,82	17,33
Philips	GE	-5,556*	1,035	,000	-8,23	-2,88
	Siemens	2,764*	1,049	,044	,05	5,47
	Toshiba	8,516*	1,421	,000	4,85	12,19
Siemens	GE	-8,320*	,818	,000	-10,43	-6,21
	Philips	-2,764*	1,049	,044	-5,47	-,05
	Toshiba	5,752*	1,272	,000	2,47	9,04
Toshiba	GE	-14,072*	1,260	,000	-17,33	-10,82
	Philips	-8,516*	1,421	,000	-12,19	-4,85
	Siemens	-5,752*	1,272	,000	-9,04	-2,47

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 12. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da espessura de corte nos números de TC medidos do Ar de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Números de TC do Ar para uma espessura de corte de 5-6 mm

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	19,847*	1,848	,000	15,07	24,62
	Siemens	21,060*	1,461	,000	17,29	24,83
	Toshiba	19,895*	2,250	,000	14,08	25,71
Philips	GE	-19,847*	1,848	,000	-24,62	-15,07
	Siemens	1,212	1,874	,917	-3,63	6,05
	Toshiba	,047	2,538	1,000	-6,51	6,60
Siemens	GE	-21,060*	1,461	,000	-24,83	-17,29
	Philips	-1,212	1,874	,917	-6,05	3,63
	Toshiba	-1,165	2,272	,956	-7,03	4,70
Toshiba	GE	-19,895*	2,250	,000	-25,71	-14,08
	Philips	-,047	2,538	1,000	-6,60	6,51
	Siemens	1,165	2,272	,956	-4,70	7,03

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 13. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da espessura de corte nos números de TC medidos do Teflon de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Números de TC do Teflon para uma espessura de corte de 5-6 mm

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	13,106	7,805	,336	-7,05	33,26
	Siemens	-5,507	6,170	,809	-21,44	10,43
	Toshiba	19,221	9,502	,182	-5,32	43,76
Philips	GE	-13,106	7,805	,336	-33,26	7,05
	Siemens	-18,613	7,914	,089	-39,05	1,82
	Toshiba	6,116	10,717	,941	-21,56	33,79
Siemens	GE	5,507	6,170	,809	-10,43	21,44
	Philips	18,613	7,914	,089	-1,82	39,05
	Toshiba	24,728	9,593	,051	-,04	49,50
Toshiba	GE	-19,221	9,502	,182	-43,76	5,32
	Philips	-6,116	10,717	,941	-33,79	21,56
	Siemens	-24,728	9,593	,051	-49,50	,04

III – 14. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da espessura de corte nos números de TC medidos do Acrílico de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Números de TC do Acrílico para uma espessura de corte de 5-6 mm

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	-2,016 <sup>*</sup>	,642	,010	-3,67	-,36
	Siemens	2,178 <sup>*</sup>	,508	,000	,87	3,49
	Toshiba	2,607 <sup>*</sup>	,782	,005	,59	4,63
Philips	GE	2,016 <sup>*</sup>	,642	,010	,36	3,67
	Siemens	4,194 <sup>*</sup>	,651	,000	2,51	5,88
	Toshiba	4,623 <sup>*</sup>	,882	,000	2,35	6,90
Siemens	GE	-2,178 <sup>*</sup>	,508	,000	-3,49	-,87
	Philips	-4,194 <sup>*</sup>	,651	,000	-5,88	-2,51
	Toshiba	,429	,789	,948	-1,61	2,47
Toshiba	GE	-2,607 <sup>*</sup>	,782	,005	-4,63	-,59
	Philips	-4,623 <sup>*</sup>	,882	,000	-6,90	-2,35
	Siemens	-,429	,789	,948	-2,47	1,61

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 15. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da espessura de corte nos números de TC medidos do LDPE de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Números de TC do LDPE para uma espessura de corte de 5-6 mm

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	4,515*	1,085	,000	1,71	7,32
	Siemens	7,066*	,858	,000	4,85	9,28
	Toshiba	13,126*	1,321	,000	9,71	16,54
Philips	GE	-4,515*	1,085	,000	-7,32	-1,71
	Siemens	2,551	1,100	,096	-,29	5,39
	Toshiba	8,611*	1,490	,000	4,76	12,46
Siemens	GE	-7,066*	,858	,000	-9,28	-4,85
	Philips	-2,551	1,100	,096	-5,39	,29
	Toshiba	6,060*	1,334	,000	2,62	9,50
Toshiba	GE	-13,126*	1,321	,000	-16,54	-9,71
	Philips	-8,611*	1,490	,000	-12,46	-4,76
	Siemens	-6,060*	1,334	,000	-9,50	-2,62

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 16. Resultados do teste de *Tukey* para a influência do kernel nos números de TC medidos do Ar de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Números de TC do Ar para um Kernel Smooth	GE	Philips	27,400*	1,671	,000	23,09	31,71
		Siemens	35,080*	1,321	,000	31,67	38,49
		Toshiba	13,737*	2,009	,000	8,55	18,93
	Philips	GE	-27,400*	1,671	,000	-31,71	-23,09
		Siemens	7,679*	1,694	,000	3,30	12,05
		Toshiba	-13,663*	2,272	,000	-19,53	-7,80
	Siemens	GE	-35,080*	1,321	,000	-38,49	-31,67
		Philips	-7,679*	1,694	,000	-12,05	-3,30
		Toshiba	-21,343*	2,029	,000	-26,58	-16,10
	Toshiba	GE	-13,737*	2,009	,000	-18,93	-8,55
		Philips	13,663*	2,272	,000	7,80	19,53
		Siemens	21,343*	2,029	,000	16,10	26,58
Números de TC do Ar para um Kernel Sharp	GE	Philips	22,315	17,915	,598	-23,95	68,58
		Siemens	-9,335	14,163	,912	-45,91	27,24
		Toshiba	24,260	21,546	,674	-31,38	79,90
	Philips	GE	-22,315	17,915	,598	-68,58	23,95
		Siemens	-31,650	18,166	,304	-78,56	15,26
		Toshiba	1,944	24,366	1,000	-60,98	64,86
	Siemens	GE	9,335	14,163	,912	-27,24	45,91
		Philips	31,650	18,166	,304	-15,26	78,56
		Toshiba	33,595	21,756	,412	-22,59	89,78
	Toshiba	GE	-24,260	21,546	,674	-79,90	31,38
		Philips	-1,944	24,366	1,000	-64,86	60,98
		Siemens	-33,595	21,756	,412	-89,78	22,59

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 17. Resultados do teste de *Tukey* para a influência do kernel nos números de TC medidos do Teflon de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Números de TC do Teflon para um Kernel Smooth	GE	Philips	27,339*	7,184	,001	8,79	45,89
		Siemens	-18,069*	5,680	,009	-32,74	-3,40
		Toshiba	30,550*	8,641	,003	8,24	52,86
	Philips	GE	-27,339*	7,184	,001	-45,89	-8,79
		Siemens	-45,409*	7,285	,000	-64,22	-26,60
		Toshiba	3,210	9,771	,988	-22,02	28,44
	Siemens	GE	18,069*	5,680	,009	3,40	32,74
		Philips	45,409*	7,285	,000	26,60	64,22
		Toshiba	48,619*	8,725	,000	26,09	71,15
	Toshiba	GE	-30,550*	8,641	,003	-52,86	-8,24
		Philips	-3,210	9,771	,988	-28,44	22,02
		Siemens	-48,619*	8,725	,000	-71,15	-26,09
Números de TC do Teflon para um Kernel Sharp	GE	Philips	22,857*	4,839	,000	10,36	35,35
		Siemens	9,192	3,825	,079	-,69	19,07
		Toshiba	-2,055	5,820	,985	-17,08	12,97
	Philips	GE	-22,857*	4,839	,000	-35,35	-10,36
		Siemens	-13,665*	4,907	,029	-26,34	-,99
		Toshiba	-24,912*	6,581	,001	-41,91	-7,92
	Siemens	GE	-9,192	3,825	,079	-19,07	,69
		Philips	13,665*	4,907	,029	,99	26,34
		Toshiba	-11,247	5,877	,224	-26,42	3,93
	Toshiba	GE	2,055	5,820	,985	-12,97	17,08
		Philips	24,912*	6,581	,001	7,92	41,91
		Siemens	11,247	5,877	,224	-3,93	26,42

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 18. Resultados do teste de *Tukey* para a influência do kernel nos números de TC medidos do Acrílico de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Números de TC do Acrílico para um Kernel Smooth	GE	Philips	-2,587*	,587	,000	-4,10	-1,07
		Siemens	1,365*	,464	,018	,17	2,56
		Toshiba	3,453*	,705	,000	1,63	5,27
	Philips	GE	2,587*	,587	,000	1,07	4,10
		Siemens	3,952*	,595	,000	2,42	5,49
		Toshiba	6,040*	,798	,000	3,98	8,10
	Siemens	GE	-1,365*	,464	,018	-2,56	-,17
		Philips	-3,952*	,595	,000	-5,49	-2,42
		Toshiba	2,088*	,712	,019	,25	3,93
	Toshiba	GE	-3,453*	,705	,000	-5,27	-1,63
		Philips	-6,040*	,798	,000	-8,10	-3,98
		Siemens	-2,088*	,712	,019	-3,93	-,25
Números de TC do Acrílico para um Kernel Sharp	GE	Philips	5,657*	1,008	,000	3,05	8,26
		Siemens	2,132*	,797	,039	,07	4,19
		Toshiba	2,218	1,212	,261	-,91	5,35
	Philips	GE	-5,657*	1,008	,000	-8,26	-3,05
		Siemens	-3,526*	1,022	,004	-6,17	-,89
		Toshiba	-3,439	1,371	,060	-6,98	,10
	Siemens	GE	-2,132*	,797	,039	-4,19	-,07
		Philips	3,526*	1,022	,004	,89	6,17
		Toshiba	,086	1,224	1,000	-3,07	3,25
	Toshiba	GE	-2,218	1,212	,261	-5,35	,91
		Philips	3,439	1,371	,060	-,10	6,98
		Siemens	-,086	1,224	1,000	-3,25	3,07

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 19. Resultados do teste de *Tukey* para a influência do kernel nos números de TC medidos do LDPE de acordo com a marca do equipamento.

**Multiple Comparisons**

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Números de TC do LDPE para um Kernel Smooth	GE	Philips	3,282*	,985	,005	,74	5,83
		Siemens	9,556*	,779	,000	7,54	11,57
		Toshiba	7,292*	1,185	,000	4,23	10,35
	Philips	GE	-3,282*	,985	,005	-5,83	-,74
		Siemens	6,274*	,999	,000	3,69	8,85
		Toshiba	4,010*	1,340	,016	,55	7,47
	Siemens	GE	-9,556*	,779	,000	-11,57	-7,54
		Philips	-6,274*	,999	,000	-8,85	-3,69
		Toshiba	-2,264	1,197	,234	-5,35	,83
	Toshiba	GE	-7,292*	1,185	,000	-10,35	-4,23
		Philips	-4,010*	1,340	,016	-7,47	-,55
		Siemens	2,264	1,197	,234	-,83	5,35
Números de TC do LDPE para um Kernel Sharp	GE	Philips	9,529*	1,273	,000	6,24	12,82
		Siemens	4,604*	1,006	,000	2,00	7,20
		Toshiba	8,393*	1,531	,000	4,44	12,35
	Philips	GE	-9,529*	1,273	,000	-12,82	-6,24
		Siemens	-4,925*	1,291	,001	-8,26	-1,59
		Toshiba	-1,136	1,731	,913	-5,61	3,33
	Siemens	GE	-4,604*	1,006	,000	-7,20	-2,00
		Philips	4,925*	1,291	,001	1,59	8,26
		Toshiba	3,789	1,546	,070	-,20	7,78
	Toshiba	GE	-8,393*	1,531	,000	-12,35	-4,44
		Philips	1,136	1,731	,913	-3,33	5,61
		Siemens	-3,789	1,546	,070	-7,78	,20

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 20. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da marca do equipamento na resolução espacial.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Frequência Espacial (lp/cm)

Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	,514	,215	,081	-,04	1,07
	Siemens	-,552*	,170	,007	-,99	-,11
	Toshiba	,090	,259	,985	-,58	,76
Philips	GE	-,514	,215	,081	-1,07	,04
	Siemens	-1,066*	,218	,000	-1,63	-,50
	Toshiba	-,424	,293	,470	-1,18	,33
Siemens	GE	,552*	,170	,007	,11	,99
	Philips	1,066*	,218	,000	,50	1,63
	Toshiba	,642	,261	,069	-,03	1,32
Toshiba	GE	-,090	,259	,985	-,76	,58
	Philips	,424	,293	,470	-,33	1,18
	Siemens	-,642	,261	,069	-1,32	,03

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 21. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da tensão de aquisição na resolução espacial.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Frequência Espacial variando a Tensão  
Tukey HSD

(I) Tensão	(J) Tensão	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
80	120	-,275*	,112	,037	-,54	-,01
	140	-,031	,124	,966	-,32	,26
120	80	,275*	,112	,037	,01	,54
	140	,244	,118	,097	-,03	,52
140	80	,031	,124	,966	-,26	,32
	120	-,244	,118	,097	-,52	,03

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 22. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da corrente na resolução espacial.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Resolução Espacial variando a Corrente  
Tukey HSD

(I) CB	(J) CB	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
100	200	,000	,137	1,000	-,32	,32
	300	-,915*	,121	,000	-1,20	-,63
200	100	,000	,137	1,000	-,32	,32
	300	-,914*	,151	,000	-1,27	-,56
300	100	,915*	,121	,000	,63	1,20
	200	,914*	,151	,000	,56	1,27

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 23. Resultados do teste de *Tukey* para a influência do FOV na resolução espacial.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Resolução Espacial variando o FOV  
Tukey HSD

(I) FOV	(J) FOV	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
100	200	,774*	,167	,000	,34	1,20
	300	1,706*	,158	,000	1,30	2,11
	400	3,308*	,193	,000	2,81	3,80
200	100	-,774*	,167	,000	-1,20	-,34
	300	,932*	,154	,000	,54	1,33
	400	2,534*	,189	,000	2,05	3,02
300	100	-1,706*	,158	,000	-2,11	-1,30
	200	-,932*	,154	,000	-1,33	-,54
	400	1,602*	,181	,000	1,14	2,07
400	100	-3,308*	,193	,000	-3,80	-2,81
	200	-2,534*	,189	,000	-3,02	-2,05
	300	-1,602*	,181	,000	-2,07	-1,14

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 24. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da tensão de aquisição na resolução de baixo contraste.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Resolução de Contraste a 1% variando a Tensão

Tukey HSD

(I) Tensão	(J) Tensão	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
80	120	1,243 <sup>*</sup>	,076	,000	1,06	1,42
	140	1,312 <sup>*</sup>	,080	,000	1,13	1,50
120	80	-1,243 <sup>*</sup>	,076	,000	-1,42	-1,06
	140	,070	,080	,659	-,12	,26
140	80	-1,312 <sup>*</sup>	,080	,000	-1,50	-1,13
	120	-,070	,080	,659	-,26	,12

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 25. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da corrente na resolução de baixo contraste.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Resolução de Contraste a 1% variando a Corrente

Tukey HSD

(I) Corrente (mA)	(J) Corrente (mA)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
100	200	-,021	,082	,965	-,21	,17
	300	1,126 <sup>*</sup>	,091	,000	,91	1,34
200	100	,021	,082	,965	-,17	,21
	300	1,147 <sup>*</sup>	,093	,000	,93	1,37
300	100	-1,126 <sup>*</sup>	,091	,000	-1,34	-,91
	200	-1,147 <sup>*</sup>	,093	,000	-1,37	-,93

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 26. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da espessura de corte na resolução de baixo contraste.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Resolução de Contraste variando a Espessura de Corte

Tukey HSD

(I) Espessura de Corte (mm)	(J) Espessura de Corte (mm)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1-3	4-6	1,087 <sup>*</sup>	,171	,000	,68	1,49
	7-9	1,779 <sup>*</sup>	,220	,000	1,26	2,30
4-6	1-3	-1,087 <sup>*</sup>	,171	,000	-1,49	-,68
	7-9	,692 <sup>*</sup>	,168	,000	,30	1,09
7-9	1-3	-1,779 <sup>*</sup>	,220	,000	-2,30	-1,26
	4-6	-,692 <sup>*</sup>	,168	,000	-1,09	-,30

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 27. Resultados do teste de *Tukey* para a influência do FOV na resolução de baixo contraste.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Resolução de Contraste a 1% variando o FOV  
Tukey HSD

(I) FOV	(J) FOV	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
100	200	-,017	,083	,997	-,23	,20
	300	,011	,083	,999	-,20	,22
	400	-,271*	,081	,005	-,48	-,06
200	100	,017	,083	,997	-,20	,23
	300	,028	,082	,986	-,18	,24
	400	-,254*	,080	,009	-,46	-,05
300	100	-,011	,083	,999	-,22	,20
	200	-,028	,082	,986	-,24	,18
	400	-,282*	,080	,003	-,49	-,08
400	100	,271*	,081	,005	,06	,48
	200	,254*	,080	,009	,05	,46
	300	,282*	,080	,003	,08	,49

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 28. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da marca do equipamento no ruído.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Ruído  
Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	-,10712	,05995	,282	-,2619	,0477
	Siemens	,07472	,04739	,393	-,0477	,1971
	Toshiba	-,07161	,07210	,753	-,2578	,1146
Philips	GE	,10712	,05995	,282	-,0477	,2619
	Siemens	,18184*	,06079	,016	,0249	,3388
	Toshiba	,03551	,08154	,972	-,1750	,2461
Siemens	GE	-,07472	,04739	,393	-,1971	,0477
	Philips	-,18184*	,06079	,016	-,3388	-,0249
	Toshiba	-,14633	,07280	,186	-,3343	,0417
Toshiba	GE	,07161	,07210	,753	-,1146	,2578
	Philips	-,03551	,08154	,972	-,2461	,1750
	Siemens	,14633	,07280	,186	-,0417	,3343

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 29. Resultados do teste de *Tukey* para a influência da marca do equipamento na uniformidade.

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Uniformidade  
Tukey HSD

(I) Marca do Equipamento	(J) Marca do Equipamento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GE	Philips	5,00079*	,41930	,000	3,9180	6,0836
	Siemens	-,03025	,33148	1,000	-,8862	,8257
	Toshiba	-1,47800*	,50429	,019	-2,7803	-,1757
Philips	GE	-5,00079*	,41930	,000	-6,0836	-3,9180
	Siemens	-5,03103*	,42519	,000	-6,1290	-3,9331
	Toshiba	-6,47879*	,57028	,000	-7,9514	-5,0061
Siemens	GE	,03025	,33148	1,000	-,8257	,8862
	Philips	5,03103*	,42519	,000	3,9331	6,1290
	Toshiba	-1,44775*	,50920	,024	-2,7627	-,1328
Toshiba	GE	1,47800*	,50429	,019	,1757	2,7803
	Philips	6,47879*	,57028	,000	5,0061	7,9514
	Siemens	1,44775*	,50920	,024	,1328	2,7627

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 30. Resultados do teste de *Tukey* para a influência do ano de intervenção no índice de dose medido com uma tensão de aquisição de 80-90 kV e um protocolo de cabeça.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: CTDIw Medido com uma Tensão 80-90 kV

Tukey HSD

(I) Ano de Intervenção	(J) Ano de Intervenção	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2014	2015	2,85505*	,82132	,003	,7341	4,9760
	2016	2,51431*	,77909	,007	,5025	4,5262
	2017	2,53538	1,24618	,177	-,6827	5,7534
2015	2014	-2,85505*	,82132	,003	-4,9760	-,7341
	2016	-,34074	,78368	,972	-2,3645	1,6830
	2017	-,31967	1,24905	,994	-3,5451	2,9058
2016	2014	-2,51431*	,77909	,007	-4,5262	-,5025
	2015	,34074	,78368	,972	-1,6830	2,3645
	2017	,02107	1,22170	1,000	-3,1338	3,1759
2017	2014	-2,53538	1,24618	,177	-5,7534	,6827
	2015	,31967	1,24905	,994	-2,9058	3,5451
	2016	-,02107	1,22170	1,000	-3,1759	3,1338

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

III – 31. Resultados do teste de *Tukey* para a influência do ano de intervenção no índice de dose medido com uma tensão de aquisição de 80-90 kV e um protocolo de corpo.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: CTDIw Medido com uma Tensão 80-90 kV

Tukey HSD

(I) Ano de Intervenção	(J) Ano de Intervenção	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2014	2015	1,27264	,54205	,090	-,1271	2,6724
	2016	1,46076*	,51418	,025	,1330	2,7886
	2017	1,59539	,82245	,214	-,5285	3,7192
2015	2014	-1,27264	,54205	,090	-2,6724	,1271
	2016	,18813	,51721	,984	-1,1475	1,5237
	2017	,32275	,82435	,980	-1,8060	2,4515
2016	2014	-1,46076*	,51418	,025	-2,7886	-,1330
	2015	-,18813	,51721	,984	-1,5237	1,1475
	2017	,13463	,80630	,998	-1,9475	2,2168
2017	2014	-1,59539	,82245	,214	-3,7192	,5285
	2015	-,32275	,82435	,980	-2,4515	1,8060
	2016	-,13463	,80630	,998	-2,2168	1,9475

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.