



**Escola Superior
de Tecnologia
da Saúde**

Politécnico de Coimbra

Inês Marques Barbosa

AVALIAÇÃO DE FRATURAS COM RECURSO A TC DE DUPLA ENERGIA

VOLUME 1

Dissertação no âmbito do Mestrado em Imagem Médica e Radioterapia, orientada pelo Professor Doutor Mário João Gonçalves Monteiro e coorientada pelo Professor Doutor João Paulo Figueiredo apresentada à Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra.

Abril de 2025



**Escola Superior
de Tecnologia
da Saúde**
Politécnico de Coimbra

Inês Marques Barbosa

Avaliação de fraturas com recurso a TC de Dupla Energia

Mestrado em Imagem Médica e Radioterapia

Departamento de Imagem Médica e Radioterapia

Coimbra, 2025

Dissertação submetida à Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Imagem Médica e Radioterapia, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Mário João Gonçalves Monteiro e orientação partilhada do Professor Doutor João Paulo Figueiredo.

Coimbra, 30 de abril de 2025

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, uma palavra de agradecimento e apreço ao Professor Doutor Mário João Gonçalves Monteiro, pela sua orientação, total apoio, disponibilidade, pelas opiniões e críticas, pelo aconselhamento assertivo e pelo estímulo permanente, que muito contribuíram para aumentar o desafio e melhorar a profundidade e clareza da investigação.

Ao Professor Doutor João Paulo Figueiredo, pela clareza, rigor e total disponibilidade no auxílio na colaboração do tratamento estatístico dos resultados.

A todos os representantes do Hospital da Luz Coimbra pela colaboração, e disponibilidade na execução da investigação.

A todos os Médicos e Técnicos de Radiologia do Hospital da Luz Coimbra que prontamente se disponibilizaram para colaborar na realização deste projeto, respondendo a um questionário.

A todos os professores do mestrado, pelos conhecimentos e competências que me transmitiram ao longo deste percurso académico, que culminaram na elaboração desta dissertação.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, que sempre se mostraram interessados na tese e me apoiaram incondicionalmente.

Por último, tendo consciência que sozinha nada disto seria possível, dirijo um agradecimento especial aos meus pais e namorado, por serem modelos de coragem, pelo apoio, incentivo, amor e amizade.

RESUMO

Introdução: As fraturas são lesões ósseas que consistem na perda da continuidade óssea. O edema da medula óssea é normalmente uma resposta a uma lesão. No caso de ser uma fratura pode ser fundamental para a identificação da mesma. Embora a radiografia seja o exame de primeira linha, pode não revelar edema ósseo. A Tomografia Computorizada é uma das modalidades de referência no diagnóstico de fraturas nomeadamente a Tomografia Computorizada de Dupla Energia, através do pós-processamento de imagens em *Bone Marrow*.

Objetivo: A investigação teve como intuito avaliar as vantagens do recurso à Tomografia Computorizada de Dupla Energia com pós-processamento de imagens em *Bone Marrow* quando se pretende diagnosticar fraturas.

Material e Métodos: O estudo é composto por uma amostra de base hospitalar constituída por 50 exames de Tomografia Computorizada, recolhidos através do PACS do Hospital da Luz Coimbra, cujos doentes recorreram ao serviço de imagiologia com suspeita de fratura. As imagens foram pós-processadas em *Bone Marrow*. De seguida, elaborou-se um questionário, que foi respondido por 4 avaliadores (com 20 anos de experiência). Após a recolha de dados e introdução dos mesmos numa base de dados no IBM SPSS *Statistics* foi realizada a sua análise através de estatística descritiva e testes de hipóteses.

Resultados: A maioria dos achados imagiológicos foram traços de fratura, sendo 26,6% fraturas da tibiotársica. A presença de artefactos foi apenas de 2,0%. Verificou-se que as imagens pós-processadas em *Bone Marrow*, para além de possuírem uma boa qualidade, apresentavam correspondência com as imagens de Tomografia Computorizada. Os avaliadores concordaram que a adição deste pós-processamento contribuiu significativamente para a análise das imagens, facilitando a identificação de fraturas.

Conclusão: Recorrer a imagens de Tomografia Computorizada pós-processadas em *Bone Marrow* revelou ser uma mais-valia quando o objetivo é diagnosticar pequenas fraturas.

Palavras-chave: Fratura; Edema da Medula Óssea, Tomografia Computorizada de Dupla Energia, *Bone Marrow*

ABSTRACT

Introduction: Fractures are bone lesions that consist on the loss of bone continue. Bone Marrow edema is a normal reaction to a lesion. In case of a fracture, it can be crucial for its identification. Although a radiograph is the first-line examination, it may not reveal bone edema. Computed Tomography is one of the reference modalities in the diagnosis of fractures, particularly Dual-Energy Computed Tomography, through post-processing of images in Bone Marrow.

Objective: The investigation aimed to evaluate the advantages of using Dual-Energy Computed Tomography with post-processing of images Bone Marrow for the diagnosis of fractures.

Materials and Methods: The study is composed of hospital base sample consisting of 50 CT exams, collected through the PACS of Hospital da Luz de Coimbra, where patients attended the Imaging Department with suspected fracture. The images were post-processed in Bone Marrow. A questionnaire was then prepared and answered by 2 technicians and 2 doctors (with 20 years of experience). After collecting all the data and introducing it into a database in IBM SPSS Statistics, analysis was carried out using descriptive statistics and hypothesis tests.

Results: The majority of imaging findings were fracture traces, 26,6% of which were tibio tarsal fractures. The presence of artefacts was only 2,0%. It was verified that the post-processed images in Bone Marrow, while they have a good image quality, they also corresponded with Computed Tomography images. The evaluators agreed that the addition of this post-processing significantly contributed to the image analysis, facilitating the identification of fractures.

Conclusions: Using post-processed CT images in Bone Marrow proved to be an asset when the objective is to diagnose small fractures.

Keywords: Fracture; Bone Marrow Edema; Dual Energy Computed Tomography; Bone Marrow;

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	viii
RESUMO	x
ABSTRACT.....	xi
ÍNDICE	xii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xvii
PARTE I.....	18
INTRODUÇÃO.....	19
1. FRATURA.....	21
2. MEDULA ÓSSEA	23
2.1. EDEMA DA MEDULA ÓSSEA.....	24
3. GRUPOS DE RISCO PARA DESENVOLVER FRATURAS	26
4. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DA TC.....	28
5. TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA.....	29
5.1. COMPONENTES TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA.....	30
5.2. TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA DE DUPLA ENERGIA	31
5.3. VANTAGENS DA TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA DE DUPLA ENERGIA	34
5.4. VANTAGENS DA TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA DE DUPLA ENERGIA PARA AVALIAR FRATURAS	36
5.5. APLICAÇÕES DE PÓS-PROCESSAMENTO NA TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA DE DUPLA ENERGIA.....	38

PARTE II	43
OBJETIVO	44
METODOLOGIA	45
INTRODUÇÃO	45
SELEÇÃO DA AMOSTRA	47
RECOLHA DE DADOS - Parte I.....	47
RECOLHA DE DADOS - Parte II	49
RESULTADOS	50
DISCUSSÃO	58
LIMITAÇÕES DO ESTUDO E PERSPETIVAS FUTURAS	63
CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS	65
ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de frequências da presença de fratura em função do avaliador	50
Tabela 2 - Distribuição de frequências dos achados imagiológicos em função do avaliador	51
Tabela 3 - Distribuição de frequências da qualidade da avaliação de imagens de TCDE pós-processadas em Bone Marrow em função do avaliador	52
Tabela 4 - Qualidade da avaliação das imagens de DE através do BM, de acordo com a existência ou não de fratura	53
Tabela 5 - Qualidade da avaliação das imagens de DE através do BM em função da presença ou não de artefactos	54
Tabela 6 - Correspondência do local da fratura nas imagens de DE segundo médicos e técnicos	55
Tabela 7-- Distribuição de frequências da mais-valia da adição do Bone Marrow para avaliação de fraturas, em função do avaliador	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Principais tipos de fratura encontrados nos ossos.....	22
Figura 2 - Variação típica na distribuição da medula vermelha em função da idade.....	23
Figura 3 - Principais componentes de uma TC	30
Figura 4 - O espectro de raios-x varia dependendo da voltagem do tubo. O valor máximo do espectro de raios-x é igual à quilovoltagem do tubo de raios-x	31
Figura 5 - DECT de fonte dupla (Siemens).....	32
Figura 6 - Comparação de Unidades Hounsfield em função da energia para TC de Energia Única e TC de Dupla Energia.....	34
Figura 7-a) Fratura distal do fémur visível na radiografia b) imagem do EMB, o edema é visualizado na mesma área da fratura (setas)	37
Figura 8-Comparação entre imagens do punho esquerdo de Radiologia Convencional e imagens de TCDE com e sem reconstruções VNC	39
Figura 9-Comparação entre imagens da tibiotársica direita de Radiologia Convencional e imagens de TCDE com e sem reconstruções VNC	40
Figura 10 - Comparação entre imagens do punho esquerdo de Radiologia Convencional e imagens de TCDE.....	41

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição de frequências da localização das fraturas.....	51
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BM- *Bone Marrow*

DE- Dupla Energia

EMB- Edema da Medula Óssea

FBP- Retroprojeção Filtrada

HLC- Hospital da Luz Coimbra

IR- Reconstrução Iterativa

OCDE- Organização para a Cooperação de Desenvolvimento Económico

PACS- Sistema de Comunicação e Arquivo de Imagens

PET-CT- Tomografia por Emissão de Positrões combinada com Tomografia Computorizada

RM- Ressonância Magnética

SECT- Tomografia Computorizada de Monoenergia

SPSS- *Statistical Package for the Social Sciences*

TC- Tomografia Computorizada

TCDE- Tomografia Computorizada de Dupla Energia

VNC- Técnica Virtual sem Cálculo

PARTE I

INTRODUÇÃO

As fraturas são lesões ósseas que consistem na perda da continuidade óssea. Podem ocorrer por diversos mecanismos, tais como a aplicação de uma força direta que pode ocorrer em quedas ou acidentes, pela aplicação de uma força moderada repetida, frequente em atletas, mas também decorrentes de patologias que fragilizem o tecido ósseo, como tumores ósseos ou osteoporose (Reichert et al, 2023).

Independentemente do tipo de fratura, a lesão não fica restrita ao tecido ósseo, abrange sempre os tecidos subjacentes. Assim, estes acabam por sofrer tensões que resultam em edema e hemorragias com lacerações dos tendões, nervos e vasos sanguíneos comprometendo a sua função musculartoarticular. Têm como consequência direta a deformidade, dor intensa e incapacidade de realizar movimentos corporais na zona lesionada (Reichert et al, 2023).

Portugal está a envelhecer a um ritmo mais acelerado do que os restantes países europeus, sendo 23,4% da população portuguesa constituída por pessoas com 65 e mais anos de idade. Constitui o quarto país da União Europeia com mais idosos (Rocha et al.,2009).

À medida que envelhecemos, o processo de perda de tecido ósseo torna-se mais acelerado e a capacidade de o corpo substituir o osso danificado diminui. A osteoporose em pessoas idosas, especialmente aquelas que têm fatores de risco adicionais, como histórico familiar da doença, deficiência de cálcio e vitamina D, tabagismo, consumo excessivo de álcool e baixa atividade física (Rocha et al.,2009).

Em Portugal, 10,2% da população sofre de osteoporose, doença que afeta os ossos tornando-os mais frágeis e propensos a fraturas (Gerety et al.,2017).

Segundo dados da OCDE, em Portugal durante o ano de 2022, realizaram-se mais de 250 exames de TC por cada 1 000 habitantes, um dos métodos muito utilizado para se realizar o diagnóstico de fraturas (OCDE, 2023).

A Tomografia Computorizada de Dupla Energia (TCDE) permite a aquisição simultânea com dois níveis diferentes de energia. Os materiais ao receberem esta dupla radiação reagem de forma diferente consoante a sua composição, e desta forma estruturas com a mesma densidade na TC convencional, apresentam comportamentos diferentes e podem ser caracterizados.

Dispõe de inúmeras vantagens que passam pela distinção entre cálculos urinários formados à base de cálcio ou de ácido úrico, o que permite um tratamento mais correto para a litíase urinária assim como a quantificação mais precisa da resposta à terapêutica no campo da oncologia.

No que diz respeito ao diagnóstico de fraturas, revela ser vantajoso por permitir um diagnóstico mais preciso, com maior sensibilidade e especificidade, essencialmente em pequenas fraturas, que podem não ser detetadas em radiografias convencionais, que apesar de ser o exame de primeira linha, pode não revelar edema da medula óssea, acumulação de líquido na medula, como resposta a uma fratura.

Aliado a isso possui um papel importante na redução de artefactos, diferenciando e caracterizando implantes metálicos.

Deste modo, a TCDE constitui um método impulsionador da melhoria da tomada de decisões clínicas.

1. FRATURA

A fratura é uma lesão óssea que ocorre quando o osso é sujeito a uma força que excede a sua capacidade de realizar a transmissão de carga eficazmente durante os diferentes movimentos. Resulta de forças de tensão, compressão ou torção, cisalhamento e pode ainda ser completa ou incompleta.

Podem ocorrer em qualquer osso do corpo e podem ser classificadas de acordo com a sua gravidade e padrão de quebra, sendo classificadas em fraturas por trauma, fraturas por stress, fraturas por insuficiência óssea prévia como é o exemplo da osteoporose, de fraturas patológicas, associadas a tumores ou infeções ósseas.

As fraturas podem ainda ser fechadas ou expostas, sendo que neste caso, em que ocorre um grande deslocamento ósseo com penetração do tecido superficial e perda da integridade cutânea, constituem uma emergência, visto existir um elevado risco de infeção. (Joshi et al.,2020) A eficácia de qualquer tratamento recomendado pode depender de um diagnóstico preciso e imediato (Parvi et al., 2024).

Independentemente de qual seja o tipo de fratura, a lesão abrange não só o tecido ósseo, mas também os tecidos subjacentes, resultando em edema e hemorragia que comprometem a função musculo articular (Joshi et al.,2020).

Todas as fraturas ósseas são divididas em seis principais categorias representadas na Figura 1.

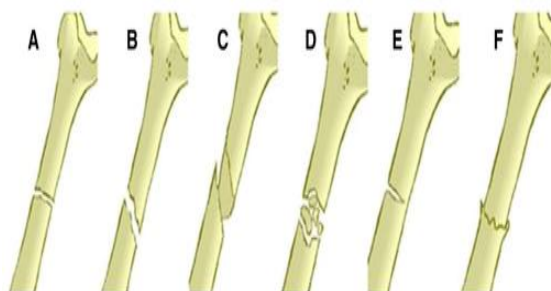


Figura 1 - Principais tipos de fratura encontrados nos ossos

Fonte: Joshi, D., & Singh, T. P. (2020). A survey of fracture detection techniques in bone X - ray images.

A- Fratura Transversal: é o tipo mais simples de fratura onde o osso se quebra como uma linha horizontal

B- Fratura Oblíqua: a fratura estende-se numa direção oblíqua, causada por força direta ou rotacional

C- Fratura Espiral: a fratura gira ao redor do osso, comum em lesões por torção

D- Fratura Cominutiva: o osso quebra-se em vários fragmentos

E- Fratura em galho verde: fratura incompleta na qual o osso fraturado não está completamente separado

F- Fratura Impactada: o osso é fraturado, mas as duas extremidades do osso fraturado são forçadas uma contra a outra.

2. MEDULA ÓSSEA

Todos os ossos possuem uma camada fina superficial de osso compacto ao redor da camada central de osso esponjoso, exceto nas áreas em que o osso esponjoso é substituído por uma cavidade medular. Dentro dessa cavidade medular, encontramos a medula óssea (Mandell et al.,2020).

A medula óssea é um órgão complexo e dinâmico que pode ser dividido em medula vermelha responsável pela produção de células sanguíneas, rica em hemácias, conferindo-lhe a cor vermelha e medula amarela, constituída principalmente por células adiposas que em condições normais não produzem células sanguíneas (Mandell et al.,2020).

A sua distribuição no organismo demonstra características em função da idade do paciente e da localização específica no osso, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 2 - Variação típica na distribuição da medula vermelha em função da idade

Fonte: Mandell JC, Weaver MJ, Jennifer W, Smith SE. Bone Marrow Edema at Dual- Energy CT: A Game Changer in the Emergency Department. 2020;(3)

Contudo, condições como anemia, tabagismo ou obesidade também podem afetar e causar reconversão da medula vermelha de regiões que normalmente conteriam medula amarela, podendo causar dor, desconforto, afetar a produção normal de células sanguíneas e está frequentemente associado a condições patológicas do osso, criando edema ósseo.

2.1. EDEMA DA MEDULA ÓSSEA

O edema da medula óssea (EMB), foi descrito pela primeira vez em 1988 por Wilson e é normalmente uma resposta a uma lesão, como uma fratura. Tem como principal sintoma a dor e sensibilidade no local. Ocorre quando existem alterações na medula óssea, nomeadamente quando há um aumento do fluxo sanguíneo devido a uma obstrução e um acumular de líquido na medula óssea juntamente com hipertensão intra-óssea. O BEM pode apresentar-se de forma difusa ou localizada e, frequentemente, coexiste com outras alterações morfológicas, como fraturas ocultas, alterações cartilaginosas ou sinovite. Em situações pós-traumáticas, pode ser fundamental para a identificação de fraturas não deslocadas que, de outra forma, seriam potencialmente perdidas pelas radiografias. Embora, a radiografia convencional seja a base da descrição do trauma agudo, pode não revelar EMB (Wong et al., 2018) (Wilson et al., 1988).

O EMB está associado a trauma ósseo e ligamentar, osteoartrite, necrose avascular, infeções e osteoporose transitória com diferentes sintomatologias clínicas. Se os mecanismos de reparação forem adequados, é possível a resolução gradual das lesões da medula óssea. Caso contrário, podem causar osteonecrose ou fraturas por stress (Littman et al., 2023).

Pode também verificar-se a presença de EMB quando ocorre alteração do mecanismo de drenagem dos capilares intraósseos, podendo determinar um aumento do volume de fluidos medulares extracelulares (Eustace S. et al., 2001).

A deteção de EBM pode ser realizado através do recurso à TCDE, com uma especificidade de 96% e precisão de 84%, podendo ser uma boa alternativa à RM, especialmente quando é contraindicada ou não está disponível (Littman et al., 2023).

As modalidades de tratamento conservadoras atuais começam por repouso articular, analgésicos e fisioterapia enquanto que as modalidades de terapias farmacológicas incluem anti-inflamatórios não esteroides, bifosfonatos, anticoagulantes ou corticosteroides. Por fim, o recurso a intervenção cirúrgica, passa por terapia extracorporal por ondas de choque e a cirurgia por descompressão, sendo que o tratamento cirúrgico está reservado para situações de dor persistente após tratamento conservador (Littman et al., 2023).

3. GRUPOS DE RISCO PARA DESENVOLVER FRATURAS

As fraturas tornaram-se um problema social de saúde pública (Velliou et al., 2022).

Com a aceleração do envelhecimento populacional, os ossos tornam-se mais fracos e mais propensos a fraturas.

As mulheres têm mais probabilidade de desenvolver osteoporose, especialmente na fase pós-menopausa devido à diminuição de estrogénio, aumentando assim, o risco de fraturas, especialmente nos ossos pélvicos, coluna e punho (Lee,2018).

A genética desempenha um papel importante na saúde óssea. Caso alguém na família sofra de osteoporose, o risco de também vir a ter a doença e consequentemente o risco de fratura é maior.

O consumo de medicamentos anti-hipertensivos ou diuréticos podem afetar o metabolismo ósseo e a densidade mineral óssea, contribuindo assim para um maior risco de fratura (Velliou et al., 2022).

Outra questão relevante passa pelas dietas pobres em cálcio e vitamina D. A deficiência de cálcio e vitamina D pode contribuir para a diminuição da densidade óssea e, portanto, aumentar o risco de fraturas (Pawlak,2021).

Atualmente, motivadas por diversas questões como a saúde pessoal, o ambiente ou a ética animal, inúmeras pessoas optam por uma dieta vegana. Esta dieta aporta um risco de algumas deficiências nutricionais, nomeadamente em vitamina B12, que não é encontrada em alimentos de origem vegetal, a menos que estes sejam enriquecidos com este nutriente. Assim, os veganos apresentam um maior risco de fraturas ósseas em comparação com indivíduos de outros grupos de dieta (Pawlak,2021).

Determinadas patologias também podem ter interferência no surgimento de fraturas, como é o caso da artrite reumatoide, da doença renal crónica e doença celíaca, que podendo aumentar o risco de desenvolver osteoporose, aumentam consequentemente o risco de fraturas (Pawlak,2021).

O tabagismo e o consumo excessivo de álcool podem também contribuir para a perda de densidade óssea.

Todos estes fatores podem impulsionar o surgimento de lesões ósseas através de vários mecanismos, dos quais poderá resultar o edema da medula óssea, por trauma, lesões do próprio osso, entre outros fatores, o que permite que seja facilmente avaliado através de TCDE.

4. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DA TC

Após a descoberta da radiação-x, em 1895 pelo Engenheiro e Físico Wilhelm Conrad Röntgen, apenas existiam as radiografias convencionais, com imagens bidimensionais a partir de um objeto tridimensional. Perante isto, a sobreposição de tecidos constituía uma limitação desta técnica (Garnett et al.,2020).

Surge assim, nos anos 70 a TC, desenvolvida pelo Engenheiro britânico Godfrey Hounsfield e pelo físico Allan Comark, ambos vencedores do prémio Nobel da Medicina em 1979, permitindo adquirir secções finas do corpo através de um feixe de radiação-x, que gira em torno do corpo e confere imagens de cada secção transversal/ axial e a possibilidade de reformatação para planos coronais e sagitais. Para além disto, permitia diferenciar as densidades das diferentes estruturas anatómicas. Foi introduzida na prática clínica em 1972 (Garnett et al.,2020).

Ao longo do tempo, surgiu a necessidade de evolução e aperfeiçoamento do equipamento, nomeadamente melhoramentos na geometria de aquisição (sequencial e helicoidal, utilizando múltiplos detetores) permitindo a irradiação de um maior volume anatómico em simultâneo, redução no tempo de aquisição e melhorias na qualidade de imagem até surgir a 7ª geração de equipamentos de TC, usada nos dias de hoje (Garnett et al.,2020).

As suas distintas aplicações no contexto clínico, por exemplo, em situações de trauma, diagnóstico e estadiamento oncológico, em estudos cardiovasculares ou em intervenção aliadas ao desenvolvimento da imagem híbrida de PET-CT e planeamento de tratamentos em Radioterapia, contribuíram para o crescente recurso a esta modalidade imagiológica (Garnett et al.,2020).

5. TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA

A Tomografia Computorizada (TC) é uma modalidade de imagem, muito utilizada na prática clínica, proporcionando melhorias significativas no cuidado com o paciente e inúmeros benefícios ao nível do diagnóstico. Com o crescente desenvolvimento tecnológico, verificado também em Portugal, constata-se um crescimento anual do número de equipamentos de TC instalados e do número de exames realizados.

Uma vez que as doses recebidas pelos pacientes durante um exame de TC são relativamente altas, é então fundamental que os protocolos utilizados estejam otimizados, dispor de Níveis de Referência de Doses e que estes sejam aplicados de acordo com os princípios da proteção radiológica e de acordo com o quadro legal nacional em vigor.

Atualmente, o recurso à TC possui um papel fundamental de destaque em todas as fases de prestação de cuidados de saúde: rastreio, diagnóstico, intervenção e *follow up* (Fletcher,2015).

5.1. COMPONENTES TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA

A TC envolve diversos componentes que permitem o seu funcionamento, sendo eles a *gantry*, ampola de raios-x, gerador, detetores, mesa de exame e unidade de processamento.

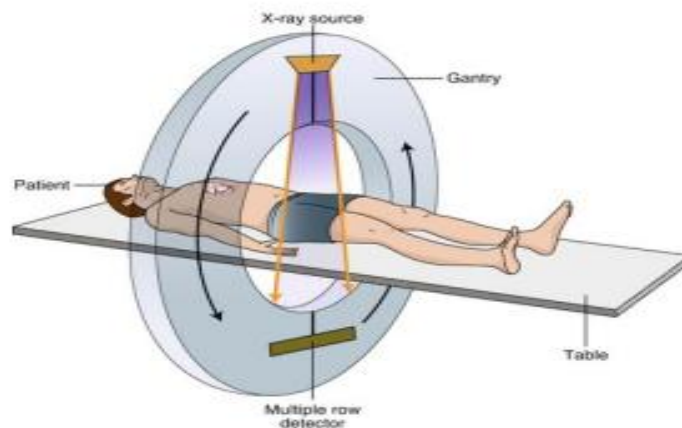


Figura 3 - Principais componentes de uma TC

Fonte: Garnett R. A comprehensive review of dual-energy and multi-spectral computed tomography A Comprehensive Review of Dual-Energy and Multi-spectral Computed Tomography. 2020;(September). <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2020.07.030>

A técnica na qual se baseia a TC permite obter os valores de densidade dos tecidos, através de Unidades de Hounsfield, após interação dos feixes de radiação-x, de acordo com o coeficiente de atenuação linear dos mesmos (Garnett, 2020).

O tubo de raios-x é a fonte de fótons, onde os elétrons são acelerados em direção a um alvo, gerando fótons por meio de Bremsstrahlung. O detetor regista o número de fótons detetados sem informação de energia. Os colimadores podem ser usados antes e/ou depois do objetivo ser radiografado. Além disso, podem ser aplicados filtros para remover fótons e energia mais baixa, que são menos relevantes para o diagnóstico. Para reconstrução das imagens existem dois métodos: Reconstrução Iterativa (IR) e Retroprojeção Filtrada (FBP) (Garnett, 2020).

5.2. TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA DE DUPLA ENERGIA

A tomografia computadorizada de dupla energia (DECT) é um método de imagem que desempenha e possui diversas aplicações clínicas, nomeadamente em neurorradiologia e sistema músculo-esquelético.

As aplicações de DECT para uso clínico foram inicialmente exploradas na década de 1970 (Forghani,2017).

Os equipamentos de fonte dupla são equipados com duas ampolas de raios-x, que funcionam em tensões diferentes (70kV e 140 kV), o que permite a aquisição simultânea de imagens nesses dois níveis de energia. A tensão, a corrente e o filtro podem ser escolhidos independentemente para ambos os tubos, para obter um contraste espectral ideal com transmissão suficiente e a menor sobreposição (Forghani,2017).

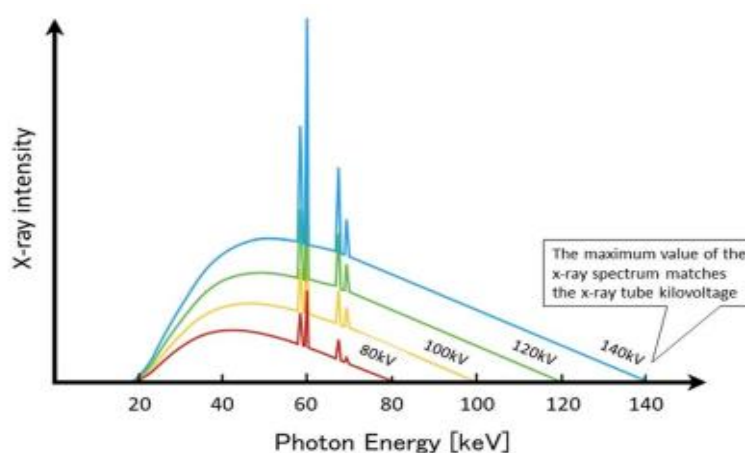


Figura 4 - O espectro de raios-x varia dependendo da voltagem do tubo. O valor máximo do espectro de raios-x é igual à quilovoltagem do tubo de raios-x

Fonte: Tatsugami, F., Higaki, T., Nakamura, Y., Honda, Y., & Awai, K. (2022). Dual - energy CT: minimal essentials for radiologists. *Japanese Journal of Radiology*, 40(6), 547–559. <https://doi.org/10.1007/s11604-021-01233-2>

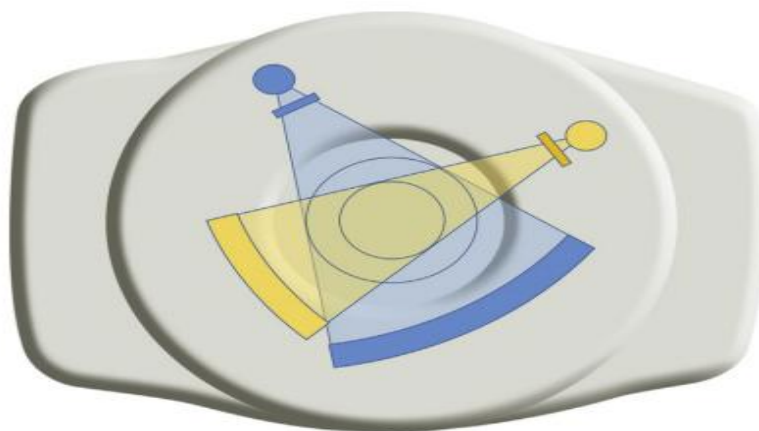


Figura 5 - DECT de fonte dupla (Siemens)

Fonte: Forghani, R., & Man, B. De. (2017). Dual-Energy Computed Tomography Physical Principles, Approaches to Scanning, Usage, and Implementation: Neuroimaging Clinics of NA, 27(3), 371–384. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2017.03.002>

A detecção dos raios-x de diferentes energias é realizada por detetores de alta resolução, que convertem a radiação em sinais elétricos, sendo processados e convertidos em imagens através de sistemas de aquisição de imagens (Tatsugami et al., 2022).

Os dados adquiridos pelos detetores são processados por algoritmos que permitem identificar e separar os dois níveis de energia, raios-x de baixa energia e raios-x de alta energia (Tatsugami et al., 2022).

Esta diferença de energias, permite reunir informações sobre a diferente absorção da radiação pelos constituintes do corpo: tecidos moles, ar, osso e gordura, o que proporciona informação adicional na análise das imagens, melhorando a precisão diagnóstica. Permite ainda a análise quantitativa de substâncias específicas como ferro e iodo.

A atenuação dos raios-X é resultado dos efeitos de Compton, produção de pares e efeito fotoelétrico. Este último depende fortemente do número atómico do material e é fundamental para a diferenciação de materiais com base em propriedades espectrais com DECT (So, 2021).

Dado que o efeito fotoelétrico aumenta com o aumento do número atómico, a maioria dos átomos no corpo humano tem um efeito fotoelétrico bastante fraco.

Embora tenha havido avanços tecnológicos significativos na área da tomografia nos últimos anos, esta modalidade específica ainda não é amplamente disponível em todos os hospitais e clínicas em Portugal.

Apesar dos benefícios associados a esta técnica, requer equipamentos especializados e com custos mais elevados que a TC e a Radiografia convencional.

Desta forma, atualmente, a utilização de TCDE é mais comum nos centros de referência ou em hospitais de ensino que possuem os recursos necessários para utilizar esta técnica de forma eficaz. No entanto, com a evolução da tecnologia e o aumento da disponibilidade de equipamentos especializados, é possível que o uso da tomografia de dupla energia se torne mais difundido no futuro.

5.3. VANTAGENS DA TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA DE DUPLA ENERGIA

A técnica de dupla energia permite uma melhor diferenciação de tecidos, o que facilita a identificação de lesões torna possível ainda a distinção de materiais específicos, como cálcio ou gordura, auxiliando assim o diagnóstico de algumas patologias, como cálculos renais menores que podem passar despercebidos numa TC convencional. Permite ainda quantificar com precisão o conteúdo de gordura do fígado permitindo assim avaliar a gravidade da deposição de gordura (Liu et al., 2022).

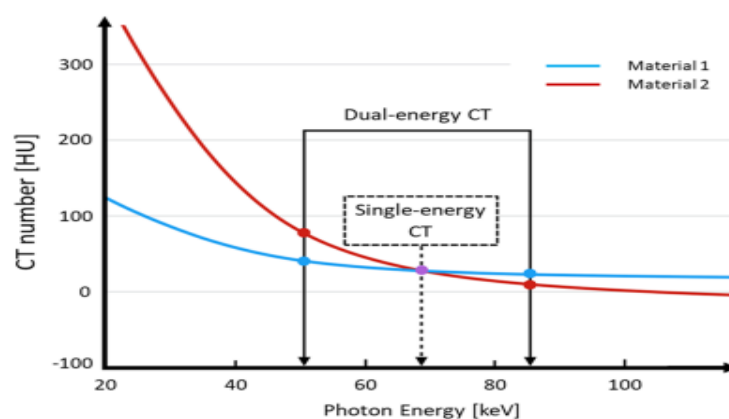


Figura 6 - Comparação de Unidades Hounsfield em função da energia para TC de Energia Única e TC de Dupla Energia

Fonte: Tatsugami, F., Higaki, T., Nakamura, Y., Honda, Y., & Awai, K. (2022). Dual - energy CT: minimal essentials for radiologists. *Japanese Journal of Radiology*, 40(6), 547–559. <https://doi.org/10.1007/s11604-021-01233-2>

Nas imagens convencionais de TC de energia única, dois materiais podem muitas vezes não ser distinguidos devido à considerável sobreposição dos valores na CT. Em DECT, materiais com diferentes composições elementares podem ser diferenciados e quantificados comparando os seus valores em dois níveis de energia diferentes (Tatsugami, 2022).

É igualmente importante na deteção de estenoses ou aneurismas e na avaliação de perfusão pulmonar, ajudando a identificar áreas com fluxo sanguíneo reduzido ou na deteção de tromboembolismo pulmonar.

Permite ainda, devido a esta diferenciação, determinar se uma lesão é benigna ou maligna, através da avaliação da vascularização de lesões musculoesqueléticas, como tumores ou lesões inflamatórias Guggenberger (2012).

Para além disto, permite realizar exames com doses de radiação similares à TC convencional, mostrando grande relevância quando se trata de realizar exames a crianças ou a pessoas que necessitem de realizar exames com regularidade (Tatsugami, 2022).

Mostra-se ainda vantajosa devido à elevada sensibilidade na deteção e visualização de pequenas lesões, proporcionando assim um diagnóstico mais preciso (Guggenberger, 2012).

5.4. VANTAGENS DA TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA DE DUPLA ENERGIA PARA AVALIAR FRATURAS

A TCDE pode ser utilizada para avaliação de pequenas fraturas, permitindo um diagnóstico mais preciso e melhorando a compreensão das lesões ósseas, pois permite adquirir imagens detalhadas que podem ser codificadas por cores e sobrepostas com imagens em escalas de cinzas (Ahmad,2020).

Oferece maior sensibilidade e especificidade na deteção de fraturas, mesmo que estas não sejam visíveis nas radiografias convencionais. Torna-se especialmente útil no caso de fraturas pequenas (Liang et al., 2021).

A realidade de permitir o acesso a imagens 3D permite ainda uma maior precisão na análise das imagens que tem como consequência direta o auxílio aos cirurgiões no planeamento e execução dos procedimentos cirúrgicos corretivos.

Para além disto, é também evidente a mais-valia na visualização das estruturas adjacentes à fratura, como nervos, vasos sanguíneos e órgãos, facilitando o diagnóstico até de outras patologias associadas à fratura, como edema ósseo, formação de calo ósseo ou infeções.

Outra vantagem é a possibilidade de diferenciar fraturas antigas de fraturas recentes, auxiliando na identificação de lesões pré-existentes e na determinação da idade da fratura.

Os artefactos causados por objetos metálicos na TC, como é o caso dos materiais de osteossíntese cada vez mais usados na medicina contemporânea devido à longevidade da população, diminuem a qualidade diagnóstica dos exames, aumentando o risco de perder achados relevantes (Simonetti et al., 2021) (Ruggiero, 2024).

Os artefactos provocados por baixo contraste ou por atenuação inadequada também são diminutos dado a TCDE produzir imagens com elevado contraste entre diferentes tecidos e com correção dos efeitos de atenuação no tecido causados pela dispersão da radiação x (Simonetti et al., 2021) (Ruggiero, 2024).

De forma geral, a TCDE fornece vantagens na redução de artefactos nas imagens obtidas, dado que a técnica de dupla energia permite separar os diferentes materiais presentes no corpo humano com base nas diferentes absorções de energia. Dado que existem dois feixes com dois níveis de energia, isso permite calcular e identificar melhor o local onde estão os artefactos de endurecimento, reduzindo os erros de diagnóstico. Assim, permite diferenciar e caracterizar os implantes metálicos utilizados na osteossíntese (Mallinson,2016).

Deste modo, a TCDE pode melhorar a tomada de decisões clínicas e auxiliar na orientação do tratamento adequado para o paciente.

É relatado que o pós-processamento de imagens convencionais de TC para obter mapas coloridos baseados em atenuação é útil no delineamento de uma fratura não deslocada (Qiupingren et al.,2022).

Dado que a avaliação manual de imagens radiológicas de fraturas implica muito tempo e esforço, um radiologista cansado pode ignorar uma fratura. Perante isso, podem ser utilizados sistemas de pós-processamento, que podem auxiliar na deteção de casos preocupantes em imagens radiológicas e alertar os médicos (Parvi net al., 2024).

Sob a suposição de que o corpo humano contém água e cálcio, em pacientes com fraturas ósseas precoces, as imagens do edema podem ajudar a identificar o EMB. Ao reduzir o sinal de cálcio do osso, podem ser criadas imagens de densidade de água que refletem o EMB (Qiupingren et al.,2022).

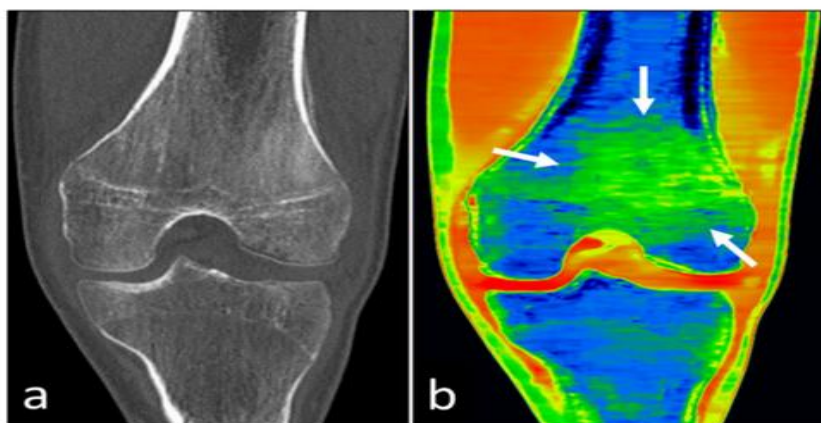


Figura 7-a) Fratura distal do fémur visível na radiografia b) imagem do EMB, o edema é visualizado na mesma área da fratura (setas)

Fonte: Simonetti, I., Verde, F., Palumbo, L., Di, F., Puglia, M., Scaglione, M., Ragozzino, A., & Romano, S. (2021). Dual energy computed tomography evaluation of skeletal traumas. European Journal of Radiology, 134(July 2020), 109456. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109456>

5.5. APLICAÇÕES DE PÓS-PROCESSAMENTO NA TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA DE DUPLA ENERGIA

Foram desenvolvidos protocolos de pós-processamento sofisticados, que atualmente, desempenham um papel fundamental na avaliação de imagens de trauma esquelético (Simonetti et al., 2021).

Uma das técnicas utilizadas é conhecida como a técnica virtual sem cálcio (VNC), vulgarmente utilizada através da aplicação “*Bone Marrow*”, que permite a deteção de edema da medula óssea através da decomposição em três materiais (mineral ósseo, medula amarela e medula vermelha) e que permite a subtração de cálcio do osso esponjoso. Assim, avalia de forma qualitativa codificada por mapas de cores (Simonetti et al., 2021).

O mapeamento do colagénio também é uma técnica de reconstrução de imagens, codificada por cores, na qual nos é permitido avaliar a integridade dos ligamentos, tendões e discos intervertebrais (Simonetti et al., 2021).

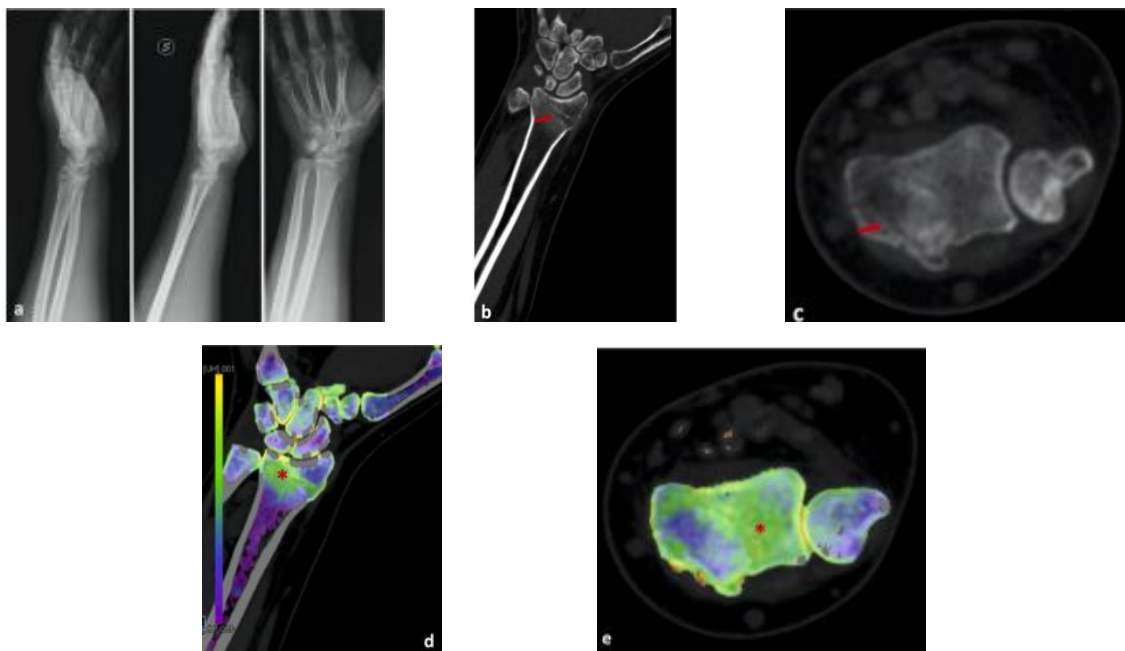


Figura 8-Comparação entre imagens do punho esquerdo de Radiologia Convencional e imagens de TCDE com e sem reconstruções VNC

Fonte: Simonetti, I., Verde, F., Palumbo, L., Di, F., Puglia, M., Scaglione, M., Ragozzino, A., & Romano, S. (2021). Dual energy computed tomography evaluation of skeletal traumas. European Journal of Radiology, 134(July 2020), 109456. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109456>

a) Imagem de radiografia convencional do punho esquerdo; sem achados definitivos de fraturas ósseas. **b)** e **c)** Imagens em “janela óssea” TCDE axial e coronal; fratura fina na metáfise distal do rádio (setas). **d)** e **e)** Imagens TCDE com reconstruções VNC; achados de intensa área de edema medular (asteriscos) na metáfise distal do rádio.

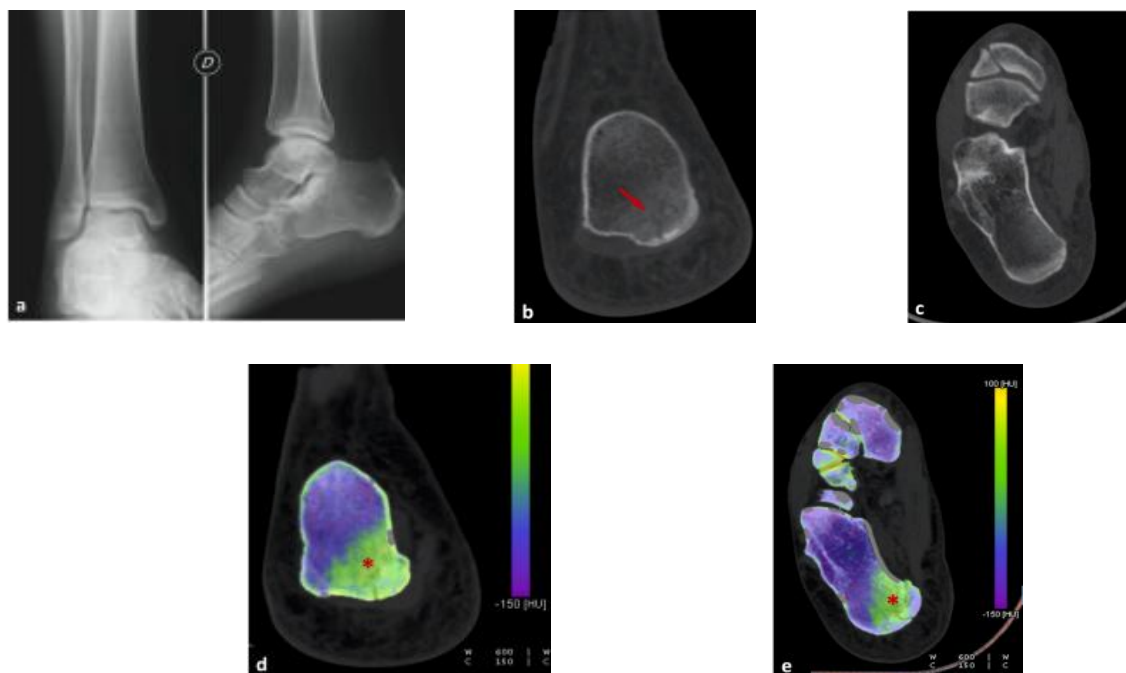


Figura 9-Comparação entre imagens da tibiotalar direita de Radiologia Convencional e imagens de TCDE com e sem reconstruções VNC

Fonte: Simonetti, I., Verde, F., Palumbo, L., Di, F., Puglia, M., Scaglione, M., Ragazzino, A., & Romano, S. (2021). Dual energy computed tomography evaluation of skeletal traumas. European Journal of Radiology, 134(July 2020), 109456. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109456>

a) Imagem de radiografia convencional da tibiotalar direita; sem achados definitivos de fraturas ósseas. **b)** e **c)** Imagens coronais e axiais de “janela óssea” de TCDE; linha fina de descontinuidade da tuberosidade do calcâneo (seta). **d)** e **e)** Imagens de TCDE com reconstruções VNC; achados de extensa área de edema medular (asterisco) na tuberosidade do calcâneo

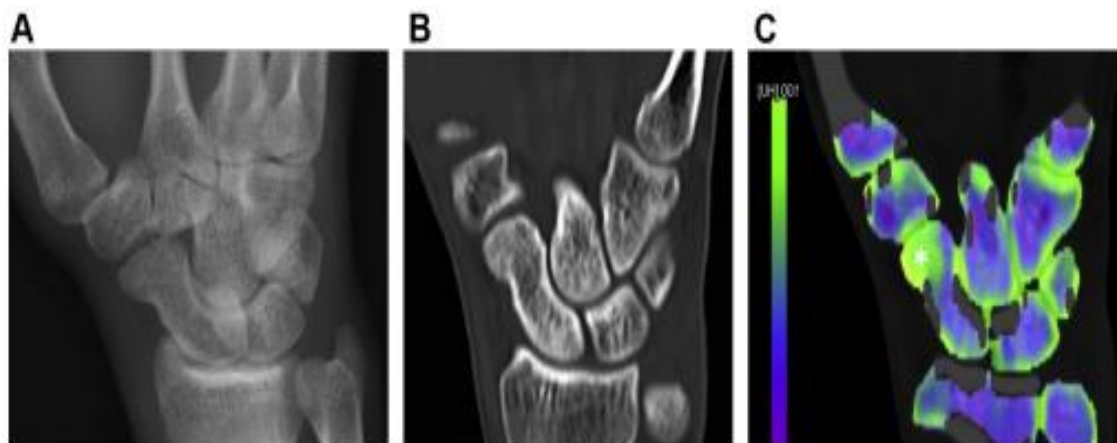


Figura 10 - Comparação entre imagens do punho esquerdo de Radiologia Convencional e imagens de TCDE

Fonte: Simonetti, I., Verde, F., Palumbo, L., Di, F., Puglia, M., Scaglione, M., Ragozzino, A., & Romano, S. (2021). Dual energy computed tomography evaluation of skeletal traumas. *European Journal of Radiology*, 134(July 2020), 109456. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109456>

A) Imagem de Radiologia Convencional do punho esquerdo mostrando uma irregularidade no corpo do escafóide, sugerindo uma fratura. **B)** Imagem de TC identifica fratura do tubérculo do escafóide. **C)** Imagem de TCDE identifica claramente a fratura (asterisco).

Conclui-se, assim, a Parte I desta dissertação, estabelecendo os fundamentos teóricos para a análise que se seguirá na Parte II.

PARTE II

6. OBJETIVO

O objetivo geral do estudo consiste em avaliar as vantagens do recurso à TCDE com pós-processamento de imagens em *Bone Marrow* quando se pretende diagnosticar fraturas.

Como objetivo específico estabelecemos verificar se a adição do pós-processamento de imagens em *Bone Marrow*, permitia o diagnóstico de fraturas não detetadas em imagens de radiologia convencional ou TC, sem este mesmo pós-processamento.

Caso se obtenham bons resultados com este estudo, será possível propor a adoção de um novo protocolo com recursos a TCDE para avaliação de fraturas, o que poderá constituir uma mais-valia em termos de diagnóstico.

7. METODOLOGIA

7.1 INTRODUÇÃO

Após a fundamentação e contextualização da temática em estudo, torna-se pertinente a caracterização do estudo no que concerne à metodologia aplicada.

O presente estudo caracterizou-se por ser do tipo *Observacional, Analítico* e de metodologia *quantitativa*. Quanto à recolha de informação esta assumiu de linha temporal de natureza *transversal*.

A recolha só se concretizou após obtenção da aprovação da Comissão de Ética do Hospital da Luz de Coimbra, onde se pretendeu aferir se a adição do software *Bone Marrow* a imagens pós-processadas de TCDE representa uma mais-valia na avaliação de pequenas fraturas.

A investigação científica é designada como sendo qualquer intervenção clínica envolvendo seres humanos, doentes ou voluntários saudáveis, realizada de acordo com um protocolo destinado a gerar conhecimento científico generalizável.

É essencial que sejam tomadas todas as precauções para respeitar a privacidade do indivíduo e minimizar o dano que a pesquisa possa causar à sua integridade física e mental e à sua personalidade.

Os principais princípios éticos relativos à experimentação no homem estão ainda consignados nos seguintes pressupostos:

Princípio do Respeito pela pessoa humana

Princípio do Benefício sobre o risco

Princípio da Justiça distributiva

E, também o Anonimato, a Confidencialidade e o Sigilo.

De modo a garantir que os direitos dos indivíduos são respeitados, bem como assegurar que todo o processo de investigação é efetuado com a máxima conduta ética, o estudo foi conduzido em conformidade com todas as recomendações éticas para a realização de investigação científica, de forma a salvaguardar os direitos ao anonimato e confidencialidade dos dados recolhidos.

O pedido de autorização para a realização deste estudo foi efetuado à Comissão de Ética do Hospital da Luz Coimbra que emitiu parecer favorável à realização do mesmo.

Assim, para garantir o anonimato, cada participante foi identificado com um número, de 1 a 50, não havendo qualquer registo possível de identificar o respetivo participante.

O Hospital da Luz Coimbra constitui a maior unidade hospitalar privada da região centro do país. Anteriormente, Idealmed - Unidade Hospitalar de Coimbra, foi adquirido pelo Grupo Luz Saúde em março de 2018 e passou a designar-se Hospital da Luz Coimbra. É considerado uma referência na prestação de cuidados de saúde integrados e especializados, com base num modelo clínico inovador e dinâmico agregando mais de 40 valências clínicas.

O serviço de Imagiologia do Hospital da Luz Coimbra encontra-se no piso 0, junto à porta B. Neste são realizados exames de diversas modalidades imagiológicas, designadamente, de radiologia convencional, TC, ressonância magnética e mamografia. No que respeita à técnica imagiológica de TC, este serviço apresenta duas unidades funcionais.

Na primeira unidade, na qual foi desenvolvido o presente estudo, encontra-se instalado um equipamento do fabricante *Siemens*.

7.2 SELEÇÃO DA AMOSTRA

Para o presente estudo foram incluídos 50 exames de TC. A amostra foi do tipo não probabilística e quanto à técnica de amostragem a mesma foi por conveniência. Os exames de TC foram incluídos no estudo de acordo com um critério de inclusão, designadamente, a realização de TCDE no serviço de imagiologia na instituição hospitalar em estudo por suspeita de fratura. Relativamente aos critérios de exclusão, foram excluídos todos os exames identificados com artefactos, nomeadamente material metálico de osteossíntese.

7.3. RECOLHA DE DADOS - Parte I

O período de recolha de dados decorreu entre fevereiro e abril de 2024. Numa fase inicial, foi efetuado o levantamento dos parâmetros técnicos de referência, com base em protocolos otimizados, aplicados em cada exame de TC, designadamente, valores de produto corrente-tempo e tensão e espessura de corte adotados no serviço.

Após a primeira fase, foi disponibilizado o acesso ao Sistema de Comunicação e Arquivo de Imagens (PACS) do HLC, do qual foram retirados 50 exames de TC, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão.

Através de utilização de filtros de pesquisa obtivemos exames de TC mão, TC punho, TC cotovelo, TC ombro, TC joelho, TC tibiotársica e TC pé realizados nos últimos dois anos.

De todos os casos recolhidos, 28% eram TC Tibiotársica, 26% TC Punho, 18% TC Pé, 16% Ombro e também 3 TC Cotovelo, 2 TC Mão e 1 TC Joelho.

- **Protocolo de aquisição - TC Dupla Energia**

Todos os exames de TC incluídos no estudo foram adquiridos num único equipamento de TC de dupla energia instalado no HLC. Este corresponde ao modelo *Definition Flash* do fabricante *Siemens*. Possui diversas etapas de kV sendo elas 70, 80, 100, 120 e 140. A energia do gerador ronda os 200kV (2x200kV) com capacidade de número de cortes de 128x2. A abertura da gantry é de 78 cm com um tempo de rotação opcional de 0,28 segundos.

O protocolo pré otimizado existente no departamento de Imagiologia do Hospital da Luz Coimbra é constituído por dois topogramas, com 35 mA, 120 kV, uma espessura de corte de 0,6mm e largura do topograma de 256mm. O tudo encontra-se na posição lateral e a mesa craniocaudal.

Posteriormente, as imagens são adquiridas 151 imagens, com a mesa na posição craniocaudal, com recurso a 200mA e 140 kV (com filtro de estanho para eliminar as baixas energias para que facto sejam praticamente os 140 kV), com cortes de 1,00mm num tempo de aquisição de 6,81 segundos. O valor de DLP é de 142,4 mGy cm e CCTDI vol. (32cm) de 8,48 mGy.

- **Pós-processamento das imagens**

As imagens foram processadas usando o método de decomposição de três materiais, que caracteriza os materiais em medula óssea amarela, medula óssea vermelha e minerais ósseos, usando um *software* específico para imagens virtuais.

Realizou-se o pós-processamento de todas as imagens, em múltiplas sessões, nos diversos planos, axial, sagital e coronal. Cada exame passou a conter 6 séries de imagens, 3 séries de TC nos três planos e 3 séries de imagens pós-processadas correspondentes, o que aumentou muito o número de imagens para análise. Deste modo, cada avaliador não avaliou apenas 50 imagens, mas sim, um total de 300 séries de imagens.

As imagens pós-processadas em *Bone Marrow*, permitem avaliar o edema/inflamação óssea, através de uma paleta de cores que vai do amarelo ao lilás,

representando as cores mais quentes inflamação/alteração óssea e as cores mais frias a normalidade.

7.3.1. RECOLHA DE DADOS - Parte II

Elaborou-se o questionário *Avaliação de fraturas com recurso a TCDE* (anexo V), em língua portuguesa, adaptado de um modelo de questionário (anexo IV), tendo sido posteriormente alvo de validação facial por dois especialistas na área da TC.

Todos os casos foram analisados, de forma independente, por 2 técnicos de radiologia e 2 médicos radiologistas, todos com mais de 20 anos de experiência em TC, os técnicos com 20 anos a realizar exames de TC articular e os médicos radiologistas com 20 anos de experiência a relatar exames de TC osteoarticular. Os especialistas realizaram análises subjetivas usando um visualizador RadiAnt DICOM Viewer.

Os especialistas responderam ao questionário sobre a existência ou não de fratura, a sua localização, existência de artefactos, qualidade da avaliação através da Dupla Energia do *Bone Marrow* e se estas imagens de *Bone Marrow* constituem uma mais-valia para a avaliação de fraturas. Esta análise foi feita através da comparação de imagens de TCDE sem e com o pós-processamento em *Bone Marrow*.

As etapas de análise e tratamento estatístico foram as que permitiram organizar e agrupar os dados de modo que, em seguida, sejam retiradas conclusões de acordo com os resultados obtidos. É através das mesmas que foi possível clarificar o significado real dos dados adquiridos ao longo do processo de investigação.

Os dados adquiridos com o questionário foram posteriormente transpostos para uma base de dados de um programa informático, de recolha e tratamento de dados estatísticos – IBM SPSS *Statistics* versão 28.0.1.0.

Finalizada a base de dados foram utilizados dois métodos estatísticos:

1- Estatística Descritiva: Análise de frequências relativas e absolutas (tabelas de contingência) com aplicação de gráficos (digramas de setores).

2- Testes de Qui-quadrado de Pearson e Exato de Fisher

Quanto à extrapolação dos resultados para a população, assumimos um nível de confiança de 95% para um erro aleatório máximo de 5%.

8. RESULTADOS

A amostra total do estudo foi composta por 50 exames de TC, realizados a doentes que recorreram ao Serviço de Imagiologia do Hospital da Luz Coimbra que realizaram TC por suspeita de fratura, entre janeiro de 2022 e março de 2024, e que não continham artefactos metálicos, respeitando assim os critérios de inclusão e exclusão. Analisou-se a distribuição das respostas ao questionário e posteriormente foram comparadas as mesmas entre os avaliadores.

A tabela 1 evidencia as respostas dos avaliadores perante a existência de fratura, onde não se verifica um padrão diferenciador de opiniões na atribuição de presença ou ausência de fraturas. Perante os avaliadores, a presença de fratura foi verificada em pelo menos 80,0% dos casos analisados.

Tabela 1 - Distribuição de frequências da presença de fratura em função do avaliador

			Médicos Radiologistas	Técnicos de Radiologia	
Presença de fratura	Sim	n	83	77	160
		% coluna	83,0%	77,0%	80,0%
	Não	n	17	23	40
		% coluna	17,0%	23,0%	20,0%
Total		n	100	100	200

Do número total de exames verificou-se que, no que concerne à localização das fraturas, 40 foram fraturas na tibiotársica, 35 fraturas do punho, 24 fraturas do pé, 16 fraturas do ombro e, por último, 3 fraturas do cotovelo, conforme demonstrado no gráfico 1.

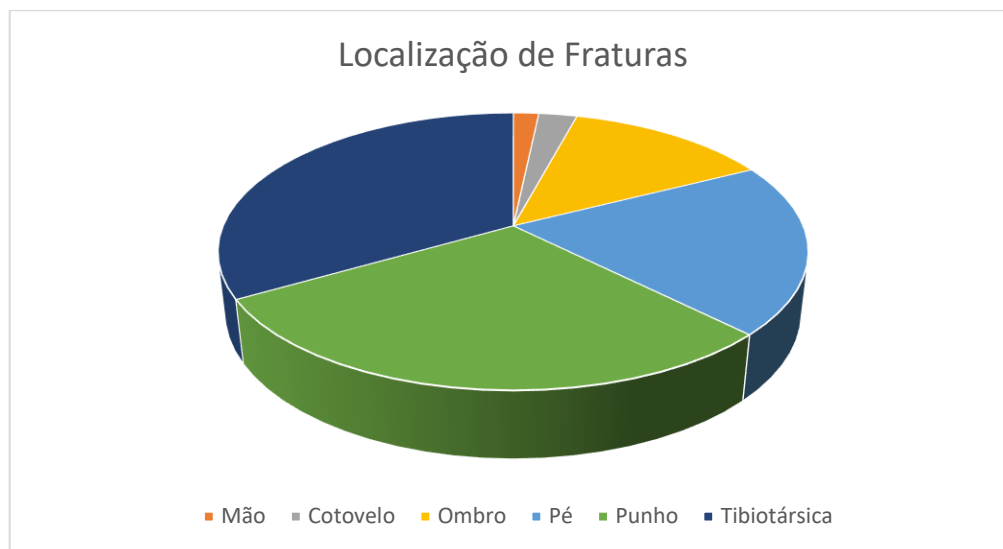


Gráfico 1 - Distribuição de frequências da localização das fraturas

Foi ainda estudado quais os achados imagiológicos que seriam evidentes perante a análise das imagens de TCDE. Obtivemos os resultados apresentados na tabela 2, onde se verificou que os traços de fratura foram os mais prevalentes no período em estudo (77%).

Tabela 2 - Distribuição de frequências dos achados imagiológicos em função do avaliador

Achado imagiológico	Traços de fratura	n	Médicos Radiologistas	Técnicos de Radiologia	Total
	Traços de fratura	n	81	73,0	154
		% coluna	81,0%	73,0%	77,0%
	Sequelas de lesão	n	6	16	22
		% coluna	6,0%	16,0%	11,0%
	Alterações degenerativas	n	13	11	24
		% coluna	13,0%	11,0%	12,0%
Total		n	100	100	200

Como podemos observar na tabela 3, da gama possível de respostas que os avaliadores tinham disponível no questionário, todos eles centraram as suas escolhas considerando que a avaliação através da DE do “*Bone Marrow*” possui uma “*boa qualidade*” sendo que apenas os técnicos de radiologia consideraram que em dois casos imagiológicos a qualidade revelou ser “*má*”.

Tabela 3 - Distribuição de frequências da qualidade da avaliação de imagens de TCDE pós-processadas em Bone Marrow em função do avaliador

		Médicos		Técnicos de	
		Radiologistas		Radiologia	
Qualidade da avaliação através das imagens pós- processadas em <i>Bone Marrow</i>	Boa	n	99	66	165
		% coluna	99,0%	66,0%	82,5%
	Razoável	n	1	32	33
		% coluna	1,0%	32,0%	16,5%
	Má	n	0	2	2
		% coluna	0,0%	2,0%	1,0%
Total		n	100	100	200

Ao confrontarmos a informação recolhida em relação à “*existência de fratura*” com os dados referentes à “*qualidade da avaliação das imagens pós-processadas em Bone Marrow*”, vejamos a Tabela seguinte:

Tabela 4 - Qualidade da avaliação das imagens de DE através do BM, de acordo com a existência ou não de fratura

Qualidade da avaliação através das imagens pós-processadas em Bone Marrow		Presença de Fratura			p-value
		Sim	Não	Total	
Opinião Positiva	n	162	36	198	0,337
	% coluna	99,4%	97,3%	99,0%	
Opinião Negativa	n	1	1	2	
	% coluna	0,6%	2,7%	1,0%	
Total	n	163	37	200	
	% coluna	100%	100%	100,0%	

Segundo os resultados observados na tabela 4, não se observou um padrão respostas no que diz respeito à qualidade da avaliação segundo as imagens processadas em BM e a informação quanto à presença ou ausência de fratura ($p>0,05$). No entanto, das 163 imagens avaliadas com “presença de fratura”, 99,4% estiveram associadas a uma opinião positiva da avaliação da qualidade das imagens pós-processadas em BM.

Porém, também se constatou que das 37 imagens que não apresentavam fratura, os especialistas consideraram que em 97,3%, as imagens pós processadas em BM possuíam boa qualidade.

A fim de tentar clarificar se a presença de artefactos influenciou a classificação da avaliação através de imagens de TCDE pós-processadas em BM, vejamos a Tabela seguinte:

Tabela 5 - Qualidade da avaliação das imagens de DE através do BM em função da presença ou não de artefactos

Qualidade da avaliação através das imagens pós-processadas em <i>Bone Marrow</i>		Presença de artefactos			<i>p-value</i>
		Sim	Não	Total	
Opinião Positiva	n	4	194	198	0,960
	% coluna	100,0%	99,0%	99,0%	
Opinião Negativa	n	0	2	2	
	% coluna	0,0%	1,0%	1,0%	
Total	n	4	196	200	
	% linha	2,0%	98,0%	100,0%	

Não se observou um padrão de associação entre presença/ausência de artefactos e a opinião acerca da qualidade das imagens por BM ($p>0,05$). Porém, das 4 imagens com presença de artefactos a respetiva qualidade da imagem manteve-se boa (positiva) em todas elas (100%).

Procurou-se de seguida compreender como os diferentes avaliadores (profissionais) classificaram a informação da presença/ausência de fratura nas imagens de TC e sua correspondência nas imagens de BM. Vejamos a tabela 6.

Tabela 6 - Correspondência do local da fratura nas imagens de DE segundo médicos e técnicos

Grupo de Profissionais		Correspondência da fratura nas imagens pós- processadas em <i>Bone Marrow</i>			p-value
		Sim	Não	Total	
Médicos Radiologistas	n	94	6	100	0,009
	% coluna	53,4%	25,0%	100,0%	
Técnicos de Radiologia	n	82	18	100	
	% coluna	46,6%	75,0%	100,0%	
Total	n	176	24	200	
	% linha	88,0%	12,0%	100,0%	

Constatou-se uma diferenciação significativa entre a avaliação da presença ou ausência de fratura pela tomografia computadorizada com correspondência de imagens BM entre os dois grupos de profissionais ($p < 0,05$).

Das 100 imagens que o grupo médico avaliou, 53,4% destas assumiu que a fratura visível na TC tinha uma perfeita correspondência com as imagens de BM. Já os Técnicos de Radiologia só concordaram com a posição do grupo médico em 46,6% das respetivas imagens avaliadas.

Complementarmente também podemos constatar que das 200 imagens avaliadas 88% destas ($n=176$) concordaram com a indicação do local onde se verificou a fratura após a adição do *Bone Marrow*.

Procurou-se também avaliar a opinião dos dois grupos de profissionais em estudo quanto à mais valia das imagens pós-processadas em BM para a avaliação de futuras condições clínicas de doentes com fraturas. Vejamos a tabela seguinte:

Tabela 7-- Distribuição de frequências da mais-valia da adição do Bone Marrow para avaliação de fraturas, em função do avaliador

Mais-valia para avaliação de fraturas		Médicos Radiologistas	Técnicos de Radiologia	Total	p-value
Opinião Positiva	n	94	87	181	0,091
	% linha	51,9%	48,1%	100,0%	
Opinião Negativa	n	6	13	19	
	% linha	31,6%	68,4%	100,0%	
Total		100	100	200	

Não se observou uma diferenciação significativa no tipo de avaliação (opinião) atribuída à mais-valia da aplicação de BM na deteção de fraturas entre os dois grupos profissionais ($p > 0,05$). No entanto, podemos destacar que das 19 imagens que foram identificadas como “negativas” perante a adição de BM, esta posição foi mais vincada pelos técnicos de radiologia (68,4%) comparativamente aos médicos. Já do total de 181 imagens que foram classificadas como uma mais-valia (visão positiva) 51,9% destas tiveram como origem do grupo profissional médico.

A utilidade das imagens pós-processadas pode ser confirmada nas figuras 11 e 12.

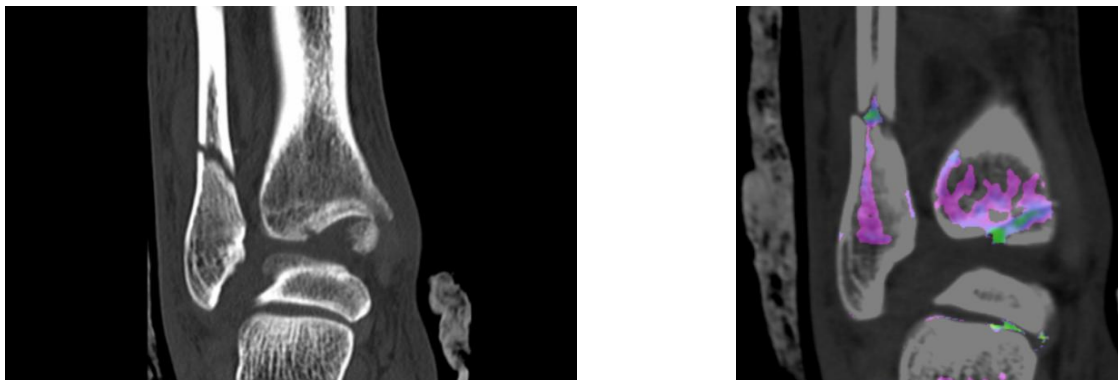


Figura 11- Comparação entre imagem da tibiotalar direita no plano coronal de TC e imagem de TCDE pós-processada em Bone Marrow

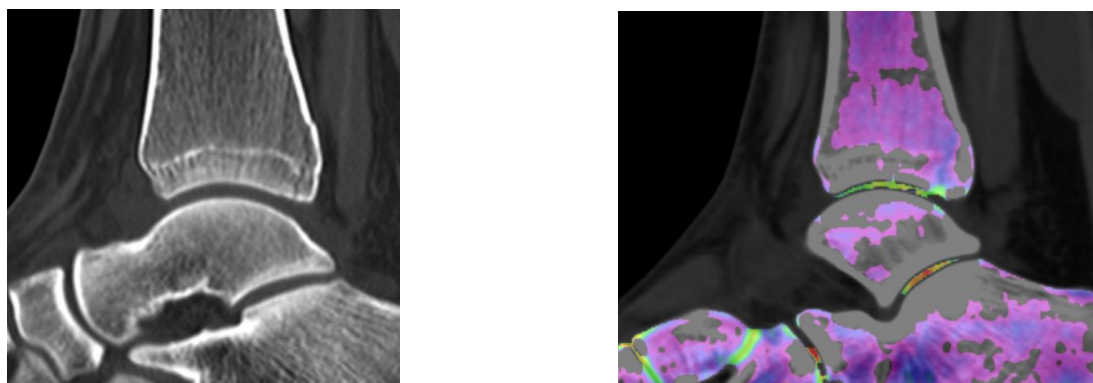


Figura 12- Comparação entre imagem da tibiotalar direita no plano sagital de TC e imagem de TCDE pós-processada em Bone Marrow

9. DISCUSSÃO

Após efetuada a análise estatística dos resultados obtidos, é necessária a interpretação e confronto dos mesmos com os diversos estudos que suportam a justificação e pertinência do tema da presente dissertação de forma a dar respostas às questões de investigação definidas.

O presente estudo teve como principal objetivo perceber se a análise de imagens de TCDE pós-processadas em *Bone Marrow* constituía uma mais-valia na avaliação de pequenas fraturas. Para tal, foram selecionados exames de TC realizados a pacientes segundo indicações clínicas específicas que se caracterizam como sendo as motivadoras do estudo.

No nosso entender, era expectável que a adição da análise de imagens de DECT pós-processadas em *Bone Marrow* representasse uma mais-valia para a avaliação de fraturas quando comparado com a análise de imagens sem este pós-processamento.

Os resultados obtidos demonstram que em 100 exames, segundo os médicos radiologistas, 83,0% dos casos apresentavam fratura, sendo que os técnicos de radiologia indicaram a presença de fratura em 77,0% dos casos analisados.

As fraturas podem ocorrer por variados mecanismos, como a aplicação de forças, ainda que diretas provenientes de quedas ou acidentes, ou moderadas através de movimentos repetitivos. Para além disso, patologias que possam fragilizar o tecido ósseo podem também ser apontadas como causadoras de fraturas, como por exemplo, a osteoporose.

Segundo o estudo de Silva, em Portugal, as fraturas são significativamente mais frequentes no sexo feminino, talvez por uma maior suscetibilidade da mulher a osteoporose durante a fase da menopausa. Neste mesmo estudo estima também que o número de fraturas osteoporóticas duplicará em 2040 (Silva, 2018).

No nosso estudo, a relação entre a presença de fratura e o sexo do paciente não foi realizada, devido ao método de anonimato dos exames, no qual cada exame ficou identificado apenas por um número.

Através da análise de frequências no que concerne à localização das fraturas, concluímos que, dos casos analisados, houve uma maior prevalência das fraturas da tibiotársica, constituindo 28% dos casos, seguido das fraturas do punho, em 26,0% e das

fraturas do pé, com presença em 18,0% dos casos. Por fim, as fraturas do ombro constituíram 16,0% dos casos enquanto que apenas 6,0% refletiam traços de fraturas no cotovelo.

Como consta no gráfico 1, a grande maioria dos casos, perante os 4 avaliadores foi observada como tendo visíveis traços de fratura, que por sua vez foi igualmente considerado o achado imagiológico com maior prevalência, como é demonstrado na tabela 2.

De acordo com o estudo de Gosangi, microfraturas podem causar rutura dos vasos sanguíneos e provocar um acumular de fluído no espaço medular, traduzindo-se em edema da medula óssea. Embora a radiografia convencional seja o exame de primeira linha, não é suficientemente sensível para detetar alterações na medula óssea, o que faz com que não seja a modalidade preferida por não ser eficaz na avaliação imediata de lesões traumáticas (Gosangi, 2020).

No estudo de caso de Ruggiero, relata um caso em que, a fratura não foi evidenciada tanto pela radiografia como pela TC convencional em escalas de cinzentos e o doente foi dispensado indevidamente e encaminhado para o domicílio. Posteriormente, após regresso do doente à unidade hospitalar, e reconstruindo as imagens do VNC para avaliar a presença de fraturas ocultas foi claramente visível uma área de edema que se estendia do colo femoral até a região trocantérica, compatível com fratura (Ruggiero, 2024).

A meta análise de Li, avaliou a precisão de imagens de DECT na deteção de lesões traumáticas da medula óssea e revelou ter alta sensibilidade e especificidade, considerando uma modalidade diagnóstica futura potencialmente importante para avaliar edema ósseo. Aliado a esta condição, revela sensibilidade limitada na presença de osteopenia. Uma outra investigação, levada a cabo por Ahmad concluiu igualmente que a TCDE fornece informações valiosas para o diagnóstico de diversas condições, incluindo o edema da medula óssea (Ahmad, 2024)

Um outro estudo, levado a cabo por Carvallaro estabeleceu uma comparação entre a TCDE e a ressonância magnética (RM), para avaliar a presença e extensão do edema da medula óssea e a representação da linha de fratura, em situações de trauma. O estudo foi constituído pela avaliação de oitenta e oito doentes e a avaliação foi feita por cinco radiologistas. Concluíram que a TCDE apresentou uma sensibilidade e especificidade elevadas. No entanto, para a avaliação de edema da medula óssea a RM apresentou uma confiança diagnóstica significativamente menor, devido à sensibilidade apenas moderada em comparação com a TCDE. Aponta ainda como principal vantagem, a DECT ser uma alternativa relevante para os doentes idosos, que dificilmente conseguem sustentar os longos exames de RM (Carvallaro, 2021).

No estudo de Wong, foi estudada a utilidade da TCDE para avaliar o edema da medula óssea em fratura do punho. Dois leitores avaliaram 24 doentes com fratura do punho e concluíram que encontraram edema em 92% das fraturas identificadas, tendo sido a atenuação da TCDE significativamente maior nas fraturas. Posteriormente, confrontaram os resultados obtidos com o estudo de Hunter, onde é referido que, em média, 16% das fraturas do escafóide não são visualizadas nas radiografias convencionais. De forma geral, se nenhuma fratura for identificada na radiografia inicial, mas ainda houver suspeita clínica, os doentes são tratados com imobilização gessada. No entanto, apenas 5-10% desses doentes realmente apresentam fraturas demonstrando que a TCDE tem, portanto, o potencial de reduzir o número de pacientes tratados em excesso e diminuir o número de radiografias e TC de acompanhamento desnecessárias (Wong, 2018; Hunter, 1997).

Perante a baixa eficácia do recurso à radiografia convencional como exame de primeira linha, tal como nos estudos anteriormente referidos, também no nosso estudo foram apresentadas vantagens na aquisição de imagens por TC quando se pretende avaliar fraturas que possam envolver edema ósseo.

No presente estudo, as fraturas do punho constituíram 26% da amostra. Apesar de não existirem subgrupos, diferenciando as regiões anatómicas por exemplo, tendo em conta os resultados obtidos, podemos considerar que as fraturas do punho foram facilmente identificadas através da avaliação de imagens de TCDE pós-processadas em *Bone Marrow*.

Não incluímos no nosso estudo exames de TC do joelho dada a presença de material metálico ser muito elevada e a sua presença ser um critério de exclusão estabelecido por nós. No entanto, Foti declara que a TCDE também pode representar com precisão a presença de edema da medula óssea em fraturas pós-traumáticas do joelho. A codificação de cores pode ser usada para delinear melhor as ruturas do menisco. Carotti afirma que a TCDE permite visualizar estruturas ligamentares do joelho, como o ligamento cruzado anterior, o ligamento cruzado posterior, o ligamento patelar e o ligamento colateral, sem injeção intra-articular de meio de contraste (Foti, 2021; Carotti, 2019).

Booz, avaliou a utilidade da TCDE no diagnóstico de lesões traumáticas da medula óssea. No que diz respeito às fraturas do calcâneo, foi efetuada uma comparação das reconstruções codificadas por cores com a RM em relação à confiança diagnóstica e ruído da imagem, não revelando diferenças significativas. Assim, a TCDE exibiu alta precisão diagnóstica e elevada confiança na deteção de edema da medula óssea em doentes com lesões traumáticas do calcâneo. Como consequência desta avaliação, considera que quando a RM não estiver disponível ou for contraindicada, a TCDE pode ser realizada como uma

alternativa viável, levando a um atendimento mais eficiente ao doente após trauma do esqueleto apendicular (Booz, 2019).

Todos estes estudos levados a cabo por outros investigadores, reforçam a ideia base do nosso estudo que assenta nas inúmeras vantagens da TCDE, no que diz respeito ao diagnóstico de fraturas.

Os artefactos metálicos podem obscurecer a anatomia circundante e potencialmente limitar as capacidades de diagnóstico das modalidades de imagem. Em situações com implantes metálicos, a capacidade da TC para minimizar estes artefactos é crucial (Ruggiero, 2024). Tendo em conta o estudo de Lee, a TCDE apresenta diversas vantagens como a redução de artefactos metálicos, nomeadamente material de osteossíntese em comparação com a SECT (Lee, 2018). No entanto, ainda assim, não incluímos exames cuja imagens continham material de osteossíntese, de modo a não limitar a eficiência da adição do BM e por isso, no estudo que realizámos, com um total de 200 avaliações, a prevalência de artefactos foi baixa, com uma frequência relativa de 2,0%.

A utilidade da TCDE para detetar edema da medula óssea (em comparação com o padrão de referência, ressonância magnética) foi demonstrada em estudos anteriores. Pache analisou a determinação de presença de edema da medula óssea no traumatismo agudo do joelho e obtiveram valores de sensibilidade e especificidade elevados. Obtendo valores igualmente elevados de sensibilidade de especificidade, Guggenberger identificou lesões da medula óssea no trauma da tibiotársica (Pache, 2010; Guggenberger, 2012).

De acordo com Qiupingren, a TCDE facilita a discriminação de diferentes materiais, o que permite criar um mapa de cores, as cores mais quentes inflamação/alteração óssea e as cores mais frias a normalidade, que auxilia na deteção do EBM envolvendo fraturas, devido à excelente precisão e à elevada sensibilidade que varia entre os 90% e os 95% (Qiupingren, 2022).

Esta conclusão vai ao encontro da opinião de Ahmad que defende que através de técnicas avançadas de pós processamento, como o mapeamento de cores específicas de materiais e imagens monocromáticas virtuais, melhoram ainda mais a utilidade diagnóstica da TCDE, reduzindo artefactos e fornecendo imagens claras e detalhadas. Analisando o ensaio de Foti, refere que o mapa de cores usado no pós-processamento se baseia em cores que vão desde o verde-amarelo ao laranja-vermelho (Ahmad, 2020; Foti, 2021).

No nosso estudo, todos os avaliadores consideraram que a avaliação através de imagens pós processadas em Bone Marrow possuíam boa qualidade, confirmando a elevada sensibilidade da TCDE na avaliação de fraturas descritas pelos autores. Verificou-se apenas

uma divergência perante a avaliação de 2,0% dos casos analisados pelos técnicos de radiologia como tendo má qualidade.

O cruzamento dos dados sintetizados na tabela 5, referentes à presença de artefactos e a qualidade da avaliação de imagens pós-processadas em BM, concluímos que os casos identificados como tendo artefactos, não revelaram ter uma má qualidade de imagens. Isto poderá verificar-se devido ao facto de a redução de artefactos ser uma das vantagens da utilização de TCDE, como é descrito anteriormente por Lee (Lee, 2018).

A análise comparativa entre as imagens de TC e as imagens pós processadas em Bone Marrow revelou existir uma correspondência em pelo menos 88% dos casos no que diz respeito ao local das fraturas. Isto é possível verificar-se uma vez que, na TCDE, pode ser criada uma imagem de sobreposição de cores onde o conteúdo virtual sem cálcio (VNC) é sobreposto ao conteúdo de cálcio em escala de cinzentos. Deste modo, permite a fusão do conteúdo da medula óssea nas imagens anatómicas, melhorando a visualização de alterações (Ahmad, 2020).

Ao optarmos por fazer uma divisão ao nível das respostas obtendo duas categorias, médico e técnicos, conseguimos constatar que houve uma aproximação das mesmas, no que concerne à correspondência das imagens de TC com as imagens pós-processadas em Bone Marrow. Isto permite-nos concluir que tanto a formação dos técnicos como os anos de experiência na área bem como a formação contínua que efetuam, os capacitam bastante no que diz respeito à avaliação de fraturas.

Foti defende que a DECT pode aumentar a precisão do diagnóstico e reduzir o tempo de leitura, permitindo o radiologista identificar e focar em áreas edematosas, que geralmente correspondem à linha de fratura (Foti, 2021).

Por fim, de acordo com os dados sintetizados na tabela 7, todos os avaliadores, médicos e técnicos, consideraram que na grande maioria dos casos em estudo, a análise de imagens pós processadas em Bone Marrow foi útil para a avaliação de fraturas.

Novamente, Ahmad concorda que a deteção precoce e precisa do edema da medula óssea pode influenciar significativamente a gestão clínica e os resultados dos tratamentos (Ahmad, 2024).

Por sua vez, Ruggiero afirma que a TCDE e as reconstruções VNC devem ser consideradas uma modalidade diagnóstica completa no cenário de trauma, tendo em conta o seu elevado rendimento diagnóstico para retratar fraturas (Ruggiero, 2024).

Desta forma, considera-se que o objetivo do estudo foi cumprido na medida do possível e foi dada a resposta à questão de investigação definida no estudo. A seguir, serão explanadas as limitações encontradas na realização do estudo.

LIMITAÇÕES DO ESTUDO E PERSPETIVAS FUTURAS

As limitações do presente estudo estão, maioritariamente, associadas a dois fatores específicos, designadamente, os fatores inerentes ao paciente e os fatores de imagem.

No que concerne aos fatores inerentes ao paciente, tratando-se de um estudo retrospectivo, a obtenção de um consentimento informado tornava-se impossível. Assim sendo, de forma a salvaguardar e respeitar a lei da proteção de dados não foram recolhidos nem utilizados dados referentes ao sexo e idade dos indivíduos que efetuaram os exames de TC analisados. Esta é uma limitação considerada para o presente estudo tendo em conta que a recolha destas variáveis seria uma mais-valia para a categorização do tipo de fraturas presente e para efeitos de comparação em situações de fraturas por condições osteoporose durante a menopausa.

Por fim, o estudo deveria incluir mais casos de forma a reforçar a amostra para que fosse possível incluir maior número de casos de cada região anatómica analisada com intuito de estabelecer mais relações entre o tipo e localização das fraturas e a mais-valia que a análise de imagens pós-processadas em *Bone Marrow* possa trazer.

No futuro, perspetiva-se a realização de mais estudos deste género que visem, inicialmente, a demonstração das inúmeras vantagens que a DECT atualmente oferece no que diz respeito ao diagnóstico de diversas patologias para que possam ser implementados novos protocolos de aquisição ainda mais otimizados.

CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo perceber se a análise de imagens pós-processadas em *Bone Marrow* constituem uma mais-valia na avaliação de fraturas. No total foram analisados 50 exames de A recolha de dados foi efetuada entre fevereiro e abril de 2024.

Em relação aos achados imagiológicos presentes nas imagens dos exames analisados constatou-se que prevaleceram os traços de fratura.

No que diz respeito à qualidade das imagens de TC pós-processadas em *Bone Marrow*, concluiu-se que na grande maioria das respostas, todos os avaliadores estiveram de acordo considerando que apresentavam uma boa qualidade para diagnosticar fraturas.

A presença de artefactos nas imagens analisadas revelou ser bastante baixa. Nos raros casos em que a sua presença foi assinalada, não foi significativo a ponto de contribuir para que a qualidade das imagens fosse classificada como má.

Após o confronto das imagens pós-processadas em *Bone Marrow* com as imagens de TC, constatou-se haver correspondência do local suspeito de fratura quase na totalidade dos casos analisados. Através da divisão das respostas das imagens entre médico e técnico, verificou-se que a opinião dos técnicos se aproximou bastante da opinião do médico, revelando um elevado grau de concordância.

Por fim, de acordo com a opinião dos avaliadores que colaboraram no estudo, aliado às inúmeras vantagens que a utilização de TCDE aporta para a prática clínica, concluiu-se que recorrer a imagens de TC pós-processadas em *Bone Marrow* revelou ser uma mais-valia quando o objetivo é diagnosticar pequenas fraturas, o que revelou e acentuou a pertinência do estudo efetuado perante a sua conclusão com elevado sucesso.

REFERÊNCIAS

Booz C, Noske J, Albrecht MH et al (2019). Edema traumático da medula óssea do calcâneo: avaliação de TC virtual de dupla energia sem cálcio codificada por cores em um estudo de precisão diagnóstica com vários leitores. *Eur J Radiol* 118:207–214. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2019.07.023>

Carotti, M., Salaffi, F., Beci, G., & Giovagnoni, A. (2019). Dual-energy CT: concepts, applications and future perspectives in musculoskeletal imaging. *La Radiologia Medica*, 124(12), 1175–1183. <https://doi.org/10.1007/s11547-019-01015-x>

Cavallaro, M., D'Angelo, T., Albrecht, M. H., Yel, I., Martin, S. S., Wichmann, J. L., Lenga, L., Mazziotti, S., Blandino, A., Ascenti, G., Longo, M., Vogl, T. J., Booz, C., & D'Angelo, T. (2021). Comprehensive comparison of dual-energy computed tomography and magnetic resonance imaging for the assessment of bone marrow edema and fracture lines in acute vertebral fractures. *European Radiology*, 32(1), 561–571. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08081-8>

Eustace, S., Keogh, C., Blake, M., Ward, R. J., Oder, P. D., & Dimasi, M. (2001). MR imaging of bone marrow edema: Mechanisms and interpretation. *Clinical Radiology*, 56(1), 4–12. <https://doi.org/10.1053/crad.2000.0650>

Fletcher, J. G., McCollough, C. H., Leng, S., & Yu, L. (2015). Dual- and multi-energy CT: Principles, technical approaches, and clinical applications. *Radiology*, 276(3), 637–653. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015142631>

Forghani, R., & Man, B. De. (2017). Dual-Energy Computed Tomography Physical Principles, Approaches to Scanning, Usage, and Implementation: *Neuroimaging Clinics of NA*, 27(3), 371–384. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2017.03.002>

Foti, G., Serra, G., Iacono, V., & Zorzi, C. (2021). Identification of traumatic bone marrow oedema: The pearls and pitfalls of dual-energy CT (DECT). *Tomography*, 7(3), 424–433. <https://www.mdpi.com/2379-139X/7/3/37>

Garnett R. A comprehensive review of dual-energy and multi-spectral computed tomography. *Clin Imaging*. 2020 Nov;67:160-169. doi: 10.1016/j.clinimag.2020.07.030. Epub 2020 Aug 7. PMID: 32795784.

Gerety EL, Hopper MA, Bearcroft PW. A confiabilidade da medição da densidade do corpo vertebral L1 na tomografia computadorizada como preditor da densidade mineral óssea. *Clin Radiol* 2017;72:177.e9-177.e15

Gosangi, B., Mandell, J. C., Weaver, M. J., Uyeda, J. W., Smith, S. E., Sodickson, A. D., & Khurana, B. (2020). Bone marrow edema at dual-energy CT: A game changer in the emergency department. *Radiographics*, 40(3), 859–874. <https://doi.org/10.1148/rg.2020190173>

Hunter, J. C., Escobedo, E. M., Wilson, A. J., Hanel, D. P., Zink-Brody, G. C., & Mann, F. A. (1997). MR imaging of clinically suspected scaphoid fractures. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 168(5), 1287–1293. <https://doi.org/10.2214/ajr.168.5.9129428>

Joshi, D., & Singh, T. P. (2020). A survey of fracture detection techniques in bone X-ray images. *Artificial Intelligence Review*, 53(6), 3375–3385. <https://doi.org/10.1007/s10462-019-09799>

Lee, H. J., & Hwang, J. Y. (2021). Multidetector computed tomography in patients with femoral neck fracture for assessing osteoporosis: Comparison with dual energy X-ray absorptiometry. *Journal of the Korean Society of Radiology*, 82(1), 173–181. <https://doi.org/10.3348/jksr.2019.0193>

Liang Low, Y., & Finkelstein, E. (2021). Economic evaluation cost-effective analysis of dual-energy computed tomography for the diagnosis of occult hip fractures among older adults. *Journal of Clinical Imaging Science*, 11, 1–8. https://doi.org/10.25259/JCIS_96_2021

Littman, J., Gil, H., & Aaron, R. (2023). Spontaneous bone marrow edema: Perfusion abnormalities and treatment with surgical decompression. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 221(1), 1–9. <https://doi.org/10.2214/AJR.23.29099>

Liu, Z., Huang, D., Zhang, Y., Chang, R., Zhang, X., Jiang, Y., & Ma, X. (2022). Accuracy and applicability of dual-energy computed tomography in quantifying vertebral bone marrow adipose tissue compared with magnetic resonance imaging. *Insights into Imaging*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13244-022-01326-0>

Mallinson, P. I., Gershony, S. L., McLaughlin, P. D., & Munk, P. L. (2016). Getting the most from your dual-energy scanner: Recognizing, reducing, and eliminating artifacts.

AJR. *American Journal of Roentgenology*, 206(1), 4–10.
<https://doi.org/10.2214/AJR.14.13901>

Mandell, J. C., Weaver, M. J., Jennifer, W., & Smith, S. E. (2020). Bone marrow edema at dual-energy CT: A game changer in the emergency department. *Radiographics*, 40(3), 859–874. <https://doi.org/10.1148/rg.2020190173OECD>. (2023). Computed tomography (CT) exams (indicator). OECD Health Statistics. <https://doi.org/10.1787/3c994537-en> (Accessed on 18 December 2023)

Parvin, S., & Rahman, A. (2024). A real-time human bone fracture detection and classification from multi-modal images using deep learning technique. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 15(4), 9269–9285. <https://doi.org/10.1007/s10489-024-05588-7>

Pawlak, R. (2021). Vitamin B12 status is a risk factor for bone fractures among vegans. *Medical Hypotheses*, 153, 110625. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2021.110625>

Reichert, J. C., Saifzadeh, S., Wullschlegel, M. E., & Schuetz, M. A. (2023). *Fracture healing research: Recent insights*. **Bone Reports**, 19, 101050. <https://doi.org/10.1016/j.bonr.2023.101050>

Rocha MA, Azer HW, Nascimento VdG. Evolução funcional nas fraturas da extremidade proximal do fêmur. *Acta Ortopédica Brasileira*. 2009;17:17-21.

Simonetti, I., Verde, F., Palumbo, L., Di, F., Puglia, M., Scaglione, M., Ragozzino, A., & Romano, S. (2021). Dual energy computed tomography evaluation of skeletal traumas. *European Journal of Radiology*, 134(July 2020), 109456. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109456>

So, A., & Nicolaou, S. (2020). Spectral computed tomography: Fundamental principles and recent developments. *Korean Journal of Radiology*, 22(1), 86–96. <https://doi.org/10.3348/kjr.2020.0144>

Tatsugami, F., Higaki, T., Nakamura, Y., Honda, Y., & Awai, K. (2022). Dual - energy CT : minimal essentials for radiologists. *Japanese Journal of Radiology*, 40(6), 547–559. <https://doi.org/10.1007/s11604-021-01233-2>

Trc, J. (2012). Dual-energy CT: General principles. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 199(5), 3–8. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9116>

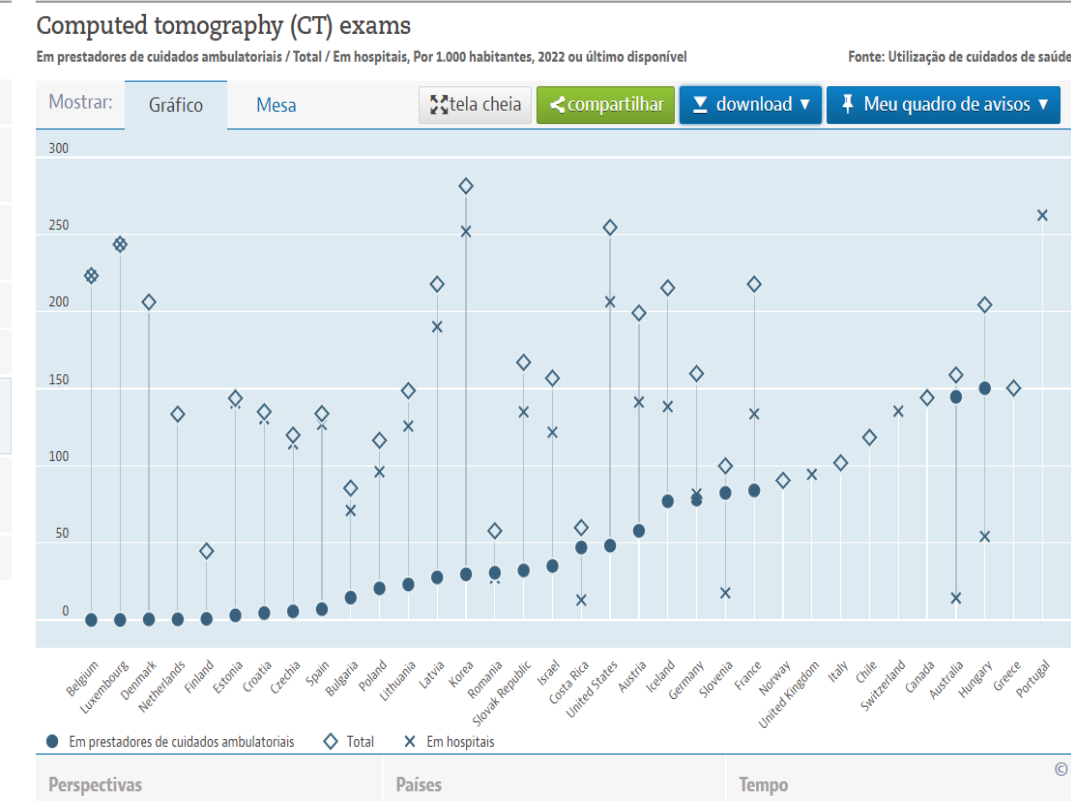
Velliou, M., Sanidas, E., Zografou, A., Papadopoulos, D., Dalianis, N., & Barbetseas, J. (2022). Antihypertensive Drugs and Risk of Bone Fractures. *Drugs & Aging*, 39(7), 551–557. <https://doi.org/10.1007/s40266-022-00955-w>

Weidman, E. K., Plodkowski, A. J., Halpenny, D. F., & Hayes, S. A. (2018). Dual-energy CT angiography for detection of pulmonary emboli: Incremental benefit of iodine maps. *Radiology*, 289(2), 546–553. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018180594>

Wilson, A. J., Murphy, W. A., Hardy, D. C., & Totty, W. G. (1988). Transient osteoporosis: Bone marrow edema? *Radiology*, 167(3), 757–760. <https://doi.org/10.1148/radiology.167.3.3176975>

Wong, W. D., Liang, T., & Jalal, S. (2018). Analysis of bone marrow edema in. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 210(4), 842–847. <https://doi.org/10.2214/AJR.17.18673>

ANEXOS



Anexo I - Dados da OCDE relativo ao número de exames de TC realizados por 1000 habitantes em 2022

De notar que, Portugal, apenas contribui para este estudo com dados do setor público. A maioria dos equipamentos de TC encontram-se em instituições hospitalares privadas e uma parte significativa dos exames do Serviço Nacional de Saúde acabam por ser realizados no privado.

Declaração de Aceitação

Orientador/ Coorientador/ Supervisor e
Proposta de Plano de Dissertação/ Trabalho de Projeto/ Estágio

Nos termos do Regulamento dos cursos do 2.º Ciclo de Estudos, no Mestrado em Imagem Médica e Radioterapia.

o(s) docente(s) Mário João Monteiro e João Paulo Figueiredo,

declara(m) que aceita(m) ser orientador/coorientador do aluno Inês Marques Barbosa, na realização de:

- ☐ Estágio e relatório sob a supervisão de Clique ou toque aqui para introduzir texto.,
na Empresa/Instituição Clique ou toque aqui para introduzir texto.
- ☐ Trabalho de Projeto sob a supervisão de Clique ou toque aqui para introduzir texto.
com o tema Clique ou toque aqui para introduzir texto.
- ☒ Dissertação com o tema Tomografia Computorizada Dupla Energia na avaliação de fraturas ósseas

Mais declaram aceitar a proposta de Plano, em anexo, quanto a:

- ☒ Objetivos
- ☒ Metodologia (para os alunos que optem pela Dissertação ou Trabalho de Projeto)
- ☒ Breve descrição
- ☒ Cronograma

Coimbra, Clique ou toque para introduzir uma data.

O Orientador

Mário João Monteiro

O Coorientador

João Paulo Figueiredo

O Supervisor

Clique ou toque aqui para
introduzir texto.



Assinado por: Mário João Gonçalves Monteiro
Num. de Identificação: 08434295
Data: 2023.10.31 15:11:01+00'00'



Assinado por: João Paulo de Figueiredo
Num. de Identificação: 10849976
Data: 2023.10.31 14:41:31+00'00'

1 de 2
Mod. 4.214_02
SISTEMA INTERNO DE GARANTIA DA QUALIDADE

Anexo II- Declaração de aceitação do orientador/ proposta de plano de trabalho

Proposta de Plano de Trabalho (a preencher pelo Aluno)

- ☒ Dissertação
☐ Estágio
☐ Trabalho de Projeto

Objetivos

Avaliar as vantagens do recurso à Dual Energy CT quando se pretende diagnosticar pequenas fraturas.

Metodologia*

Sujeitaremos a avaliação por médicos/técnicos imagens policromáticas virtuais semelhantes as imagens adquiridas com um equipamento de TC de energia. Estas imagens serão comparadas com imagens Dupla energia TC, pós processadas para avaliação de edema ósseo, estas imagens da mesma zona anatómica que as anteriores serão apresentadas, aos avaliadores, no mesmo plano que as imagens policromáticas virtuais.

Todas as imagens irão ser anonimizadas, os avaliadores responderão a questionário que permitirá aferir da possível mais-valia das imagens pós processadas (*Bone marrow*), para diagnóstico de fraturas ósseas.

Para os testes estatístico recorreremos ao ao Programa SPSS (versão 25)

Breve descrição

A tomografia computadorizada de dupla energia (DECT) é um método de imagem que desempenha um papel fundamental e possui diversas aplicações clínicas, como neurorradiologia e sistema músculo-esquelético. Os equipamentos de fonte dupla são equipados com dois tubos de raio-x, que funcionam em tensões diferentes (70kV e 150 kVp), o que permite a aquisição simultânea de imagens nesses dois níveis de energia diferentes.

Uma fratura caracteriza-se por uma descontinuidade óssea.

A DECT é capaz de separar diferentes materiais, como o cálcio, um composto de alto peso molecular, do ácido úrico, um composto de baixo peso molecular, bem como o osso cortical do osso trabecular.

Com base nesses pressupostos, pretende-se conseguir concretizar os objetivos propostos inicialmente, demonstrando as vantagens do recurso à DECT quando se pretende avaliar pequenas fraturas.

Cronograma

Etapas de Investigação	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Análise Bibliográfica	X	X					
Recolha de Dados		X	X	X			
Análise dos Dados				X	X		
Elaboração da Dissertação					X	X	
Entrega da Dissertação							X



Instituto Politécnico de Coimbra <no-reply@ipc.pt>

para Inês ▾

sexta, 17/11, 12:15



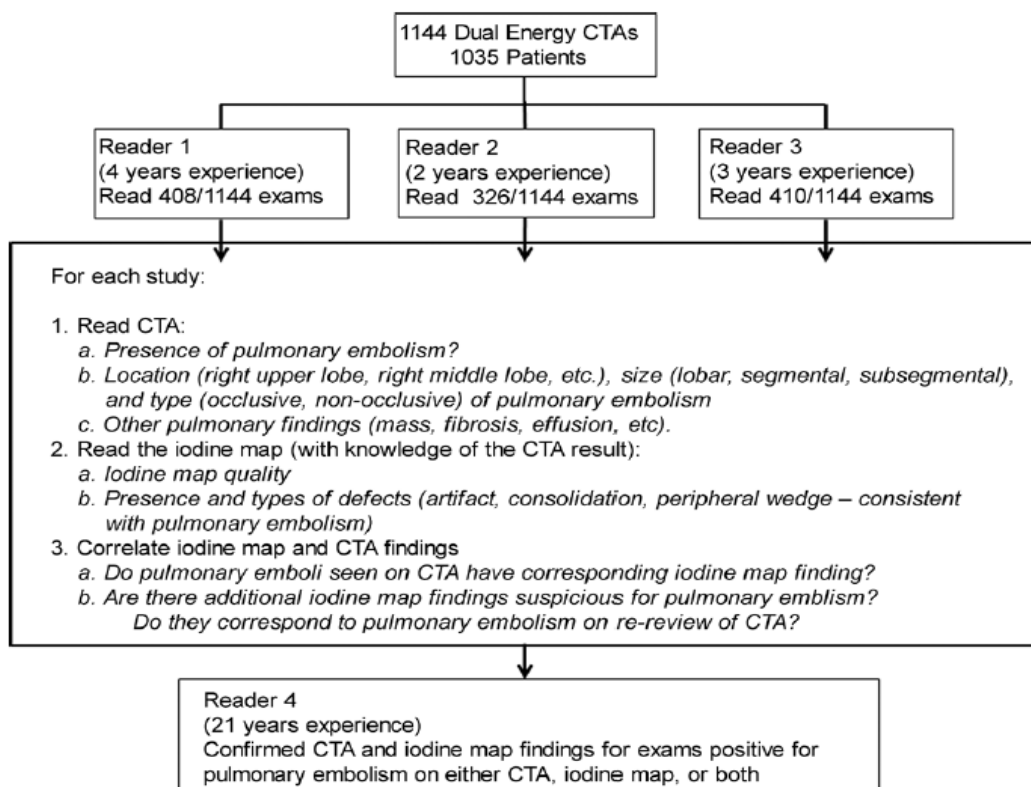
Carola Inês Marques Barbosa,

Informa-se que de acordo com despacho exarado no requerimento de pedido de aprovação tema e orientador e na sequência da deliberação do Conselho Técnico-Científico de 08/11/2023 (ata n.º 19/2023), foi aprovada a proposta do tema de Estágio/Tese "Tomografia Computorizada Dupla Energia na avaliação de fraturas ósseas", sob orientação de Prof. Mário João Gonçalves Monteiro e coorientador Prof. João Paulo de Figueiredo.

Informamos ainda que a data limite para requerer a marcação de provas com a entrega da Dissertação ou Relatório de Estágio será 30 março de 2024.

Com os melhores cumprimentos,
Paula Mexia

Anexo III - notificação de aprovação da proposta de trabalho



Anexo IV- Questionário modelo

O presente questionário foi desenvolvido no âmbito da investigação para a **Dissertação de Mestrado** em Imagem Médica e Radioterapia na Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra-IPC. Com este estudo pretende-se aferir se efetivamente as imagens pós-processadas com recurso a TC de Dupla Energia apresentam uma mais-valia na avaliação de fraturas, quando associadas às imagens monoenergéticas virtuais.

Utilizámos imagens pós-processadas em “Bone Marrow”, que permite avaliar o edema/inflamação óssea, assim sendo a paleta de cores vai do amarelo até ao lilás, representando as cores mais quentes inflamação/alteração óssea e as cores mais frias a normalidade.

Muito obrigada pela sua participação e colaboração.

ID: _____

1. Há presença de fratura?

- Sim ☐
- Não ☐

Se respondeu “Sim” responda à pergunta 1.1. Se respondeu “Não” responda à pergunta 1.2.

1.1 – Qual a localização da fratura?

1.2 – Qual o achado imagiológico?



2. Qual a qualidade da avaliação através da Dupla Energia do “Bone Marrow”?

- Boa ☐
- Razoável ☐
- Má ☐

3. Nas imagens analisadas de Dupla Energia, há presença de artefactos?

- Sim ☐
- Não ☐
- Não sei ☐

4. A fratura visível na Tomografia Computorizada tem correspondência nas imagens de “Bone Marrow”?

- Sim ☐
- Não ☐
- Não sei ☐

5. Considera que a avaliação das imagens de “Bone Marrow” é uma mais-valia para a avaliação de fraturas?

- Sim ☐
- Não ☐
- Não sei ☐

Fim

Parecer para Prorrogação de Marcação de Provas

Ex^{ma} Senhor Presidente da ESTeSC

A(o)

☒ Dissertação

☐ Relatório de Estágio

☐ Relatório de Projeto (selecionar a opção)

em elaboração(a) para a obtenção do grau de Mestre em Imagem Médica e Radioterapia, do(a) mestrando(a): Inês Marques Barbosa com o nº de aluno 2017001173 e intitulado(a): Avaliação de fraturas com recurso a TC de dupla energia

encontra-se ainda em elaboração/desenvolvimento, sou, por isso, de parecer que deva ser aceite a prorrogação por 6 meses da entrega da versão provisória para a marcação de provas a ☒ Dissertação ☐ Relatório de Estágio ☐ Relatório de Projeto (selecionar a opção)

Coimbra, 21 de Março de 2024

O Docente

Assinado por: **Mário João Gonçalves Monteiro**
Num. de identificação: 08434295
Data: 2024.03.24 10:16:13+00'00'

(Mário João Gonçalves Monteiro)

Decisão	
Decisão: Deferido	
Data da Decisão: 25-03-2024	Aceitação Serviços de Gestão Académica: 25-03-2024
Registo Decisão: Paula Cristina Trindade Mexia [Serviços da Área Académica]	
Observações: Tendo em conta que o pedido se encontra de acordo com o estabelecido no regulamento académico, no âmbito da delegação de competências, Despacho/ESTESC/36/2023, é autorizado o pedido da aluna.	
Ficheiro(s) Anexo(s):	

Anexo VII- Decisão sobre o parecer para prorrogação de marcação de provas

Parecer para Prorrogação de Marcação de Provas

Ex^{mo} Senhor Presidente da ESTeSC

A(o)

☒ Dissertação

☐ Relatório de Estágio

☐ Relatório de Projeto (selecionar a opção)

em elaboração(a) para a obtenção do grau de Mestre em Imagem Médica e Radioterapia (Especialização em Imagem Médica e Radioterapia), do(a) mestrando(a): Inês Marques Barbosa com o nº de aluno 2017001173) e intitulado(a) Avaliação de fraturas com recurso a TC de Dupla Energia

(Título): Avaliação de fraturas com recurso a TC de Dupla Energia

encontra-se ainda em elaboração/desenvolvimento, sou, por isso, de parecer que deva ser aceite a prorrogação por 6 meses da entrega da versão provisória para a marcação de provas a ☒ Dissertação ☐ Relatório de Estágio ☐ Relatório de Projeto (selecionar a opção)

Coimbra, 31 de outubro de 2024

O Docente

Assinado por: **Mário João Gonçalves Monteiro**
Num. de Identificação: 08434295
Data: 2024.10.31 22:05:57+00'00'

(Mário João Gonçalves Monteiro)

Assunto: IPC - Requerimento com número 183398NON

Mensagem: Caro/a Inês Marques Barbosa,

O requerimento que apresentou em **12-11-2024** relativo a **Requerimento para prorrogação da entrega da dissertação/trabalho de projeto/relatório de estágio** foi apreciado tendo nele sido exarado despacho superior cujo projeto de decisão aponta no sentido do seu **deferimento**. O processo contendo toda a informação relativa ao requerimento apresentado, pode ser consultado no InforEstudante, na opção Requerimentos.

Neste sentido, a segunda prorrogação de marcação de provas, decorrerá no período de 31 de outubro de 2024 a 30 de abril de 2025, conforme registado em "Estatutos e Regalias".

Informamos ainda, que de acordo com o estabelecido no n.º 7 do Artigo 11º do Regulamento Académico do 2.º Ciclo de Estudos do Instituto Politécnico de Coimbra, cada prorrogação está sujeita ao pagamento de 50 % do valor da propina anual fixada para o 1.º ano da edição em que se venha a inscrever, estando o valor registado e respetivos dados disponíveis em "Propinas e Emolumentos".

Para assuntos relacionados com tesouraria, deverá contactar o respetivo serviço através do email: tesouraria@estesc.ipc.pt.

Atentamente,

Sandra Cardoso

Anexo IX- Decisão sobre o parecer para prorrogação de marcação de provas

