

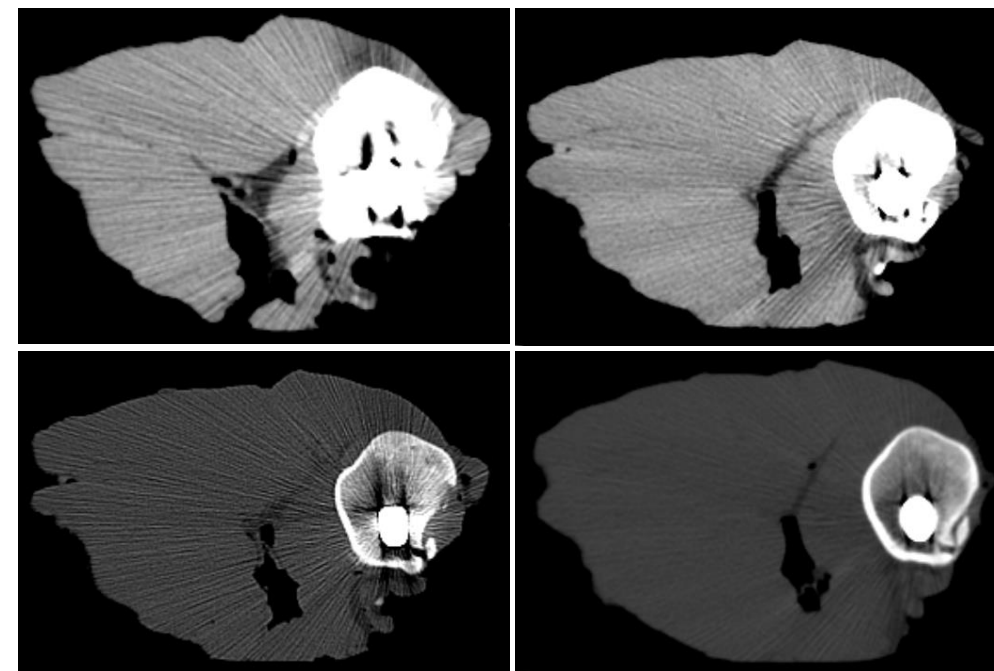
Reconstrução iterativa de imagem em Tomografia Computorizada para avaliação de material ortopédico – Análise da qualidade de imagem com recurso a um algoritmo iterativo de redução de artefactos de metal (*iMAR*)



Fábio Miguel Nogueira
Outubro 2017

Sumário

- **Objetivos Gerais**
- **Introdução**
- **Revisão Sistemática**
 - Aspectos a Salientar da RS
- **Estudo Empírico**
 - Contextualização
 - Metodologia
 - Resultados
 - Discussão
- **Considerações Finais**



Objetivos Gerais

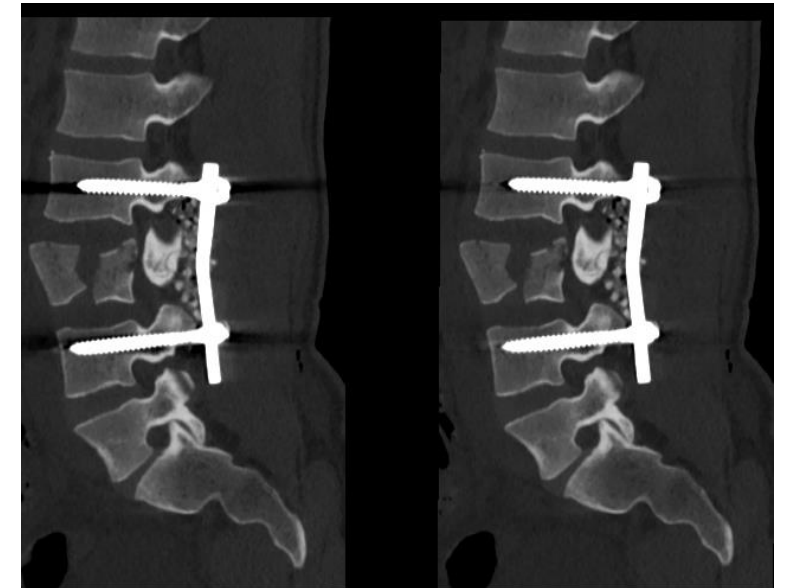
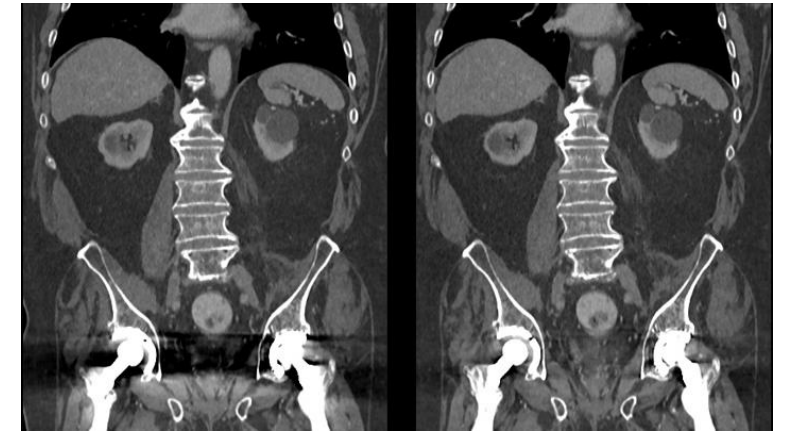
Introdução

Revisão Sistemática

Estudo Empírico

Considerações Finais

- Compreender os benefícios do recurso a algoritmos de redução de artefactos de metal em TC;
- Aferir o potencial do *iMAR* no estudo de material de osteossíntese e implantes metálicos;
- Comparar o *iMAR* à retroprojeção filtrada na reconstrução de imagem em TC osteoarticular.



- Fundamentação



ARTEFACTOS

Endurecimento do feixe de radiação X

Dispersão da radiação X

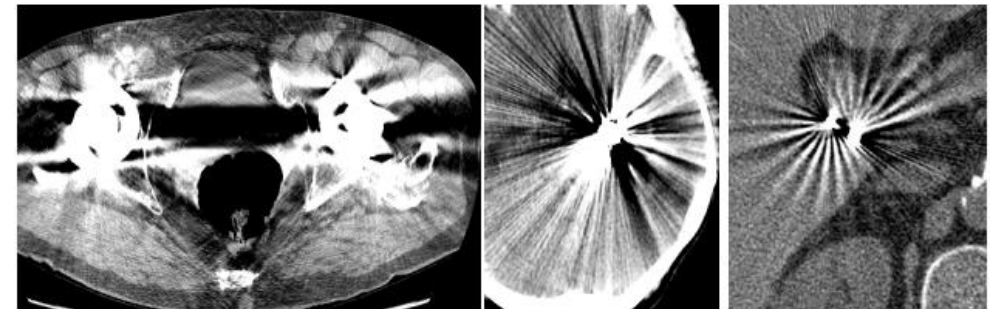
Undersampling – Baixa amostragem de fótons

Photon Starvation – Incerteza estatística

Kachelrieß, M., & Krauss, A. (2015). *Iterative Metal Artifact Reduction (iMAR): Technical Principles and Clinical Results in Radiation Therapy*.

Metal artifact

Metal streak artifacts are extremely common, seen in 21% of scans in one series [27]. They are caused by multiple mechanisms, some of which are related to the metal itself and some of which are related to the metal edges. The metal itself causes beam hardening, scatter effects and Poisson noise, which are discussed above. Beam hardening and scatter result in dark streaks between metal with surrounding bright streaks (FIGURE 5A).



Boas, F. E., & Fleischmann, D. (2012). CT artifacts: Causes and reduction techniques. *Imaging in Medicine*, 4(2), 229–240. <http://doi.org/10.2217/iim.12.13>

Objetivos Gerais

Introdução

Revisão
Sistemática

Estudo Empírico

Considerações
Finais

- TC Osteoarticular e Músculo-esquelética

Infeções

Necrose avascular

Fraturas periprotésicas

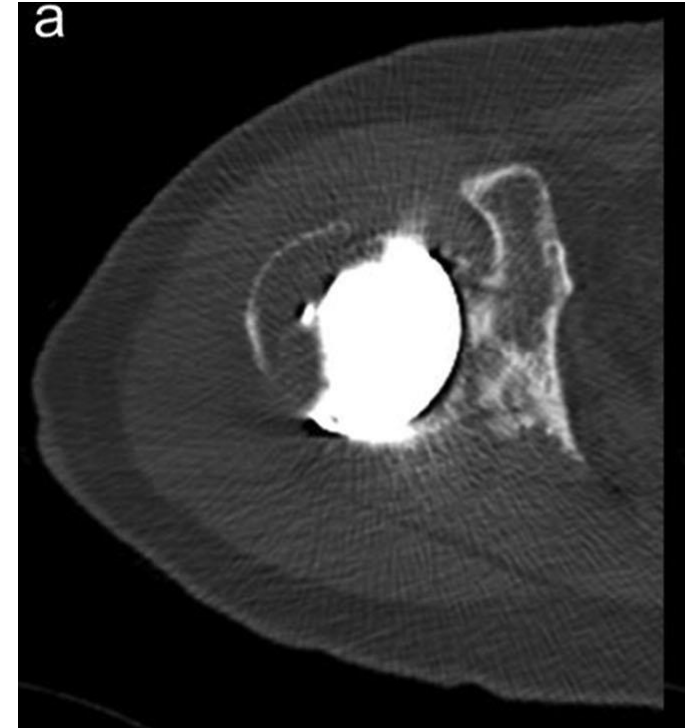
Dor periprotésica após artroplastia

Identificação de focos de osteólise

Partículas resultantes da falência de implantes

Follow-up cirúrgico atrasos de consolidação

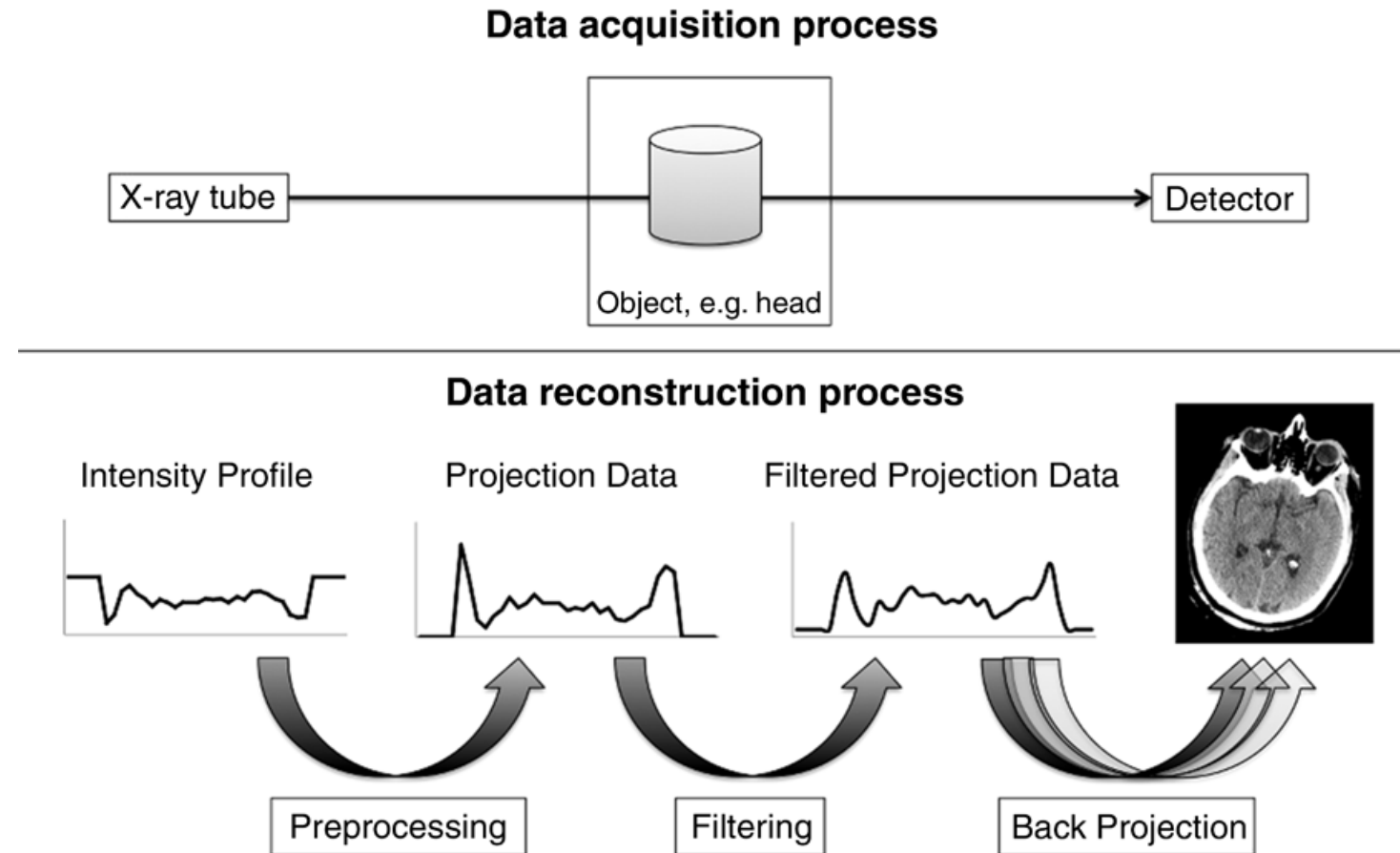
Avaliação da interface osso-implante e cimento-osso



1ª RADIOLOGIA DE FUSÃO

West ATH, Marshall TJ, Bearcroft PW. CT of the musculoskeletal system: What is left is the days of MRI? Eur Radiol. 2009;19(1):152–64

- Reconstrução de Imagem em TC - Analítica



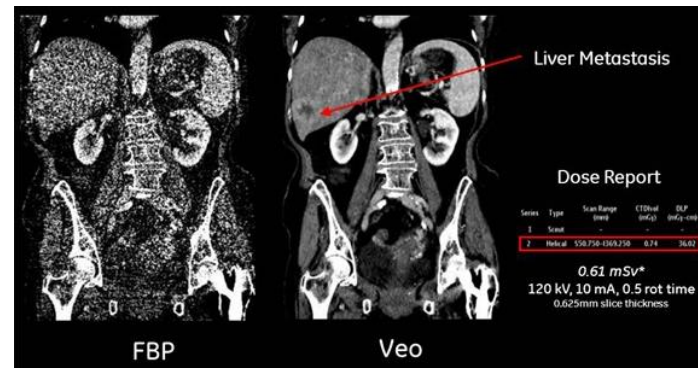
- Reconstrução de Imagem em TC - Iterativa

O objetivo da reconstrução iterativa é a criação de imagens que correspondam aos dados de projeção medidos, devendo para tal os dados de imagem, projeção, ruído e detalhe ser modulados.

Reconstrução estatística no domínio da imagem

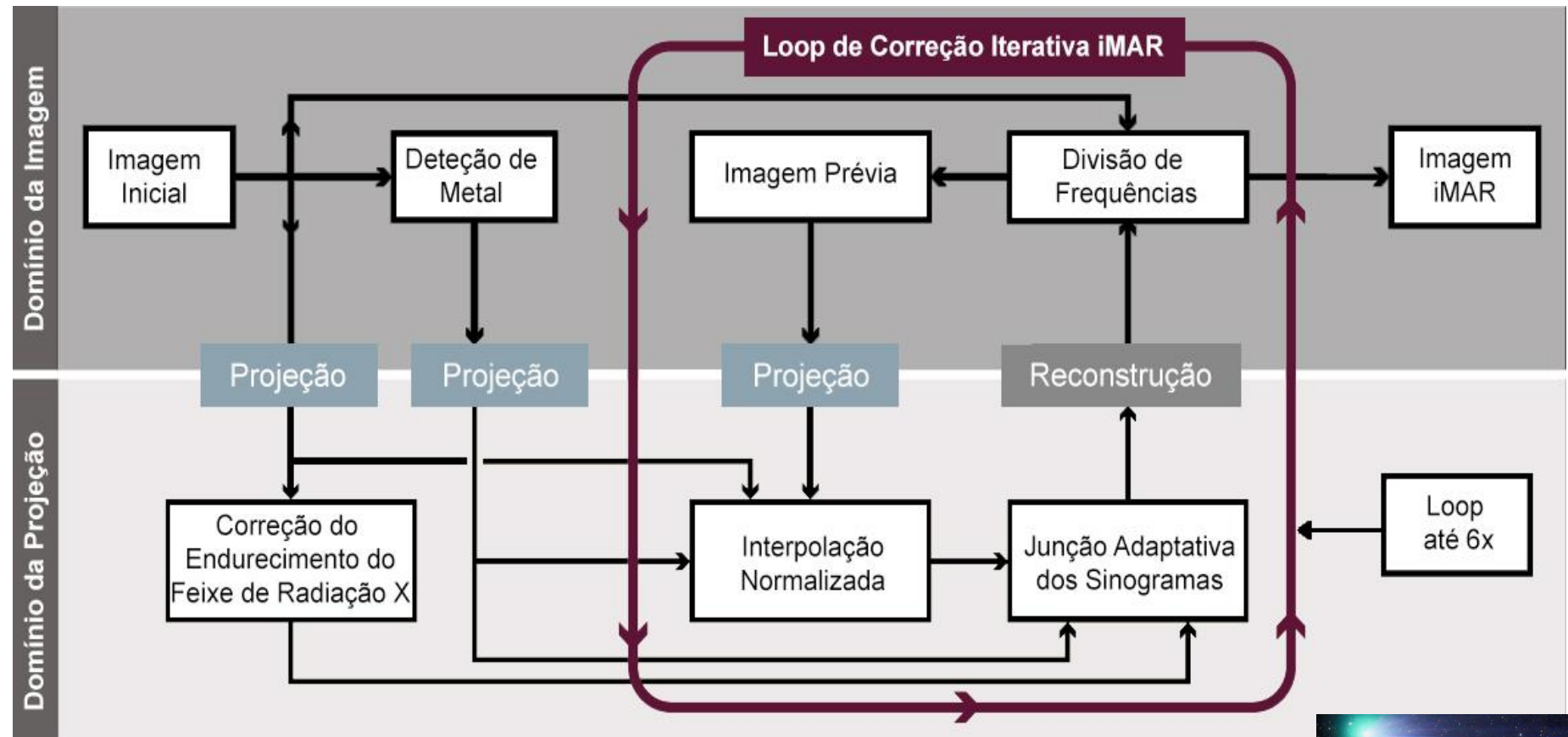
Reconstrução iterativa no domínio da projeção

Reconstrução no domínio da projeção e do sistema – Model-based



• Algoritmos de Redução de Artefactos de Metal em TC

Iterative Metal Artifact Reduction - *iMAR*



Objetivos Gerais

Introdução

Revisão Sistemática

Estudo Empírico

Considerações Finais

Identificação

Seleção Preliminar

Elegibilidade

Estudos Incluídos

Resultados da pesquisa nos Motores de Busca (n = 7882)
PubMed – 3293
Web of Science – 1227
Scopus – 1151
Science Direct – 2211

Resultados adicionais de outras fontes
(n = 0)

Resultados após eliminação de registos duplicados
(n = 5825)

Resultados sujeitos a leitura seletiva
(n = 5825)

Resultados excluídos
(n = 5727)

Referências em texto integral
sujeito a leitura
(n = 98)

Referências em texto
integral excluídas
(n = 93)

Referências incluídas
(n = 5)

1ª RADIOLOGIA DE FUSÃO

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Academia and Clinic Annals of Internal Medicine Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses : *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264–269.

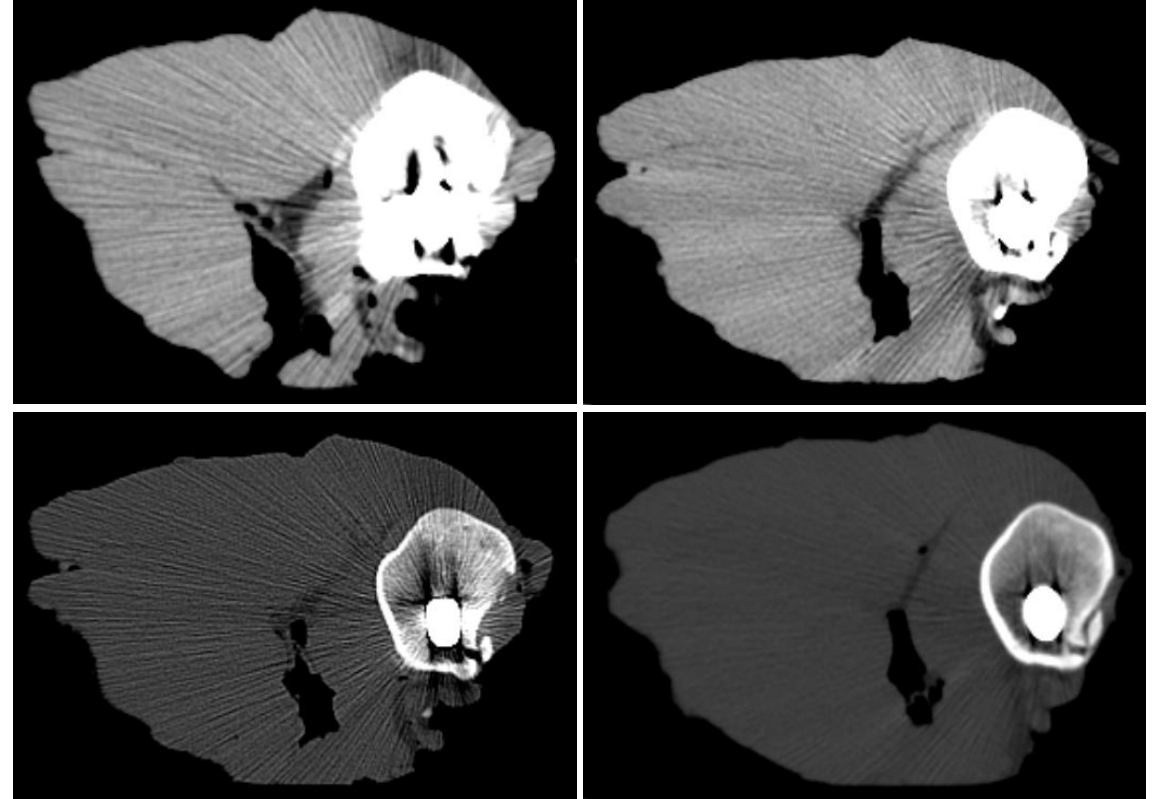
Objetivos Gerais**Introdução****Revisão
Sistemática****Estudo Empírico****Considerações
Finais**

- **Aspectos a salientar da RS**

- A realização de TC osteoarticular ou músculo-esquelética na presença de metais obriga à optimização dos protocolos de aquisição;
- O iMAR demonstrou uma melhoria da qualidade de imagem, quer objetiva, quer subjetiva, sendo útil na minimização dos artefactos de metal;
- Estudos bastante heterogéneos dificultando a comparação da qualidade de imagem;
- A associação do iMAR a algoritmos de reconstrução iterativa evidenciou bons resultados, embora haja necessidade de mais estudos;
- São necessários estudos focados no potencial de redução de dose;
- O iMAR pode conduzir ao aparecimento de novos artefactos, sendo necessário investir na sua optimização.

- Contextualização

- O recurso ao iMAR evidenciou uma minimização de artefactos na avaliação das estruturas anatómicas.
- A reconstrução iterativa promove a minimização das alterações causadas pela presença de metais à custa da substituição da informação em falta.



Objetivos Gerais

Introdução

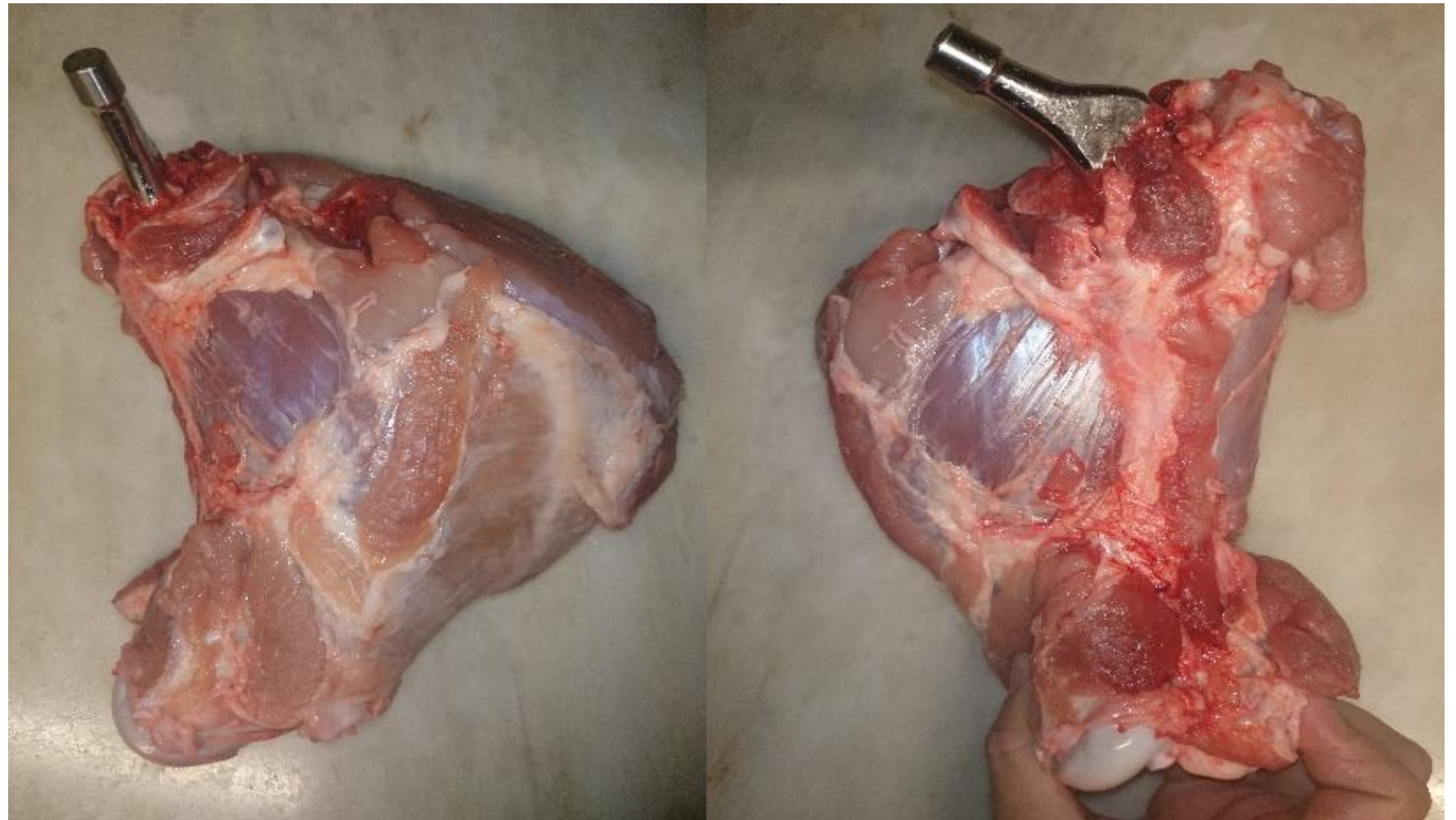
**Revisão
Sistemática**

Estudo Empírico

**Considerações
Finais**

- **Metodologia**

1ª RADIOLOGIA DE FUSÃO



Objetivos Gerais**Introdução****Revisão
Sistemática****Estudo Empírico****Considerações
Finais**

- **Metodologia**

- Equipamento de TC Siemens SOMATOM® Scope (MSCT 16 cortes).
- Parâmetros técnicos de aquisição: espessura de corte de 16×0.6 mm; rotação da gantry de 1s; pitch de 0,85; 110 e 130 kVp e modulação de corrente através do CareDose4D.
- FOV de 275 mm
- Matriz de 512×512 .
- Reconstrução de imagem com recurso à retroprojeção filtrada com 1 mm de espessura e 1 mm de incremento com filtro de partes moles (*kernel* B41s medium) e osso (*kernel* B80s very sharp).
- Reconstrução com os mesmos parâmetros e recurso ao *iMAR* (*iMAR* mod Hi) e seguindo o protocolo *Hip implants*.

Objetivos Gerais

- Metodologia – Análise objetiva da imagem

Introdução

Revisão
Sistemática

Estudo Empírico

Considerações
Finais

$$SNR = \frac{\Sigma \text{Valores de atenuação dos ROI's}}{\sigma \text{ (Desvio-padrão do Ar)}}$$

$$CNR = \frac{\mu A - \mu B}{\sigma \text{ (Desvio-padrão do Ar)}}$$

Kahn, J., Grupp, U., Kaul, D., Boning, G., Lindner, T., & Streitparth, F. (2015). Computed tomography in trauma patients using iterative reconstruction: reducing radiation exposure without loss of image quality. *Acta Radiologica (Stockholm, Sweden : 1987)*. <http://doi.org/10.1177/0284185115580839>

Bourne, R. (2010). *Fundamentals of Digital Imaging in Medicine*. Springer. <http://doi.org/10.1002/0471221155.ch1>

Objetivos Gerais

- Metodologia – Análise objetiva da imagem

1ª RADIOLOGIA DE FUSÃO

Introdução

Revisão Sistemática

Estudo Empírico

Considerações Finais



Objetivos Gerais

Introdução

Revisão Sistemática

Estudo Empírico

Considerações Finais

Resultados – Análise Objetiva

1ª RADIOLOGIA DE FUSÃO

Análise estatística emparelhada –					
Potencial de Ampola e Variáveis Emparelhadas			Médias	Desvio-Padrão	
					Mé
110kV	Par 1	Ruído de Imagem_AR (RPF) – Ruído de Imagem_AR (<i>i</i> MAR)	16,63	±3,97	0,1
			16,50	±3,05	
	Par 2	UH_AR (RPF) – UH_AR (<i>i</i> MAR)	-995,05	±4,02	2,1
			-998,03	±5,16	
	Par 3	Media UH ROI's (RPF) – Media UH ROI's (<i>i</i> MAR)	178,42	±157,31	-12,1
			191,20	±139,86	
	Par 4	SNR Média (RPF) – SNR Média (<i>i</i> MAR)	10,99	±9,43	-0,1
			11,14	±7,7	
	Par 5	CNR ROI1 (RPF) – CNR ROI1 (<i>i</i> MAR)	66,11	±15,06	1,1
			65,07	±10,88	
	Par 6	CNR ROI2 (RPF) – CNR ROI2 (<i>i</i> MAR)	66,71	±19,71	-6,1
			73,50	±16,68	
	Par 7	CNR ROI3 (RPF) – CNR ROI3 (<i>i</i> MAR)	14,15	±36,28	-6,1
			20,78	±27,73	
	Par 8	CNR ROI4 (RPF) – CNR ROI4 (<i>i</i> MAR)	79,30	±24,97	8,1
			71,10	±9,78	
	Par 9	CNR ROI5 (RPF) – CNR ROI5 (<i>i</i> MAR)	10,49	±20,56	4,1
			5,56	±17,59	
130kV	Par 1	Ruído de Imagem_AR (RPF) – Ruído de Imagem_AR (<i>i</i> MAR)	11,1	±2,90	-8,1
			19,23	±8,38	
	Par 2	UH_AR (RPF) – UH_AR (<i>i</i> MAR)	-992,60	±5,20	2,1
			-995,44	±10,14	
	Par 3	Media UH ROI's (RPF) – Media UH ROI's (<i>i</i> MAR)	172,26	±141,28	-6,1
			178,57	±112,88	
	Par 4	SNR Média (RPF) – SNR Média (<i>i</i> MAR)	12,69	±11,03	1,1
			11,11	±7,51	
	Par 5	CNR ROI1 (RPF) – CNR ROI1 (<i>i</i> MAR)	73,93	±31,65	11,1
			62,24	±23,27	
	Par 6	CNR ROI2 (RPF) – CNR ROI2 (<i>i</i> MAR)	76,63	±36,50	5,1
			70,70	±30,45	
	Par 7	CNR ROI3 (RPF) – CNR ROI3 (<i>i</i> MAR)	13,59	±45,41	-9,1
			23,26	±26,42	
	Par 8	CNR ROI4 (RPF) – CNR ROI4 (<i>i</i> MAR)	87,54	±39,67	21,1
			66,30	±24,26	
	Par 9	CNR ROI5 (RPF) – CNR ROI5 (<i>i</i> MAR)	11,81	±20,37	6,1
			5,68	±18,36	

Análise estatística emparelhada – Osso									
Potencial de Ampola e Variáveis Emparelhadas			Médias	Desvio-Padrão	Diferenças Emparelhadas		Teste Não Paramétrico (valor p)	Teste Paramétrico (valor p)	
					Média	Desvio-Padrão			
110kV	Par 1	Ruído de Imagem_AR (RPF) – Ruído de Imagem_AR (<i>i</i> MAR)	61,67	±14,91	45,31	±15,05			0,003
			16,35	±2,71					
	Par 2	UH_AR (RPF) – UH_AR (<i>i</i> MAR)	-970,34	±13,87	24,4	±16,02			0,027
			-994,74	±6,76					
	Par 3	Media UH ROI's (RPF) – Media UH ROI's (<i>i</i> MAR)	181,15	±159,80	-4,73	±54,70			0,856
			185,88	±128,14					
	Par 4	SNR Média (RPF) – SNR Média (<i>i</i> MAR)	2,80	±2,13	-7,8	±4,41			0,017
			10,6	±6,5					
	Par 5	CNR ROI1 (RPF) – CNR ROI1 (<i>i</i> MAR)	17,47	±4,20	-48,01	±10,94			0,001
			65,49	±10,87					
	Par 6	CNR ROI2 (RPF) – CNR ROI2 (<i>i</i> MAR)	18,11	±4,66	-55,79	±12,50			0,001
			73,9	±11,04					
	Par 7	CNR ROI3 (RPF) – CNR ROI3 (<i>i</i> MAR)	3,68	±9,42	-14,79	±17,42	0,156		
			18,47	±24,011					
	Par 8	CNR ROI4 (RPF) – CNR ROI4 (<i>i</i> MAR)	20,17	±3,74	-50,11	±13,13			0,001
			70,28	±12,57					
	Par 9	CNR ROI5 (RPF) – CNR ROI5 (<i>i</i> MAR)	2,26	±4,36	-3,42	±13,16	0,313		
			5,68	±17,3					
130kV	Par 1	Ruído de Imagem_AR (RPF) – Ruído de Imagem_AR (<i>i</i> MAR)	42,78	±9,84	27,51	±9,16	0,031		
			15,27	±3,2					
	Par 2	UH_AR (RPF) – UH_AR (<i>i</i> MAR)	-984,40	±5,19	8,76	±4,48			0,012
			-993,17	±5,78					
	Par 3	Media UH ROI's (RPF) – Media UH ROI's (<i>i</i> MAR)	185,79	±151,68	3,38	±49,97			0,887
			182,41	±123,53					
	Par 4	SNR Média (RPF) – SNR Média (<i>i</i> MAR)	4,62	±4,38	-7,16	±4,06			0,017
			11,78	±7,08					
	Par 5	CNR ROI1 (RPF) – CNR ROI1 (<i>i</i> MAR)	25,51	±5,84	-46,04	±16,37	0,031		
			71,55	±18,36					
	Par 6	CNR ROI2 (RPF) – CNR ROI2 (<i>i</i> MAR)	26,7	±6,95	-55,10	±17,11			0,002
			81,80	±19,80					
	Par 7	CNR ROI3 (RPF) – CNR ROI3 (<i>i</i> MAR)	3,48	±11,69	-19,22	±22,21			0,125
			22,70	±26,18					
	Par 8	CNR ROI4 (RPF) – CNR ROI4 (<i>i</i> MAR)	31,17	±14,88	-45,04	±19,17			0,006
			76,22	±22,68					
	Par 9	CNR ROI5 (RPF) – CNR ROI5 (<i>i</i> MAR)	4,72	±9,01	-0,38	±8,97	0,313		
			5,10	±17,38					

- Metodologia – Análise subjetiva da imagem

Critério	Escala
1. Classifique a magnitude dos artefactos visualizados.	Escala tipo Likert de de 5 pontos (1 a 5)
2. Classifique a visualização do material de implante e tecidos adjacentes.	
3. Classifique a qualidade diagnóstica da imagem.	
4. Como descreve a sua confiança no diagnóstico baseado nesta imagem?	
5. À relação osso-implante, atribua um score à imagem.	
6. Ao detalhe dos tecidos moles, atribua um score à imagem.	
7. Ao detalhe do osso (cortical e trabecular), atribua um score à imagem.	

Resultados – Análise Subjetiva

Análise da concordância inter-observadores – Coeficiente de Concordância de Kendall.

Análise da concordância entre observadores								
Item		Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7
Coeficiente de Concordância de Kendall	K W	0,504	0,287	0,242	0,150	0,132	0,698	0,253
	Valor ρ	0,000	0,000	0,000	0,002	0,071	0,000	0,006

Análise da significância estatística das diferenças entre a RPF e o *iMAR* por observador.

Análise da significância estatística das diferenças entre a RPF e o <i>iMAR</i>								
Item		Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7
Algoritmo de Reconstrução		RPF vs. <i>iMAR</i>	RPF vs. <i>iMAR</i>	RPF vs. <i>iMAR</i>	RPF vs. <i>iMAR</i>	RPF vs. <i>iMAR</i>	RPF vs. <i>iMAR</i>	RPF vs. <i>iMAR</i>
Obs. 1	Valor ρ	0.010	0.005	0.009	0.014	0.063	0.313	0.031
Obs. 2	Valor ρ	0.031	0.227	0.274	0.188	0.063	0.313	0.063
Obs. 3	Valor ρ	0.000	0.005	0.002	0.010	0.016	0.109	0.031

Teste não paramétrico para variáveis ordinais – Wilcoxon. As células assinaladas a cor diferente identificam diferenças significativas ($\rho \leq 0,05$)

Objetivos Gerais

Introdução

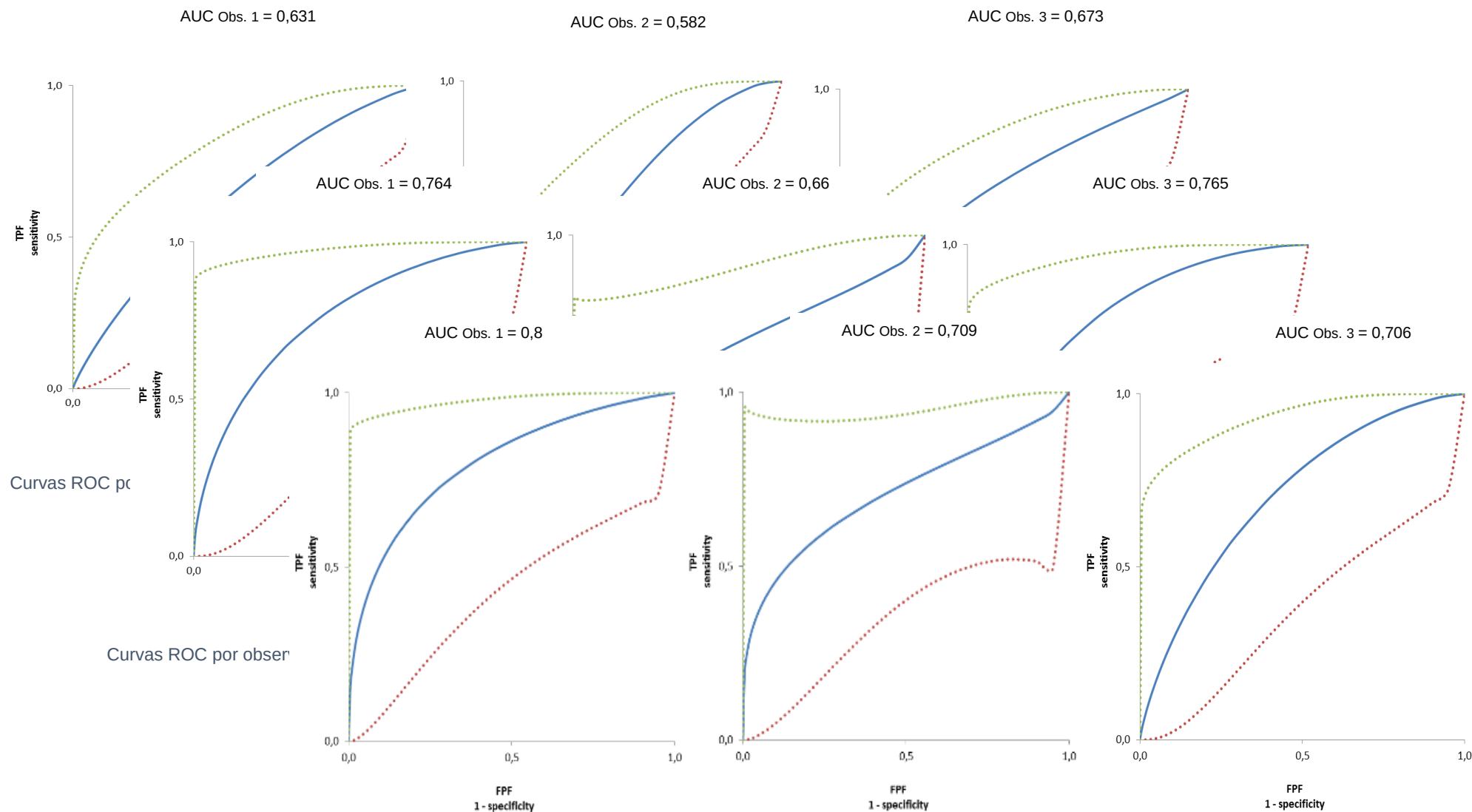
Revisão
Sistemática

Estudo Empírico

Considerações
Finais

1ª RADIOLOGIA DE FUSÃO

- Resultados – Análise Subjetiva



Curvas ROC por observador para o critério de avaliação 7.

- Discussão – Limitações do estudo empírico

- 1) A opção metodológica suscetível a erros na avaliação objetiva da qualidade;
- 2) O recurso a amostras de pequenas dimensões condicionando as extrapolações que se poderiam realizar;
- 3) Manipulação de outras variáveis, como o potencial de ampola e os filtros *kernel*, que podem ter impacto na variação da qualidade de imagem;
- 4) As áreas de especialização dos observadores responsáveis pela avaliação subjetiva de imagem são bastante distintas.

Objetivos Gerais

Introdução

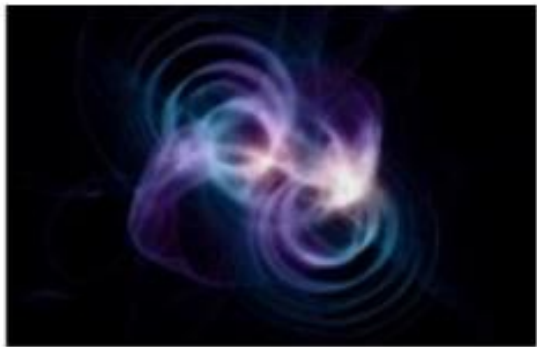
Revisão Sistemática

Estudo Empírico

Considerações Finais

- Resultados do estudo empírico concordantes com a Revisão Sistemática.
- O recurso ao *iMAR* na reconstrução de imagem possibilitou uma melhoria da qualidade de imagem face à RPF, sendo esta mais evidente com recurso a filtros *kernel* de osso e potenciais de ampola mais elevados (130 kVp).
- O *iMAR* revelou-se uma ferramenta útil na avaliação óssea na presença de metais, principalmente com recurso a algoritmos para estudo ósseo, possibilitando uma melhor avaliação objetiva e subjetiva da qualidade de imagem, quando comparado à retroprojeção filtrada.
- Necessidade de estudos futuros para optimização do *iMAR* e redução de artefactos resultantes da sua aplicação.

Reconstrução iterativa de imagem em Tomografia Computorizada para avaliação de material ortopédico – Análise da qualidade de imagem com recurso a um algoritmo iterativo de redução de artefactos de metal (*iMAR*)



1^a RADIOLOGIA DE FUSÃO

CENTRO HOSPITALAR
LISBOA NORTE. EPE



HOSPITAL DE
SANTAMARIA



Hospital
PulidoValente

Serviço de Imagiologia