

RADIAÇÕES

REVISTA ATARP

Nº 19 . JULHO 26

EDITORIAL

A EMANCIPAÇÃO PELO RIGOR: LIDERANÇA, AUTONOMIA E CONSOLIDAÇÃO PROFISSIONAL

PUBLICAÇÕES

Revisão Sistemática dos Níveis de Referência de Diagnóstico (NRD) de procedimentos endovasculares toracoabdominais.

Integração da inteligência artificial no rastreio mamográfico: evidência atual, benefícios clínicos e desafios de implementação – Revisão Sistemática.

Exposição ocupacional na preparação e administração de radiofármacos nas terapêuticas com radionuclídeos: revisão da literatura

A Ressonância Magnética na Avaliação de Trombos Cardíacos – Caso Clínico

Síndrome de Mazabraud no Contexto de McCune-Albright e o Contributo da Ressonância Magnética: Caso Clínico

Investigação clínica em Medicina Nuclear: principais alterações e recomendações para a prática clínica



REVISTA RADIAÇÕES

OPEN CALL

SUBMISSÕES ABERTAS

SUMÁRIO

GUIA PARA AUTORES	4
Política Editorial	4
Normas de Publicação	6
Procedimento de Revisão	7
MENSAGEM DA PRESIDENTE	8
EDITORIAL	9
PUBLICAÇÕES	14
Revisão Sistemática dos Níveis de Referência de Diagnóstico (NRD) de procedimentos endovasculares toracoabdominais.	14
Integração da inteligência artificial no rastreio mamográfico: evidência atual, benefícios clínicos e desafios de implementação – Revisão Sistemática.	30
Exposição ocupacional na preparação e administração de radiofármacos nas terapêuticas com radionuclídeos: revisão da literatura	55
A Ressonância Magnética na Avaliação de Trombos Cardíacos – Caso Clínico	67
Síndrome de Mazabraud no Contexto de McCune-Albright e o Contributo da Ressonância Magnética: Caso Clínico	74
Investigação clínica em Medicina Nuclear: principais alterações e recomendações para a prática clínica	81


EDIÇÃO E PROPRIEDADE / Edition and Property

ATARP – Associação Portuguesa dos Técnicos de Radiologia, Radioterapia e Medicina Nuclear
Torre Arnado
Rua João de Ruão, 12 3000-229 Coimbra
revistaradiacoes@atarp.pt
www.atarp.pt

PROJETO GRÁFICO

im.comun
dot.

PERIODICIDADE

Semestral

RADIAÇÕES
EDITOR CHEFE / Editor-in-Chief

Rui Miguel Pereira

EDITORES ADJUNTOS / Deputy Editor

Amadeu Martins
Anastácia Amorim
Isabel Rodrigues
Sandra Antunes

ISSN N.º

2184-769X

NÚMERO 19
JULHO 2026
COORDENAÇÃO EDITORIAL

Ana Rita Coelho
Cláudia Martins
Daniel Leitão
Daniel Matos
Diogo Pimentinha
Joana Madureira
João Gaspar
Raquel Reis
Susana Valente
Sofia Moura

GUIA PARA AUTORES

A Revista Radiações é uma revista científica editada pela ATARP - Associação Portuguesa dos Técnicos de Radiologia, Radioterapia e Medicina Nuclear. A ATARP é uma Associação com as suas bases lançadas em 1968, tem evoluído desde a sua origem e acompanhado o desenvolvimento das profissões que a constituem, unindo os Técnicos de Radiologia, Radioterapia e Medicina Nuclear.

Incluiu, também, os novos licenciados em Imagem Médica e Radioterapia. A ATARP pretende, assim, reforçar a importância de uma associação inclusiva que aproxima todos os profissionais destas áreas, de todo o país, promovendo atividades formativas, científicas e de incentivo à investigação.

Neste sentido, a Revista Radiações tem como principal objetivo promover e disseminar a investigação e o conhecimento científico de elevada qualidade realizado por Técnicos de Radiologia, de Radioterapia e de Medicina Nuclear, relacionados com os diversos aspetos das áreas de diagnóstico e terapia levados a cabo pelos colegas. Tem uma periodicidade semestral e é publicada nos meses de julho e janeiro.

Tem como missão a publicação de trabalhos científicos originais na área das ciências da saúde e da imagem médica e radioterapia. A valorização e promoção da qualidade científica, assim como a imparcialidade e a ética, são pilares fundamentais para a publicação com referência às boas práticas editoriais.

POLÍTICA EDITORIAL

Serão contemplados para publicação artigos de investigação original, de revisão da literatura, Casos Clínicos, Artigos de Educação Contínua, Notas Técnicas e Cartas ao Editor. A revista aceita a submissão de trabalhos nos idiomas português e inglês. Os títulos, os resumos e as palavras-chave têm a obrigatoriedade de ser apresentados nas duas línguas referidas, caso o idioma original não seja o inglês.

Artigos Originais de Investigação

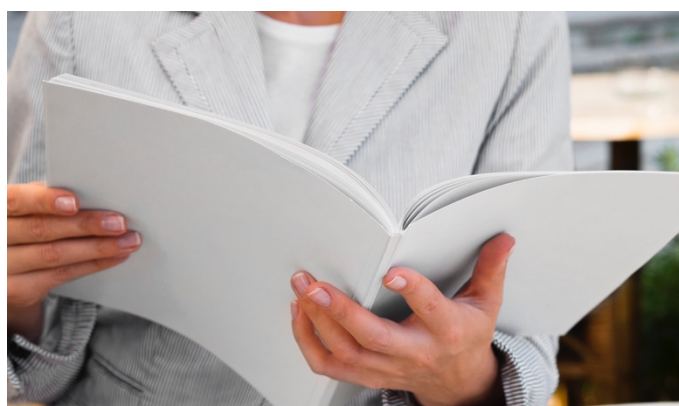
Trabalho original com uma abordagem de evidência prática referente a investigação e com resultados significativos e conclusivos. Enquadram-se nesta tipologia de artigos os trabalhos desenvolvidos no âmbito de Estudos Experimentais, Estudos Observacionais e Ensaio Clínicos.

Os artigos submetidos para esta tipologia devem seguir o formato científico standard: Título, Resumo (máximo de 250 palavras), Palavras-Chave (3 a 6 palavras), Introdução, Materiais e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusão e Referências Bibliográficas (máximo de 3500 palavras, excluindo resumo, palavras-chave, referências bibliográficas, tabelas e figuras).

Artigos de Revisão da Literatura

Trabalho de aprofundamento e atualização do estado do conhecimento ou prática relativos a temas relevantes, com avaliação de um conjunto de dados provenientes de diferentes estudos. Enquadram-se nesta tipologia de artigos as revisões sistemáticas e as meta-análises. Não serão aceites revisões narrativas.

Devem ser elaborados de acordo com a seguinte estrutura: Título, Resumo (máximo de 250 palavras), Palavras-Chave (3 a 6 palavras), Introdução, Materiais e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusão e Referências Bibliográficas (máximo de 4000 palavras, excluindo resumo, palavras-chave, referências bibliográficas, tabelas e figuras).



Casos Clínicos

Relatos de Casos Clínico - Relatos de Casos Clínicos de interesse para Técnicos de Radiologia, de Radioterapia e ou de Medicina Nuclear referentes à sua prática clínica. A estrutura da publicação inclui Título, Resumo (máximo de 250 palavras), Palavras-chave (3 a 6 palavras), Introdução, História Clínica, Métodos Diagnósticos ou Terapêuticos (máximo de 3 figuras onde as suas legendas fornecerão uma explicação mais detalhada do caso, explorações e achados), Discussão, Conclusão e Referências Bibliográficas (máximo de 2500 palavras, excluindo Título, Resumo, Palavras-chave e Referências Bibliográficas, máximo de 6 autores e 5 referências bibliográficas). O autor deve declarar no manuscrito que obteve o consentimento informado de todos os indivíduos estudados.

Artigos de Educação Contínua

Artigos educativos com objetivo didático, que permita a atualização na área abordada. Nesta tipologia podem ser submetidos artigos que explorem de forma aprofundada protocolos, diretrizes, assim como partilha de alteração de *guidelines* ou respostas a questões pertinentes do tema em questão. Os artigos de educação contínua deverão incluir questões para os leitores, para promover uma aprendizagem dinâmica. Estes artigos devem seguir a seguinte estrutura: Título, Resumo (não estruturado com um máximo de 250 palavras), palavras-chave (3 a 6 palavras) e as seguintes secções: Introdução, Aplicação prática/ Implementação (indicações, metodologia, interpretação e impacto clínico), Referências bibliográficas (máximo de 40), 6-10 questões de escolha múltipla, cada uma com 4 opções de resposta e apenas uma resposta válida. O artigo pode conter no máximo 4000 palavras e até 5 tabelas e 5 figuras.



Notas Técnicas

Publicação de recomendações de práticas para os Técnicos de Radiologia, de Radioterapia e ou de Medicina Nuclear. Devem ser compostas por Introdução, Desenvolvimento e Conclusão. Podem incluir artigos sobre equipamentos, técnicas de imagem ou de abordagem terapêutica de relevo do ponto de vista técnico (máximo 3500 palavras).

Cartas ao Editor

Comentários relativos a artigos publicados na revista ou outros temas de interesse atual. No primeiro caso, devem ser recebidas até seis meses após a data da publicação do artigo em questão. O texto não poderá exceder 600 palavras, quatro autores e cinco referências bibliográficas. Podem incluir uma tabela ou figura. Não necessitam de resumo. Devem seguir a seguinte estrutura geral: identificar o artigo/justificar a sua redação; fornecer evidência pela literatura, citando as referências bibliográficas. As respostas dos autores devem respeitar as mesmas características. A atualidade das Cartas ao Editor está relacionada com a probabilidade da sua aceitação.



NORMAS DE PUBLICAÇÃO



Este guia para autores não dispensa a consulta completa das instruções disponíveis em: <https://revista.atarp.pt/para-autores>.

O conteúdo dos artigos é da exclusiva responsabilidade dos seus autores, aos quais compete respeitar e cumprir as normas e orientações de publicação da Revista Radiações. Assim como, caso seja aplicável, garantir a existência de parecer de comissão de ética e/ou autorização institucional.

A Revista segue as normas do *International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE)* e, por isso, emprega o estilo bibliográfico Vancouver para citação e referência.

Regras de Redação

A elaboração do manuscrito deve obedecer às seguintes **regras de redação**:

- Idioma de redação: Português (PT) ou inglês (UK);
- Resumo: apresenta resumo em Português (PT) e Inglês (UK);
- Palavras-chave: apresentadas em Português (PT) e Inglês (UK);
- São consideradas as regras do novo acordo ortográfico pelo que o Editor salvaguarda o seu direito de modificar os termos de Português do Brasil para Português de Portugal;
- Não devem ser utilizados abreviaturas no título ou no resumo e o seu uso no texto deverá ser limitado.
- As abreviaturas devem ser definidas na primeira menção, por extenso e a abreviatura entre parêntesis e usadas consistentemente depois disso.
- Nas abreviaturas não devem ser colocados pontos a seguir a cada letra.

Regras de Formatação

A elaboração do manuscrito deve obedecer às seguintes **regras de formatação**:

- Texto justificado;
- Título do artigo apresenta tipo de letra Arial, tamanho 14, negrito, espaçamento entre linhas de 1,5;
- Títulos das seções apresenta o tipo de letra Arial, tamanho 12, negrito, espaçamento entre linhas de 1,5;
- Subtítulos das subseções apresentam o tipo de letra Arial, tamanho 11, negrito e itálico, espaçamento entre linhas de 1,5;
- Corpo de texto, apresenta o tipo de letra Arial, tamanho 10, espaçamento entre linhas de 1,5.

Regras de Submissão

O processo de submissão do manuscrito é realizado através da plataforma OJS da ATARP disponível em <https://ojs.atarp.pt> através do botão "Nova Submissão" e seguindo todos os passos indicados.

É obrigatório aquando da submissão o envio dos seguintes documentos:

- Folha de rosto – devidamente preenchida, devendo ser submetido no formato .docx;
- Manuscrito – elaborado de acordo com as regras definidas no guia para autores, devendo o manuscrito ser submetido em formato .docx identificado com "Manuscrito [TÍTULO resumido].docx";
- Declaração ético-legal de responsabilidade autoral e conflito de interesses – devidamente preenchida e assinada pelos autores, submetida em formato .pdf.

PROCEDIMENTO DE REVISÃO

A Revista Radiações segue um rigoroso processo duplamente cego de revisão por pares. Na fase de admissão, prévia ao processo de revisão, todos os manuscritos passam por uma avaliação do editor-chefe (a avaliação pode ser delegada nos editores adjuntos) que os pode recusar, sem recurso a opinião dos revisores caso os artigos não cumpram a missão ou regras da Revista Radiações.

No processo de revisão por pares, os artigos poderão ser:

- a) Aceites sem alterações
- b) Aceites com modificações *minor*
- c) Aceites com modificações *major*
- d) Rejeitados

Sempre que não se observar acordo entre os 2 revisores, o artigo é enviado para um terceiro revisor.

Sempre que se verifiquem as condições de Aceite com modificações, os autores são notificados das propostas de alteração dos revisores (ocultando identidade dos revisores). Após resposta dos autores a todas as recomendações dos revisores (caso se aplique), os artigos Aceites com modificações *minor* são analisados pelo editor-chefe e/ou editores-adjuntos da revista para verificação das alterações propostas pelos revisores. Caso o artigo esteja em condições de ser publicado, prossegue para a fase de "Correção Final". Caso contrário, o artigo é rejeitado.

No caso dos artigos Aceites com modificações *major*, o manuscrito com as alterações e carta de resposta ao revisor são submetidos de novo aos revisores para validação das alterações. Caso o artigo esteja em condições de ser publicado, sendo devidamente validado pelos revisores, prossegue para a fase de "Correção Final". Caso contrário, o artigo é rejeitado.

A aceitação final é da responsabilidade do Editor Chefe e tem por base os relatórios de revisão.





Joana Fonseca Fernandes Madureira
Presidente ATARP

MENSAGEM DA PRESIDENTE

Uma Revista para o Futuro

A Revista RADIAÇÕES inicia um novo ciclo.

A implementação da plataforma *Open Journal Systems* (OJS) e a integração no RCAAP – Repositórios Científicos de Acesso Aberto de Portugal representam dois passos decisivos na evolução da nossa Revista. Significam maior rigor editorial, transparência, visibilidade e acesso ao conhecimento que produzimos.

Criámos, assim, melhores condições para que a investigação desenvolvida nas áreas da Radiologia, Radioterapia e Medicina Nuclear alcance um público maior, seja consultada, citada de forma a contribuir para gerar novo conhecimento.

Mas uma revista científica não cresce apenas com plataformas. Cresce com pessoas. Com ideias. Com investigação. Com participação.

É aqui que cada um de nós tem um papel fundamental.

Todos os dias, nos nossos serviços, questionamos práticas, encontramos soluções, avaliamos procedimentos, introduzimos novas tecnologias e procuramos melhorar a qualidade e a segurança dos cuidados prestados. Esse conhecimento não deve ficar limitado às instituições onde é produzido.

É esse o desafio que hoje vos deixamos: investiguem, escrevam, submetam, revejam, partilhem. Queremos uma revista mais participada, mas também mais exigente.

Aos autores, aos revisores, às instituições, aos estudantes e a todos os profissionais das nossas áreas, fica o convite: façam parte deste novo capítulo da Revista RADIAÇÕES. Transformem experiências em questões, questões em investigação e investigação em conhecimento.

Que esta edição seja, por isso, mais do que uma leitura. Que seja um convite à participação.

"Research is to see what everybody else has seen, and to think what nobody else has thought."

Albert Szent-Györgyi

Uma excelente leitura.

Joana Fonseca Fernandes Madureira



"A verdadeira liberdade é um ato de autodisciplina."

Mahatma Gandhi

EDITORIAL

"A Emancipação pelo rigor: Liderança, Autonomia e Consolidação profissional"

Caro leitor,

Nas duas últimas edições da Revista RADIAÇÕES, propusemos à nossa comunidade uma reflexão profunda, progressiva e estruturante. Começámos por olhar a investigação científica como o alicerce insubstituível da nossa identidade profissional e, no último número, defendemos a evidência clínica como a bússola que deve guiar, com precisão milimétrica, a nossa prática diária. Desenhado este percurso coeso — que une a essência da investigação ao complexo ecossistema clínico —, torna-se imperativo dar o passo definitivo que coroa este processo de crescimento identitário. É o momento de discutir, sem reservas, a autonomia e a liderança dos Técnicos de Radiologia, Radioterapia e Medicina Nuclear.

A transição de uma identidade profissional historicamente técnica e executante para um perfil de liderança científica e de governação clínica é um imperativo contemporâneo incontornável. Como amplamente documentado na literatura relacionada com a Prática Baseada na Evidência (PBE), a integração do conhecimento científico na rotina dos serviços de saúde não visa apenas a eficácia procedimental, mas sim a conquista da autonomia na tomada de decisão complexa (1,2). Para os profissionais das nossas áreas, este rigor é o vetor que transforma radicalmente a prática diária: deixamos de nos limitar a operar equipamentos tecnológicos de vanguarda para liderar ativamente a otimização dos processos de diagnóstico e terapêutica. Se por um lado a ciência nos confere autoridade; a evidência confere-nos voz.

Esta liderança de que falamos desvincula-se inteiramente de cargos formais, nomeações políticas ou hierarquias burocráticas rígidas. Trata-se, porém, de uma liderança clínica e transformacional, definida na literatura da área da saúde como a capacidade de influenciar a melhoria contínua dos cuidados, a segurança do paciente e a cultura institucional através do conhecimento partilhado (3). Nas salas de Tomografia Computorizada, nos bunkers dos Aceleradores Lineares ou nos laboratórios da Radiofarmácia, o profissional que questiona protocolos estabelecidos à luz da literatura recente, que preconiza a personalização das doses de radiação (atendendo ao princípio ALARA) e que faz a gestão do risco não está apenas a aplicar ou replicar uma norma técnica — está a exercer liderança e a assumir a responsabilidade pela qualidade e segurança em saúde.



Estudos internacionais recentes sobre o desenvolvimento profissional contínuo nas profissões de técnico de radiologia, técnico de radioterapia e técnico de medicina nuclear reiteram que a autonomia e o reconhecimento interprofissional não nos são outorgados meramente por decreto legislativo. Pelo contrário, as evidências apontam que a expansão do campo de atuação e a emancipação clínica dependem diretamente da proatividade científica e da liderança demonstrada pela própria classe em ambientes de saúde complexos (4–8). Os modelos de Prática Avançada (*Advanced Practice*) já documentados noutros países — que hoje já englobam a responsabilidade pela interpretação e reporte preliminar em diversas modalidades de imagem médica ou a gestão e triagem autónoma de toxicidade aguda em doentes oncológicos sob radioterapia — demonstram que o avanço das nossas profissões está intrinsecamente ligado a uma sólida competência de liderança em investigação aplicada e auditoria clínica (9–11). Quando o profissional assume esta postura proativa, ele deixa de ser um mero elo intermédio e passa a ser reconhecido como um par indispensável e soberano nas equipas multidisciplinares.

E a nossa janela de oportunidade é vivida hoje... não podemos esperar pelo amanhã. Enfrentamos hoje uma das maiores janelas de oportunidade e disrupção da nossa história: a integração massiva de sistemas de Inteligência Artificial (IA) no diagnóstico e na terapêutica. A literatura recente alerta que os profissionais que se posicionarem apenas como meros operadores técnicos correm o risco de obsolescência; por outro lado, aqueles que assumirem a liderança na validação clínica, na garantia de qualidade e na supervisão ética destas novas ferramentas digitais serão os arquitetos do futuro da saúde (12–15).

Temos a oportunidade de escrever a nossa própria história, e podemos escrevê-la deixando em cada linha a importância das nossas profissões em ambientes de saúde cada vez mais complexos. Não o alcançaremos por decreto... alcançaremos alicerçando as nossas profissões, mas sobretudo a nossa atitude profissional, na investigação científica que promova uma prática baseada na evidência orientadora de cuidados cada vez mais seguros e especializados que nos darão voz dentro das equipas multidisciplinares.

Convidamo-lo a ler estas páginas não como um mero observador da evolução das nossas profissões, mas como o verdadeiro protagonista, autónomo e rigoroso, da mudança que as nossas profissões exigem.

Votos de uma excelente e inspiradora leitura.

O Editor Chefe

Rui Miguel Pereira

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sackett DL, Rosenberg WMC, Gray JAM, Haynes RB, Richardson WS. Evidence based medicine: what it is and what it isn't. *BMJ*. 13 de Janeiro de 1996;312(7023):71–2. doi:10.1136/BMJ.312.7023.71 PubMed PMID: 8555924.
2. Straus SE., Glasziou Paul, Richardson WScott, Haynes RBrian. Evidence-based medicine: how to practice and teach EBM. 2019;324.
3. Aiken LH, Sermeus W, Van Den Heede K, Sloane DM, Busse R, McKee M, et al. Patient safety, satisfaction, and quality of hospital care: cross sectional surveys of nurses and patients in 12 countries in Europe and the United States. *BMJ*. 20 de Março de 2012;344(7851). doi:10.1136/BMJ.E1717 PubMed PMID: 22434089.
4. Hapi J, Yang Y, Akudjedu TN. Towards defining the competencies and leadership attributes for radiographer-led management in clinical practice: A scoping review. *Radiography*. 1 de Julho de 2025;31(4):102969. doi:10.1016/J.RADI.2025.102969 PubMed PMID: 40381267.
5. Rye M. Strengthening medical radiation technologist recognition through advanced practice in Canada: A narrative review. *J Med Imaging Radiat Sci*. 1 de Setembro de 2022;53(3):498–504. doi:10.1016/J.JMIR.2022.04.001 PubMed PMID: 35450808.
6. Oliveira C, Barbosa B, Couto JG, Bravo I, Khine R, McNair H. Advanced practice roles of therapeutic radiographers/radiation therapists: A systematic literature review. *Radiography (Lond)*. 1 de Agosto de 2022;28(3):605–19. doi:10.1016/J.RADI.2022.04.009 PubMed PMID: 35550932.
7. Caulfield L. A literature review exploring the perceived impact, challenges and barriers of advanced and consultant practice in therapeutic radiography. *Radiography*. 1 de Agosto de 2021;27(3):950–5. doi:10.1016/j.radi.2021.01.002 PubMed PMID: 33536150.
8. Efrs. RERP - Radiographer Education, Research, and Practice: 2021–2031 [Internet]. 2021 [citado 21 de Julho de 2026]. Disponível em: www.efrs.eu
9. Hudson D. Reflections on leadership in advanced and consultant radiographic practice within the UK. *J Med Imaging Radiat Sci*. 1 de Junho de 2021;52(2):164–71. doi:10.1016/J.JMIR.2021.02.003 PubMed PMID: 33648876.
10. Yakubu A, Briggs E, Hacking S, Akudjedu TN. Clinical audit and research in radiography practice: An exploration of the English landscape. *Radiography (Lond)*. 1 de Janeiro de 2023;29(1):200–6. doi:10.1016/J.RADI.2022.11.004 PubMed PMID: 36481787.
11. Watts H, Snaith B. Evidence based practice, research and the diagnostic radiographer role. An exploration of engagement, expectations and attitudes at a single centre. *Radiography (Lond)*. 1 de Janeiro de 2023;29(1):124–30. doi:10.1016/J.RADI.2022.10.014 PubMed PMID: 36351305.
12. van de Venter R, Skelton E, Matthew J, Woznitza N, Tarroni G, Hirani SP, et al. Artificial intelligence education for radiographers, an evaluation of a UK postgraduate educational intervention using participatory action research: a pilot study. *Insights Imaging*. 1 de Dezembro de 2023;14(1). doi:10.1186/S13244-023-01372-2 PubMed PMID: 36735172.
13. Lewis SJ, Gandomkar Z, Brennan PC. Artificial Intelligence in medical imaging practice: looking to the future. *J Med Radiat Sci*. 1 de Dezembro de 2019;66(4):292–5. doi:10.1002/JMRS.369 PubMed PMID: 31709775.
14. Malamateniou C, McFadden S, McQuinlan Y, England A, Woznitza N, Goldsworthy S, et al. Artificial Intelligence: Guidance for clinical imaging and therapeutic radiography professionals, a summary by the Society of Radiographers AI working group. *Radiography*. 1 de Novembro de 2021;27(4):1192–202. doi:10.1016/J.RADI.2021.07.028 PubMed PMID: 34420888.
15. Malamateniou C, Knapp KM, Pergola M, Woznitza N, Hardy M. Artificial intelligence in radiography: Where are we now and what does the future hold? *Radiography*. 1 de Outubro de 2021;27:S58–62. doi:10.1016/J.RADI.2021.07.015 PubMed PMID: 34380589.



Aquilion ONE

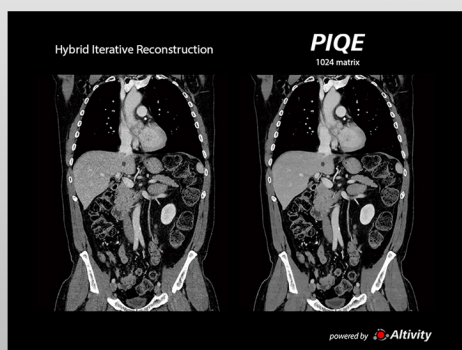
INSIGHT Edition

Advanced imaging simplified

Deep Learning Spectral CT

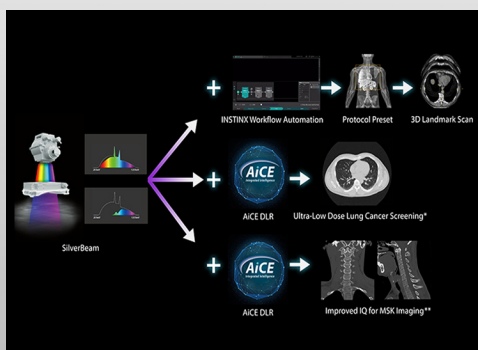
O Aquilion One Insight Edition aproveita os benefícios do Rapid KV Switching com modulação de mA específica para cada paciente e combina-os com uma reconstrução realizada por Deep Learning que oferece excelentes propriedades de separação de energia e baixo ruído. Além disso, o seu fluxo de trabalho totalmente integrado é fácil de usar e pode ser incorporado confortavelmente nos seus protocolos de rotina.

Super resolução através da tecnologia PIQE



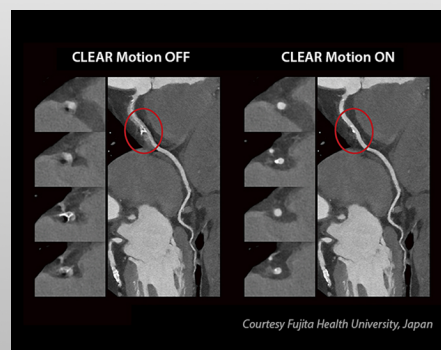
Precise IQ Engine (PIQE) é um algoritmo de reconstrução que maximiza a resolução inerente de um TC para fornecer imagens em uma matriz de 1024 de super resolução.

TC pulmonares com ultra baixa dose graças ao filtro Silver Beam



Silver Beam possibilita obter TC Torácicas de elevada qualidade e ultra baixa dose para rastreio do cancro de pulmão. Aplicável também a outras regiões anatómicas.

Correção de movimento mediante Deep Learning



Clear Motion Cardiac é uma correção de movimento com recurso a IA aplicada diretamente a uma única fase do ciclo cardíaco, eliminando a superexposição adicional exigidos por esses métodos de reconstrução.

Revisão Sistemática dos Níveis de Referência de Diagnóstico (NRD) de procedimentos endovasculares toracoabdominais.

Systematic Review of Diagnostic Reference Levels (DRLs) associated with the use of fluoroscopy in thoracoabdominal endovascular procedures.

Afonso Manços Romão¹, ORCID - 0009-0008-2364-2221

João André Felício Pita¹, ORCID -

Fábio Miguel de Melo Nogueira^{1,2}, ORCID - 0000-0002-9419-9385

Cláudia Isabel da Conceição Teles Martins¹, ORCID - 0000-0002-5212-377X

¹ Escola Superior de Saúde de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal

² Unidade Local de Saúde de Santa Maria, Lisboa, Portugal

Autor(a) para Correspondência:

Afonso Manços Romão

afonsoromao03@gmail.com

Informação Editorial:

Tipologia: Revisão Sistemática

Data de receção: 11 setembro 2025

Data de aprovação: 23 julho 2026

RESUMO

O uso de fluoroscopia é frequente na abordagem endovascular de aneurismas da aorta toracoabdominal. A definição de Níveis de Referência de Diagnóstico (NRD) é essencial na otimização da dose, sendo baseada em indicadores como o P_{KA} (produto air kerma-área) e o $K_{a,r}$ (air kerma no ponto de referência de entrada do doente). Apesar das exigências europeias/nacionais, persistem dificuldades na sua implementação, e Portugal ainda não definiu NRD nacionais para estes procedimentos. Objetivo: Identificar os NRD de procedimentos endovasculares toracoabdominais na literatura, de acordo com procedimento e equipamento utilizado. Esta revisão sistemática seguiu a metodologia PRISMA e foi registada no PROSPERO. Incluiu artigos de 2015 a 2025 com NRD definidos para procedimentos endovasculares, com dados de $K_{a,r}$ e P_{KA} , conforme o *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) 135. Excluíram-se estudos pediátricos; sem referência ao equipamento ou com limitações metodológicas. A pesquisa desenvolveu-se em bases científicas e literatura cinzenta e a triagem foi realizada na plataforma Rayyan. O viés foi avaliado com a *checklist Joanna Briggs Institute*. Dos 81 artigos identificados, foram incluídos 14 estudos para recolha de dados, depois de considerados livres de viés. Desses, 6 definiram valores típicos,

3 NRD locais e 5 nacionais. 79% dos estudos foram realizados na Europa. A revisão identificou grande variabilidade nos NRD, influenciada por fatores anatômicos, técnicos e clínicos. A otimização técnica mostrou-se essencial para reduzir a exposição, sem comprometer a qualidade de imagem. A ausência de NRD e a falta de padronização reforçam a necessidade de métodos de definição de NRD mais consistentes.

PALAVRAS-CHAVE

NRD; ICRP 135; Fluoroscopia; Patologia Aórtica; Procedimentos endovasculares; Revisão Sistemática

ABSTRACT

The use of fluoroscopy is common in the endovascular management of thoracoabdominal aortic aneurysms. The establishment of Diagnostic Reference Levels (DRLs) is essential for dose optimisation and is based on indicators such as P_{KA} (kerma–area product) and $K_{a,r}$ (air kerma at the patient entrance reference point). Despite european/national requirements, implementation remains challenging, and Portugal has not yet defined national DRLs for these procedures. Objective: To identify DRLs for thoracoabdominal endovascular procedures in the literature, according to procedure type and equipment used. This systematic review followed PRISMA methodology and was registered in PROSPERO. It included articles published between 2015 and 2025 with defined DRLs for endovascular procedures, reporting $K_{a,r}$ and P_{KA} data in accordance with ICRP 135. Studies involving paediatric populations, lacking equipment specification, or with methodological limitations were excluded. The search was conducted across scientific databases and grey literature, and screening was performed using the Rayyan platform. Risk of bias was assessed using the Joanna Briggs Institute checklist. Of 81 articles identified, 14 studies were included after being considered at low risk of bias. Of these, 6 defined typical values, 3 local DRLs, and 5 national DRLs; 79% were conducted in Europe. The review identified variability in DRLs, influenced by anatomical, technical, and clinical factors. Technical optimisation reduced radiation exposure without compromising image quality. The absence of regional DRLs and lack of standardisation highlight the need for more consistent methods.

KEYWORDS

DRL; ICRP 135; Fluoroscopy; Aortic Pathology; Endovascular Procedures; Systematic Review

INTRODUÇÃO

As patologias aórticas são todas as condições que afetam a artéria aorta, podendo ser inflamações, aneurismas, dissecções, estenoses, entre outras alterações estruturais e/ou funcionais da aorta. Um aneurisma arterial define-se como, qualquer dilatação focal que ultrapasse, pelo menos, 50%

do diâmetro normal da artéria, sendo o mais comum, o aneurisma da aorta abdominal (AAA) (1). Em doentes do sexo masculino constitui a 10ª maior causa de mortalidade (2). Estimando-se que em países desenvolvidos, cerca de 2 a 8% dos doentes têm um AAA, correndo o risco de rutura dos mesmos, com taxas de mortalidade acima dos

80%, se não forem intervencionados (3,4). Associados a esta patologia, existem os seguintes fatores de risco: tabagismo, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), hipertensão arterial (HTA), dislipidemia, sexo masculino, idade acima dos 65 anos e história familiar (1,5).

Os procedimentos endovasculares têm vindo a tornar-se o método terapêutico de eleição para aneurismas do arco aórtico, da aorta descendente, abdominal e toracoabdominal, dissecções da aorta, aneurismas e arteriopatas inflamatórias e/ou degenerativas não ateroscleróticas, traumatismos vasculares e síndromes de compressão arterial, quando comparados aos procedimentos cirúrgicos convencionais (1,6). Tendo os procedimentos endovasculares como suporte a fluoroscopia, é imperativo, como em qualquer outro procedimento que envolva o uso de radiação ionizante, estabelecer Níveis de Referência de Diagnóstico (NRD) para cada tipo de procedimento, de acordo com a localização anatómica intervencionada, os dispositivos médicos implantados, os equipamentos imagiológicos utilizados, entre outros fatores que caracterizem o procedimento adotado e a sua complexidade (7). Para estes procedimentos, são principalmente utilizados equipamentos fixos ou equipamentos móveis (arcos em C, que podem ser utilizados na maior parte das salas de intervenção). A exposição à radiação ionizante durante procedimentos endovasculares guiados por fluoroscopia encontra-se associada à possibilidade de ocorrência de efeitos estocásticos e determinísticos, cuja probabilidade depende da quantidade e distribuição da dose de radiação administrada ao doente. Neste contexto, o produto air kerma-área (P_{KA}) constitui um indicador da energia total depositada no doente, estando associado ao risco de efeitos estocásticos, enquanto o air kerma no ponto de referência de

entrada do doente ($K_{a,r}$) representa um indicador do risco de ocorrência de efeitos determinísticos, por apresentar uma boa correlação com o Pico de Dose à Pele (PSD, do inglês, *Peak Skin Dose*), considerado o melhor preditor de reações tecidulares induzidas pela radiação, nomeadamente lesões cutâneas. Apesar da relevância clínica do PSD na avaliação do risco de efeitos determinísticos, a sua determinação, normalmente, não é efetuada na maioria dos equipamentos de fluoroscopia, dada a complexidade do seu cálculo (8), sendo, por esse motivo, o P_{KA} e o $K_{a,r}$ os descritores de dose recomendados para a monitorização da exposição radiológica e para o estabelecimento de NRD em radiologia de intervenção (7).

Os NRD foram definidos pela *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) como uma “forma de investigação utilizada para a otimização da exposição radiológica dos doentes, em contexto diagnóstico ou de radiologia de intervenção”. De acordo com o ICRP 135 – *Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging*, os NRD devem ser atualizados de forma regular, não são aplicados de forma individual nem são valores limitantes da exposição radiológica. Em fluoroscopia, devem ser estabelecidos tendo por base o $K_{a,r}$ e o P_{KA} , sendo que qualquer outro descritor de dose não deve ser utilizado para a definição de NRD, uma vez que outros descritores ou parâmetros, como por exemplo, dose absorvida ou dose efetiva, não traduzem o cálculo real de dose neste tipo de procedimentos, visto que este depende de diversos fatores, como por exemplo, biótipo do doente e região anatómica irradiada, sendo que para determinar, com precisão, estes valores seria necessária um cálculo dosimétrico, com software dedicado para o mesmo, já o tempo de exposição ou número de pulsos por segundo/número de cines, são medidas que

influenciam diretamente a dose de radiação, no entanto não podem ser consideradas de forma isolada, pois não a definem totalmente, assim como anteriormente, é necessário considerar fatores como o biótipo do doente ou região anatômica irradiada (7).

Os NRD podem ser classificados através de valores típicos, locais, nacionais ou regionais, tendo por base o número de salas de radiologia de intervenção, de instituições e de equipamentos envolvidos. Para constituir a amostra em procedimentos com recurso a fluoroscopia, é necessário um valor mínimo de 20 procedimentos, no entanto é recomendado que a amostra seja superior a 30 procedimentos, conferindo assim, maior robustez estatística, deve ainda ser considerado o biótipo do doente, sendo que o doente padrão ($70 \pm 10\text{kg}$, ou então, considerar doentes com pesos compreendido entre 50 a 90kg) é o recomendado para formar a amostra (7). Seguindo a seguinte classificação: valores típicos, determinados a partir de um pequeno número de salas e equipamentos (<10), ou quando a tecnologia dos equipamentos é variada; NRD locais, definidos para um número de 10-20 equipamentos de várias instituições numa área próxima; NRD nacionais, constituem uma seleção de algumas instituições que representam um país inteiro; NRD regionais, compostos por diferentes NRD nacionais que compõe um continente (7). Os valores típicos e NRD locais definem-se através do cálculo do percentil 50 (mediana) e do percentil 75 da distribuição dos valores do P_{KA} e $K_{a,r}$. Já os NRD nacionais são definidos através do cálculo do percentil 75 das medianas obtidas nos vários centros do estudo e os NRD regionais através da mediana das medianas dos NRD nacionais selecionados para o estudo (7).

A diretiva europeia 2013/59/Euratom de 5 de dezembro de 2013, que na lei portuguesa está

representada no Decreto-Lei n.º 108/2018 de 3 de dezembro, define as normas de segurança relativas à proteção contra os perigos resultantes da exposição a radiações ionizantes, refere que os estados-membros (onde Portugal está incluído) são responsáveis por estabelecer os NRD em situações de exposição radiológica (9,10). Apesar de exigido por estas entidades a definição de NRD, a realidade é que existe atualmente uma grande dificuldade em estabelecer estes NRD, devido a fatores como a complexidade e diversidade anatômica de cada doente, à variedade de equipamentos, aos diferentes procedimentos realizados, à destreza médica e técnica na realização do procedimento, aos diferentes materiais utilizados, entre outros fatores (7).

Em Portugal, ainda não foram definidos NRD nacionais nestes procedimentos, pela autoridade competente. Deste modo, o objetivo desta revisão sistemática é identificar todos os NRD de procedimentos endovasculares toracoabdominais disponíveis na literatura, com base no tipo de procedimento e tipo de equipamento utilizado, respondendo à questão: “Quais são os Níveis de Referência de Diagnóstico (NRD) publicados para procedimentos endovasculares toracoabdominais, de acordo com o tipo de procedimento e equipamento?”.

METODOLOGIA

Esta revisão sistemática foi desenvolvida tendo por base a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). O protocolo deste estudo foi introduzido na plataforma *International Prospective Register of Systematic Reviews* (PROSPERO) tendo recebido a referência CRD420251076587. Seguidamente, foram definidos os seguintes critérios de inclusão:

artigos científicos publicados entre 5 de junho de 2015 e 5 de junho 2025; artigos que possuem NRD definidos para procedimentos endovasculares toracoabdominais guiados por fluoroscopia, tais como *Endovascular Aneurysm Repair* (EVAR), *Thoracic Endovascular Aortic Repair* (TEVAR), *Branched Endovascular Aneurysm Repair* (BEVAR), *Fenestrated Endovascular Aneurysm Repair* (FEVAR).

Como critérios de exclusão foram definidas as seguintes normas: a população pediátrica estar presente na amostra; estudo não realizado em humanos; os artigos não possuírem descritores P_{KA} e $K_{a,r}$; os valores do P_{KA} e do $K_{a,r}$ não estarem corretamente apresentados de acordo com as normas do ICRP 135, dependendo do tipo de NRD definido (típicos, locais, nacionais e regionais); não

ser apresentado o tipo de equipamento (fixo ou móvel) utilizado nos procedimentos supra enumerados; os NRD disponíveis nos artigos terem sido calculados sem a separação entre equipamentos fixos e móveis; não possuírem o número de doentes intervencionados, utilizados para a definição dos NRD; revisões sistemáticas e estudos de caso.

Os investigadores consultaram as bases de dados *PubMed*, *Scopus*, *Web of Science*, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), *Elton Bryson Stephens Company* (EBSCO), no dia 5 de junho de 2025, com recurso a *MeSH Terms*, e na sua inexistência, recorreu-se a descritores de termos gerais (localizados no título, resumo ou palavras-chave). As equações de pesquisa utilizadas para cada base de dados estão disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1 - Equações de pesquisa utilizadas nas diferentes bases de dados (tabela elaborada pelos autores).

Base de dados	Equação de pesquisa
PubMed	(((((Diagnostic Reference Levels[MeSH Terms]) OR (Diagnostic Reference Level[Title/Abstract])) OR (DRL[Title/Abstract])) OR (DRLs[Title/Abstract])) AND (((((Endovascular Aneurysm Repair[MeSH Terms]) OR (EVAR[Title/Abstract])) OR (TEVAR[Title/Abstract])) OR (FEVAR[Title/Abstract])) OR (BEVAR[Title/Abstract]))
Scopus	(((TITLE-ABS-KEY (diagnostic AND reference AND levels) OR TITLE-ABS-KEY (diagnostic AND reference AND level) OR TITLE-ABS-KEY (drl) OR TITLE-ABS-KEY (drls))) AND ((TITLE-ABS-KEY (endovascular AND aneurysm AND repair) OR TITLE-ABS-KEY (evar) OR TITLE-ABS-KEY (tevar) OR TITLE-ABS-KEY (fevar) OR TITLE-ABS-KEY (bevar)))
Web of Science	(TS=(Diagnostic Reference Levels) OR TS=(Diagnostic Reference Level) OR TS=(DRL) OR TS=(DRLs)) AND (TS=(Endovascular Aneurysm Repair) OR TS=(EVAR) OR TS=(TEVAR) OR TS=(FEVAR) OR TS=(BEVAR))
EBSCO	((Diagnostic Reference Levels) OR (Diagnostic Reference Level) OR (DRL) OR (DRLs)) AND ((Endovascular Aneurysm Repair) OR (EVAR) OR (TEVAR) OR (FEVAR) OR (BEVAR))
SciELO	((endovascular aneurysm repair) OR (EVAR) OR (TEVAR) OR (FEVAR) OR (BEVAR)) AND ((níveis de referência de diagnóstico) OR (nível de referência de diagnóstico) OR (NRDs) OR (NRD) OR (DRL) OR (DRLs))
Repositório IPL	Foram utilizados os termos: "Diagnostic Reference Levels", "Diagnostic Reference Level", "DRL", "DRLs", "Endovascular Aneurysm Repair", "EVAR", "TEVAR", "FEVAR" e "BEVAR", com a devida utilização dos operadores booleanos "OR" e "AND"
OpenGrey	Foram utilizados os termos: "Diagnostic Reference Levels", "Diagnostic Reference Level", "DRL", "DRLs", "Endovascular Aneurysm Repair", "EVAR", "TEVAR", "FEVAR" e "BEVAR", com a devida utilização dos operadores booleanos "OR" e "AND"
Google Scholar	"Diagnostic Reference Levels" AND "EVAR"

Os filtros de pesquisa aplicados a todas as bases de dados foram a linguagem, onde foram apenas considerados artigos em português e inglês, e o acesso, onde fossem apenas apresentados artigos de acesso gratuito para os autores desta revisão sistemática. Além destes artigos encontrados, foram selecionados outros artigos disponíveis em plataformas de literatura cinzenta, como no Repositório Científico do Instituto Politécnico de Lisboa (RCIPL), no *Google Scholar* e na *OpenGrey*. Os artigos encontrados nesta pesquisa foram inseridos na plataforma "*Rayyan - AI-Powered Tool for Systematic Literature Reviews*" para os revisores 1 e 2 procederem à seleção dos mesmos. Inicialmente, foram removidos os artigos duplicados através da ferramenta "*remove duplicates*". Os dois revisores puderam então, numa primeira fase, analisar os títulos e resumos dos artigos, e selecionar, de forma independente, se os artigos deviam ou não ser incluídos. Os artigos em que a decisão de incluir e excluir não era unânime entre os revisores, foram discutidos entre ambos, tendo-se chegado a uma decisão com a ajuda de um terceiro revisor, com experiência em procedimentos endovasculares. Procedeu-se à análise de segunda fase, com a leitura do texto integral de cada artigo, tendo-se procedido à exclusão de alguns estudos, justificados pelo respetivo critério de exclusão.

Reunidos os artigos para análise, foram retirados os seguintes dados: autores do artigo; mês e ano de publicação; país de publicação; número de doentes de cada grupo utilizado para a definição de P_{KA} e $K_{a,r}$; valor de P_{KA} e $K_{a,r}$; tipo de NRD; tipo de procedimento; equipamento utilizado.

Cada revisor recolheu os dados acima citados, de forma independente, para um documento Excel para MacOS versão 16.95.1 (Microsoft®, Washington, Estados Unidos da América). Os dois documentos foram comparados, pelos dois

revisores, pela procura de dados discordantes. Na presença destas diferenças o terceiro revisor retificou o dado incorretamente recolhido. Neste mesmo documento Excel, os dados obtidos, especificamente os dados numéricos, como o P_{KA} e o $K_{a,r}$, foram convertidos para as unidades de referência descritas no ICRP 135: Gy.cm² e Gy (7). Os dados obtidos, após verificação, foram organizados numa tabela por ordem cronológica. Os dados foram divididos pelo tipo de NRD (típico, local, nacional ou regional). Foi criado um gráfico "mapa-mundo" para observação da dispersão geográfica dos artigos selecionados. Para análise e identificação de viés nos artigos elegíveis para a revisão sistemática, foi discutido e utilizado em simultâneo, por dois revisores, a ferramenta *JBIC Critical Appraisal Checklist for Analytical Cross Sectional Studies*, desenvolvida pelo *Joanna Briggs Institute* (12).

RESULTADOS

Na fase inicial de pesquisa de artigos nas bases de dados, foi encontrado um total de 81 artigos, mais especificamente, 7 na *PubMed*, 22 na *Web of Science*, 45 na *Scopus* e 3 na *EBSCO*. Foram também encontrados artigos em plataformas de literatura cinzenta: 1 artigo no Repositório Científico do Instituto Politécnico de Lisboa (RCIPL) e 3 no *Google Scholar*. Não foram encontrados resultados na *SciELO* e na *OpenGrey*. Após a inserção dos artigos na ferramenta *Rayyan*, foram removidos 27 artigos duplicados, ou seja, a análise de 1ª fase foi realizada a 54 artigos. Pela leitura dos títulos e resumos, 36 artigos foram excluídos pelos revisores, sendo coerente a decisão entre ambos. Na análise da 2ª fase, realizada a 18 artigos, foram excluídos 4 artigos (disponíveis na Tabela 2 com a justificação de exclusão) e incluídos 14 para a

síntese quantitativa dos resultados. O processo de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão está disponível na Figura 1.

Tabela 2 - Artigos excluídos, assim como a razão de exclusão, após a leitura na íntegra dos mesmos (tabela elaborada pelos autores).

Motivo	Autor
A população pediátrica estar presente na amostra	O'Hora <i>et al.</i>
Os artigos não possuem os descritores P_{KA} e $K_{a,r}$	
Não ser apresentado o tipo de equipamento (fixo ou móvel) utilizado nos procedimentos supra enumerados	
Os NRD disponíveis nos artigos terem sido calculados sem a separação entre equipamentos fixos e móveis	Isoardi <i>et al.</i>
Não possuem o número de doentes intervencionados, utilizados para a definição dos NRD	
Revisões sistemáticas e estudos de caso	
Os valores do P_{KA} e do $K_{a,r}$ não estarem corretamente apresentados de acordo com as normas do ICRP-135, dependendo do tipo de NRD definido (típicos, locais, nacionais e regionais).	Del Rio-Solá <i>et al.</i>
Estudo não aplicado em humanos	Hakimi <i>et al.</i>

Na sequência da análise dos 14 artigos, 43% ($n=6$) definiram valores típicos, 21% ($n=3$) definiram NRD locais e 36% ($n=5$) definiram NRD nacionais. Nenhum artigo definiu NRD regionais. Todos os estudos apresentaram valores de P_{KA} , exceto o estudo de Klein *et al.* (13). Já nos valores de $K_{a,r}$, quatro estudos não apresentam valores de $K_{a,r}$ (14–17) e dois estudos não apresentaram os valores de $K_{a,r}$ calculado para o percentil 75 (18,19). Observa-se também que sete artigos (50%) calcularam os NRD para vários grupos de

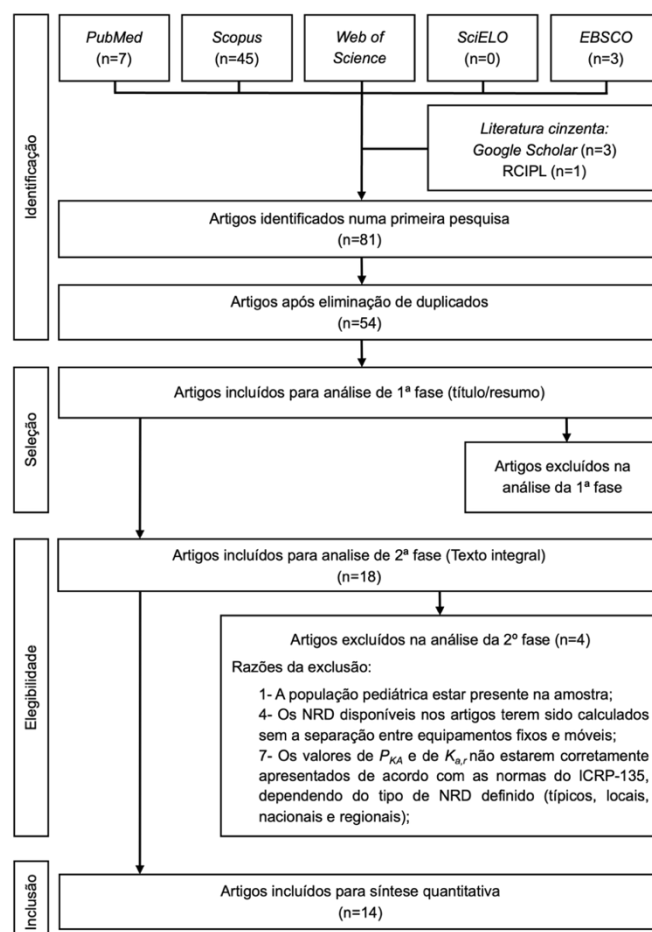


Figura 1 - Fluxograma do processo de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão, de acordo com o método PRISMA (figura elaborada pelos autores).

doentes, estando divididos em função do tipo de equipamento (5,20), do tipo de procedimento (5,18), do sexo (13), calculados para diferentes instituições (19), para diferentes períodos temporais (21) ou até com base nas características anatómicas do doente (22).

Na caracterização geográfica (Figura 2), o continente europeu apresentou o maior número de NRD definidos de acordo com o ICRP 135 ($n=11$ - 79% do total) (7).



Figura 2 - Distribuição geográfica dos artigos selecionados (NRD definidos), com destaque na Europa (figura elaborada pelos autores).

A Tabela 3 apresenta os resultados específicos dos valores típicos. O estudo de Tzanis *et al.* (21) destacou-se por apresentar o maior valor de P_{KA} , com uma mediana de 343,00 Gy.cm2 em relação aos restantes estudos. Já para os valores de $K_{a,r}$, o destaque vai para o estudo de Klein *et al.* (13), com uma mediana de 2,50 Gy. Ainda sobre este estudo, que determina os NRD com base no sexo, o sexo masculino ($n=124$) está associado a um maior valor de $K_{a,r}$ em comparação com o sexo feminino ($n=45$) (mediana: 2,50 Gy vs. 1,67 Gy).

A Tabela 4 apresenta os resultados específicos dos NRD locais. Nogueira (5) definiu os NRD distinguindo procedimentos complexos de EVAR/TEVAR, e o grupo dos complexos apresenta-se dividido em procedimentos realizados em equipamentos fixos e em equipamentos móveis. Neste artigo, destaca-se os

procedimentos complexos realizados no equipamento fixo, com mediana e percentil 75 de 217,94 Gy.cm2 e 345,20 Gy.cm2 de P_{KA} , 1,60 Gy e 2,58 Gy de $K_{a,r}$, respetivamente.

A Tabela 5 apresenta os resultados específicos dos NRD nacionais. Importante destacar que dos 5 artigos apresentados, Mesnard *et al.* (21) possuem os valores mais altos de P_{KA} (410,00 Gy.cm2) e de $K_{a,r}$ (4,90 Gy) em relação aos restantes NRD nacionais. Tsitsiou *et al.* (18) determinaram os NRD em função do procedimento, tendo os procedimentos complexos (FEVAR/BEVAR) apresentado os valores mais altos (266,00 Gy.cm2 e 1,39 Gy) em relação aos outros 2 grupos (EVAR – 162,00 Gy.cm2 e 0,87 Gy; TEVAR – 175,00 Gy.cm2). Rial *et al.* (20) determina os NRD nacionais para equipamentos fixos e móveis, no mesmo procedimento, sendo possível observar

que os equipamentos móveis estão associados a valores mais baixos comparativamente com os equipamentos fixos (87,00 Gy.cm² vs. 278,00 Gy.cm²; 0,29 Gy vs. 1,40 Gy).

Sobre a presença de viés, todos os artigos foram considerados válidos, sendo cada um analisado

ponto a ponto, de forma independente por cada autor e posteriormente cruzados os resultados entre autores, estando os resultados disponíveis na Tabela 6.

Tabela 3 - Valores típicos, com data de publicação, país, número da amostra, tipo de procedimento, equipamento utilizado, valores de P_{KA} e $K_{a,r}$ (percentil 75) (tabela elaborada pelos autores).

Autores do artigo	Data de publicação	País	Número de doentes de cada grupo	Tipo de procedimento	Equipamento utilizado	Valor de P_{KA} Mediana (Gy.cm ²)	Valor de $K_{a,r}$ Mediana (Gy)
Tzanis et al.	Outubro de 2023	Grécia	n=46	EVAR	Fixo	343,00	1,29
Efthymiou et al.	Maio de 2021	Grécia	n=87	EVAR	Móvel	25,60	0,32*
Kakkos et al.	Dezembro de 2020	Grécia	n=48	EVAR	Móvel	26,80	ND
Klein et al.	Maio de 2020	Estados Unidos da América	n=45 (F)	FEVAR	Fixo	ND	1,67
			n=124 (M)	FEVAR	Fixo	ND	2,50
Tuthill et al.	Maio de 2017	Irlanda e Itália	n=18	EVAR	Fixo	31,57	0,16*
			n=21	EVAR	Fixo	184,16	0,90*
			n=35	EVAR	Fixo	80,20	0,63*
			n=74	EVAR	Fixo	60,83	0,39*
			n=32	EVAR	Fixo	162,49	0,45*
Heilmaier et al.	Março de 2017	Suíça	n=36	EVAR	Fixo	154,80	1,02

Tabela 4 - NRD locais, com data de publicação, país, número da amostra, tipo de procedimento, equipamento utilizado, valores de P_{KA} e $K_{a,r}$ (mediana e percentil 75) (tabela elaborada pelos autores).

Autores do artigo	Data de publicação	País	Número de doentes de cada grupo	Tipo de procedimento	Equipamento utilizado	Valor de P_{KA}		Valor de $K_{a,r}$	
						Mediana (Gy.cm ²)	Percentil 75 (Gy.cm ²)	Mediana (Gy)	Percentil 75 (Gy)
Hadid-Beurrier et al.	Maio de 2021	França	n=159	EVAR	Móvel	41,79	77,58	ND	ND
Tzanis et al.	Maio de 2020	Grécia	n=24	EVAR	Fixo	144,20	196,20	0,85	1,24
			n=35	EVAR	Fixo	160,10	244,60	1,04	1,36
			n=14	EVAR	Fixo	189,50	375,60	1,27	2,28
Nogueira	Janeiro de 2020	Portugal	n=56	EVAR/TEVAR	Móvel	36,15	49,63	0,16*	0,26*
			n=24	FEVAR/BEVAR /IBD/CHEVAR	Móvel	109,00	143,25	0,61*	0,91*
			n=17	FEVAR/BEVAR /IBD/CHEVAR	Fixo	217,94	345,20	1,60*	2,58*

Legenda: ND - Não disponível; * - valor convertido.

Tabela 5 - NRD nacionais, com data de publicação, país, número da amostra, tipo de procedimento, equipamento utilizado, valores de P_{KA} e $K_{a,r}$ (percentil 75 das medianas) (tabela elaborada pelos autores).

Autores do artigo	Data de publicação	País	Número de doentes de cada grupo	Tipo de procedimento	Equipamento utilizado	Valor de P_{KA}	Valor de $K_{a,r}$
						Percentil 75 das medianas (Gy.cm ²)	Percentil 75 das medianas (Gy)
Mesnard et al.	Fevereiro de 2025	Estados Unidos da América	n=541	FEVAR/BEVAR (2016-2018)	Fixo	410,00	4,90*
			n=1307	FEVAR/BEVAR (2019-2022)	Fixo	340,00	3,80*
Issahaku et al.	Março de 2024	Gana	n=66	EVAR	Fixo	118,80	ND
Markusdottir et al.	Agosto de 2024	Suécia	n=508	EVAR	Fixo	153,00	ND
Tsitsiou et al.	Novembro de 2023	Reino Unido	n=2062	EVAR	Fixo	162,00	0,87*
			n=906	FEVAR/BEVAR	Fixo	266,00	1,39*
			n=509	TEVAR	Fixo	175,00	ND
Rial et al.	Dezembro de 2020	Espanha	n=123	EVAR	Fixo	278,00	1,40*
			n=167	EVAR	Móvel	87,00	0,29*

Legenda: ND - Não disponível; * - valor convertido.

Tabela 6 - Análise de viés realizada, para os 14 artigos incluídos nesta revisão sistemática, através da ferramenta *JBICritical Appraisal Checklist for Analytical Cross Sectional Studies*, desenvolvida pelo Joanna Briggs Institute (tabela elaborada pelos autores).

JBICRITICAL APPRAISAL CHECKLIST FOR ANALYTICAL CROSS SECTIONAL STUDIES <i>Critical Appraisal tools for use in JBI Systematic Reviews</i>		1. Os critérios de inclusão na amostra foram claramente definidos?	2. Os sujeitos do estudo e o contexto foram descritos em detalhe?	3. A exposição foi medida de forma válida e fiável?	4. Foram utilizados critérios objetivos e padronizados para a medição da condição?	5. Foram identificados fatores de confusão?	6. Foram indicadas estratégias para lidar com os fatores de confusão?	7. Os resultados foram determinados de forma válida e fiável?	8. Foi utilizada uma análise estatística apropriada?	Avaliação Geral:	Comentários:
Artigos	Data										
Tsitsiou et al.	Novembro de 2023									Incluído	
Nogueira	Janeiro de 2020									Incluído	
Rial et al.	Dezembro de 2020									Incluído	
Mesnard et al.	Fevereiro de 2025									Incluído	
Efthymiou et al.	Maio de 2021									Incluído	
Tuthill et al.	Maio de 2017									Incluído	
Klein et al.	Maio de 2020									Incluído	
Kakkos et al.	Dezembro de 2020									Incluído	
Issahaku et al.	Março de 2024									Incluído	
Heilmaier et al.	Março de 2017									Incluído	
Hadid-Beurrier et al.	Maio de 2021									Incluído	
Markusdottir et al.	Agosto de 2024									Incluído	
Tzanis et al.	Maio de 2020									Incluído	
Tzanis et al.	Outubro de 2023									Incluído	
Legenda:						Sim					
						Confuso					
						Não					
						Não Aplicável					

DISCUSSÃO

Esta revisão sistemática identificou NRD disponíveis na literatura, para procedimentos endovasculares toracoabdominais. Os estudos apresentados demonstraram uma grande diversidade de procedimentos, de equipamentos e, principalmente, de valores de NRD. Esta diversidade de valores pode ser justificada por diferentes fatores: relacionados com o doente, como a complexidade anatómica, o biótipo e a severidade da doença; relacionados com a equipa médica, como a experiência na realização do procedimento e os protocolos definidos; relacionados com o equipamento, pela tecnologia do mesmo e pela existência de controlos de qualidade; e por fim, relacionado com o Técnico de Radiologia, como a utilização de parâmetros de exposição, colimação e distância foco-doente adequados.

De acordo com os resultados, a maior parte dos estudos concentrou-se na Europa. Issahaku *et al.* (16) definiram NRD no Gana, sendo o único do continente africano. Já Klein *et al.* (13) e Mesnard *et al.* (21) definiram NRD locais e nacionais, respetivamente, nos Estados Unidos da América. A realidade de Portugal sobre os NRD é distante da realidade dos restantes países da união europeia: apenas um artigo, de Nogueira (5), define os NRD locais de um hospital terciário. É importante consciencializar as diferentes instituições em Portugal de que os NRD são uma ferramenta essencial para se atingir a otimização da exposição radiológica.

O estudo de Mesnard *et al.* (21) foi o único que comparou os NRD no mesmo equipamento, procedimento e instituição, mas em períodos diferentes (2016-2018 e 2019-2022) tendo demonstrado que os dados mais recentes apresentam valores de NRD mais baixos. Este estudo enfatiza a importância da otimização das

práticas clínicas e técnicas, na perspetiva da exposição radiológica. Neste estudo de Mesnard *et al.* (21) é ainda possível verificar os valores mais altos de NRD de todos os artigos selecionados neste estudo, com valores de percentil 75 de P_{KA} e de $K_{a,r}$, de 410,00 Gy.cm² e 4,90 Gy, respetivamente. Stecker *et al.* (23) propõe que, durante um procedimento, a partir de 300 Gy.cm² e 3 Gy deve ser emitida uma primeira notificação, bem como a cada 100 Gy.cm² e 1 Gy. Ultrapassados os 500 Gy.cm² e 5 Gy (valores threshold), o doente deve ser seguido clinicamente, uma vez que podem existir reações cutâneas provocadas pela exposição à radiação.

Valores elevados de NRD podem estar relacionados com os parâmetros técnicos do equipamento, como a utilização de protocolos inadequados, frequência pulsos de fluoroscopia elevada, colimação inadequada, utilização inapropriada dos filtros, exposições desnecessárias (7). Estes fatores demonstram a importância e contribuição que o Técnico de Radiologia tem sobre a otimização da exposição radiológica. Na prática clínica, pequenas estratégias realizadas pelo Técnico podem reduzir a exposição radiológica.

Tanto os valores elevados são preocupantes, como os valores mais baixos. O estudo de Efthymiou *et al.* (24) apresentou o valor mais baixo de P_{KA} e $K_{a,r}$, de todos os estudos desta revisão, com uma mediana de 25,60 Gy.cm² e 0,32 Gy. Tendo por base os valores de todos os outros artigos, pode se questionar se a qualidade de imagem possa estar comprometida. Este artigo apresentou algumas justificações para estes valores, como a experiência elevada da equipa em EVAR, a utilização de modos de fluoroscopia de alta resolução espacial apenas quando necessário e a realização de controlos de qualidade anuais. O ICRP 135 afirma que os NRD devem ser os mais

baixos possíveis, desde que não comprometam a qualidade de imagem, sendo necessário o equilíbrio entre a informação diagnóstica e a otimização da exposição radiológica (7).

O ICRP 135 sugere que os NRD sejam definidos com base na anatomia vascular do doente, nas características da patologia e na severidade da doença (7). O artigo de Tzanis *et al.* (22) determinou os NRD com base na anatomia do doente, assim, utilizou um score que avaliava as tortuosidades das artérias ilíacas, a arquitetura da aorta com aneurisma e a necessidade de procedimentos adicionais (correção de *endoleak*, embolização) tendo estabelecido três grupos (baixa, média e alta complexidade). Os resultados deste estudo demonstraram que com o aumento da complexidade, existe um aumento dos valores de NRD (ex.: baixa, média e alta complexidade – 144,20 Gy.cm², 160,10 Gy.cm² e 189,50 Gy.cm² de mediana de $K_{a,r}$, respetivamente). De todos os artigos analisados, este é o único que considera os níveis complexidade dos procedimentos, para o estabelecimento de NRD, algo fulcral na determinação dos mesmos, pois agrupa os procedimentos, em grupos de procedimentos, com maior semelhança entre si, permitindo assim análises comparativas mais precisas.

Um dos grandes impasses para a definição dos NRD é todo o processo para a obtenção dos mesmos. Requerem análise e recolha de um grande volume de dados e o processamento estatístico desses dados. Alguns artigos definem metodologias para facilitar e agilizar o processo de definição de NRD. Tzanis *et al.* (25) propõe um sistema de *Optical Character Recognition* (OCR), que permite a extração automática dos dados dos relatórios de dose, reúne os dados, calcula medidas de análise estatística descritiva (inclusive a mediana e percentil 75) e obtém assim os valores de NRD.

Nesta revisão sistemática foi identificada como limitação a consideração de procedimentos (*Chimney Endovascular Aneurysm Repair* e EVAR com *Iliac Branch Device*) nos resultados não incluídos inicialmente na metodologia definida pelos autores. Esta decisão foi tomada, dada a relevância dos dados apresentados, uma vez que constituíam parte da única publicação do tema feita em Portugal e os valores destes mesmos procedimentos foram apresentados em conjunto com FEVAR e BEVAR (procedimentos considerados nas metodologias), tornando impossível a apresentação dos mesmos em separado.

Foram identificadas também limitações na literatura publicada, que condicionam os resultados apresentados nesta revisão sistemática. Primeiramente, o facto da maioria da literatura encontrada não definir os NRD de acordo com o ICRP 135, calculando e apresentando valores de P_{KA} e $K_{a,r}$ utilizando conceitos estatísticos errados ou desadequados ao tipo de NRD a estabelecer pelos mesmos. Dada esta limitação, é inviável, a comparação deste tipo de publicações com publicações que respeitem o ICRP 135.

Apesar da existência de várias publicações, algumas apresentam lacunas metodológicas e a maioria limita-se ao continente europeu, tornando-se assim difícil a comparação e partilha de valores com outros continentes. Outra limitação verificada é a inexistência de NRD regionais, que respeitem o ICRP 135 para procedimentos endovasculares toracoabdominais, muito provavelmente devido à dificuldade existente em estabelecer NRD nacionais.

Ainda que seja o melhor preditor de reações tecidulares, dados relativos ao PSD, não se encontram publicados em nenhum artigo, o que acaba por constituir uma limitação para este e qualquer estudo que pretenda analisar e, ou,

definir NRD em procedimentos endovasculares guiados por fluoroscopia, pois estes mesmos procedimentos contemplam diferentes angulações do equipamento e até mesmo a região da pele irradiada, pode variar durante o procedimento (7). Os valores correspondentes ao PSD não são normalmente apresentados nos equipamentos, pois para a estimativa dos mesmos, é necessário, um software de gestão de dose dedicado. Pode também ser alcançado através da reconstrução da distribuição de dose na pele recorrendo aos dados do procedimento, como ângulos, colimação, movimentos da mesa, entre outros, é ainda possível a determinação destes valores recorrendo ao posicionamento de dosímetros na pele do doente (26,27).

CONCLUSÃO/ CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática identificou e analisou os NRD publicados para procedimentos endovasculares toracoabdominais, destacando a grande variabilidade nos valores obtidos, influenciada por fatores como tipo de procedimento e equipamento. Observou-se a predominância de estudos europeus e a escassez de dados em países como Portugal. A ausência de NRD regionais e a inadequação de algumas publicações às diretrizes do ICRP 135 evidenciam a necessidade de padronização. Os NRD são essenciais para otimizar a exposição radiológica. Destaca-se a importância e necessidade de agrupar os procedimentos por níveis de complexidade, tal como sugerido pelo ICRP 135, algo que praticamente inexistente nas publicações disponíveis e que torna a análise realizada nesta revisão sistemática, tal como noutros estudos, menos comparável, com novos estudos que sigam este importante princípio. A experiência e

formação contínua da equipa neste tipo de procedimentos, como esperado, revela-se bastante importante na otimização de dose, face a equipas com baixa formação ou inexperientes neste tipo de procedimentos.

Verificou-se que equipamentos fixos, doentes do sexo masculino e procedimentos endovasculares complexos, tendem a apresentar valores mais elevados de exposição. Reforça-se a necessidade de padronização metodológica e de mais estudos multicêntricos na definição de NRD. Espera-se que mais instituições adotem práticas baseadas em evidência para estabelecer NRD consistentes e atualizados. Com a definição, publicação, divulgação e implementação de NRD em qualquer tipo de procedimento, mas em especial naqueles que resultam numa exposição mais prolongada e com maiores valores dosimétricos associados, tal como os procedimentos guiados por fluoroscopia, o Técnico de Radiologia inicialmente de forma consciente e a determinado ponto, até de forma inconscientemente torna-se mais alerta aos optimizadores de dose, procurando sempre a redução da mesma, contribuindo assim para a segurança e proteção de todos os elementos presentes e envolvidos nos procedimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fernandes JF, Natário A, Matos A, Mansilha A, Moreira C, Oliveira F, et al. Rede de Referência Hospitalar - Angiologia e Cirurgia Vascular. Fevereiro 2017.
2. Coelho A, Lobo M, Gouveia R, Sousa P, Campos J, Augusto R, et al. Aneurisma da aorta abdominal – estudo epidemiológico de doentes tratados num centro por um período de 8 anos com o objetivo de promover o rastreio populacional. Angiologia e Cirurgia Vascular. Setembro de 2016;12(3):187–93. DOI: [10.1016/j.ancv.2016.03.004](https://doi.org/10.1016/j.ancv.2016.03.004)
3. Marcaccio CL, Schermerhorn ML. Epidemiology of abdominal aortic aneurysms. Semin Vasc Surg. 1 de março de 2021;34(1):29–37. DOI: [10.1053/j.semvascsurg.2021.02.004](https://doi.org/10.1053/j.semvascsurg.2021.02.004)

4. Kent KC, Zwolak RM, Egorova NN, Riles TS, Manganaro A, Moskowitz AJ, et al. Analysis of risk factors for abdominal aortic aneurysm in a cohort of more than 3 million individuals. *J Vasc Surg.* Setembro de 2010;52(3):539–48. DOI: [10.1016/j.jvs.2010.05.090](https://doi.org/10.1016/j.jvs.2010.05.090)
5. Nogueira F. O Técnico de Radiologia no tratamento endovascular das patologias aórticas - especificidades em contexto de Intervenção [Internet]. [Lisboa]: Instituto Politécnico de Lisboa; 2020.
6. Nogueira F. O Técnico de Radiologia no estabelecimento de Níveis de Referência de Dose para os procedimentos endovasculares aórticos. *ROENTGEN-Revista Científica das Técnicas Radiológicas.* 20 de janeiro de 2022;3(1):47–53. DOI: [10.46885/roentgen.v3i1.60](https://doi.org/10.46885/roentgen.v3i1.60)
7. Vañó E, Miller DL, Martin CJ, Rehani MM, Kang K, Rosenstein M, et al. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Clement C, Ogino H, editores. Vol. 46. International Commission on Radiological Protection; maio 2017. DOI: [10.1177/0146645317717209](https://doi.org/10.1177/0146645317717209)
8. Cousins C, Miller DL, Bernardi G, Rehani MM, Schofield P, Vañó E, et al. Radiological protection in cardiology. ICRP Publication 120. Vol. 42. International Commission on Radiological Protection; fevereiro 2013. DOI: [10.1016/j.icrp.2012.09.001](https://doi.org/10.1016/j.icrp.2012.09.001)
9. Diretiva 2013/59/Euratom do Conselho, de 5 de dezembro de 2013, que fixa as normas de segurança de base relativas à proteção contra os perigos resultantes da exposição a radiações ionizantes, e que revoga as Diretivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom.
10. Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro. Diário da República. 3 de dezembro de 2018.
11. Decreto-Lei n.º 139-D/2023, de 29 de dezembro. Diário da República. 29 de dezembro de 2023.
12. Moola S, Munn Z, Tufunaru C, Aromataris E, Sears K, Sfetec R, et al. Systematic reviews of etiology and risk. Em: *JBIM Manual for Evidence Synthesis* [Internet]. JBI; 2024 [citado 16 de Junho de 2025]. DOI: [10.46658/JBIMES-24-06](https://doi.org/10.46658/JBIMES-24-06)
13. Klein A, Xi Y, Guild J, Tsai S, Ramanan B, Chamseddin K, et al. The Effects of Gender on Radiation Dose during Fenestrated Endovascular Aneurysm Repair. *Ann Vasc Surg.* Outubro de 2020;68:305–9. DOI: [10.1016/j.avsg.2020.05.035](https://doi.org/10.1016/j.avsg.2020.05.035)
14. Hadid-Beurrier L, Dabli D, Royer B, Demonchy M, Le Roy J. Diagnostic reference levels during fluoroscopically guided interventions using mobile C-arms in operating rooms: A national multicentric survey. *Physica Medica.* Junho de 2021;86:91–7. DOI: [10.1016/j.ejmp.2021.05.013](https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.05.013)
15. Kakkos SK, Efthymiou FO, Metaxas VI, Dimitroukas CP, Panayiotakis GS. Factors affecting radiation exposure in endovascular repair of abdominal aortic aneurysms: a pilot study. *International Angiology.* Março de 2021;40(2):125–30. DOI: [10.23736/s0392-9590.20.04508-3](https://doi.org/10.23736/s0392-9590.20.04508-3)
16. Issahaku S, Hasford F, Azantillo N, Sackey TA, Nunoo G, Dzefi-Tetty K, et al. Establishment and utilization of diagnostic reference level for interventional procedures for adult patients in Ghana. *Health Technol (Berl).* 16 de novembro de 2024;14(6):1135–47. DOI: [10.1007/s12553-024-00896-x](https://doi.org/10.1007/s12553-024-00896-x)
17. Markusdottir E, Linden A, Holsti M, Cicek C, Butt T, Strömberg S, et al. Diagnostic reference level for endovascular abdominal aortic aneurysm repair in Sweden. *British Journal of Surgery.* 2 de agosto de 2024;111(Supplement_7). DOI: [10.1093/bjs/znae175.085](https://doi.org/10.1093/bjs/znae175.085)
18. Tsiatsiou Y, Velan B, Ross R, Lakshminarayan R, Rogers A, Hamady M, et al. National UK Survey of Radiation Doses During Endovascular Aortic Interventions. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 1 de janeiro de 2024;47(1):92–100. DOI: [10.1007/s00270-023-03592-x](https://doi.org/10.1007/s00270-023-03592-x)
19. Tuthill E, O'Hara L, O'Donohoe M, Panci S, Gilligan P, Campion D, et al. Investigation of reference levels and radiation dose associated with abdominal EVAR (endovascular aneurysm repair) procedures across several European Centres. *Eur Radiol.* 1 de novembro de 2017;27(11):4846–56. DOI: [10.1007/s00330-017-4791-2](https://doi.org/10.1007/s00330-017-4791-2)
20. Rial R, Vañó E, Del Río-Solá ML, Fernández JM, Sánchez RM, Cambor Santervás LA, et al. National Diagnostic Reference Levels for Endovascular Aneurysm Repair and Optimisation Strategies. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery.* 1 de dezembro de 2020;60(6):837–42. DOI: [10.1016/j.ejvs.2020.08.006](https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2020.08.006)
21. Mesnard T, Huang Y, Schanzer A, Timaran CH, Schneider DB, Mendes BC, et al. Multicenter Prospective Evaluation of Patient Radiation Exposure During Fenestrated-Branched Endovascular Aortic Repair. *Ann Surg.* 18 de fevereiro de 2025. DOI: [10.1097/sla.0000000000006676](https://doi.org/10.1097/sla.0000000000006676)
22. Tzanis E, Ioannou C V., Tsetis D, Lioudaki S, Matthaiou N, Damilakis J. Complexity-based local diagnostic reference levels (DRLs) for standard endovascular aneurysm repair (EVAR) procedures. *Physica Medica.* 1

- de maio de 2020;73:89–94. DOI: [10.1016/j.ejmp.2020.04.015](https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.04.015)
23. Stecker MS, Balter S, Towbin RB, Miller DL, Vañó E, Bartal G, et al. Guidelines for Patient Radiation Dose Management. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. Julho de 2009;20(7):S263–73. DOI: [10.1016/j.jvir.2009.04.037](https://doi.org/10.1016/j.jvir.2009.04.037)
24. Efthymiou FO, Metaxas VI, Dimitroukas CP, Kakkos SK, Panayiotakis GS. KERMA-AREA PRODUCT, ENTRANCE SURFACE DOSE AND EFFECTIVE DOSE IN ABDOMINAL ENDOVASCULAR ANEURYSM REPAIR. *Radiat Prot Dosimetry*. 14 de julho de 2021;194(2–3):121–34. DOI: [10.1093/rpd/ncab082](https://doi.org/10.1093/rpd/ncab082)
25. Tzanis E, Damilakis J. A neural network-enhanced methodology for the rapid establishment of local DRLs in interventional radiology: EVAR as a case example. *Physica Medica*. 1 de outubro de 2023;114. DOI: [10.1016/j.ejmp.2023.103140](https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2023.103140)
26. Kwon D, Little MP, Miller DL. Reference air kerma and kerma-area product as estimators of peak skin dose for fluoroscopically guided interventions. *Med Phys*. 28 de junho de 2011; 38(7):4196–204. DOI: [10.1118/1.3590358](https://doi.org/10.1118/1.3590358)
27. Jones AK, Pasciak AS. Calculating the peak skin dose resulting from fluoroscopically guided interventions. Part I: Methods. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 15 de novembro de 2011;12(4):3670. doi: [10.1120/jacmp.v12i4.3670](https://doi.org/10.1120/jacmp.v12i4.3670)



Integração da inteligência artificial no rastreio mamográfico: evidência atual, benefícios clínicos e desafios de implementação – Revisão Sistemática.

Integration of Artificial Intelligence in Mammographic Screening: Current Evidence, Clinical Benefits, and Implementation Challenges – A Systematic Review.

Estefânia Pinto Vasconcelos ¹, ORCID - 0009-0004-1610-0783

¹ Unidade Local de Saúde de Barcelos e Esposende, ULSBE, Barcelos, Portugal

Autor(a) para Correspondência:

Estefania Pinto Vasconcelos

estefaniapintovasconcelos@gmail.com

Informação Editorial:

Tipologia: Revisão Sistemática

Data de receção: 29 abril 2026

Data de aprovação: 30 julho 2026

RESUMO

Introdução: A inteligência artificial (IA) tem demonstrado potencial para melhorar o desempenho diagnóstico e a eficiência do rastreio mamográfico. Esta revisão sistemática teve como objetivo sintetizar a evidência sobre o desempenho diagnóstico da IA, a identificação retrospectiva de cancro de intervalo, o impacto na carga de trabalho e os desafios da implementação clínica.

Métodos: Foi realizada uma revisão sistemática segundo as recomendações PRISMA 2020. Foram pesquisadas as bases *PubMed*, *Scopus* e *Web of Science*, incluindo estudos publicados entre janeiro de 2015 e fevereiro de 2026. A qualidade metodológica foi apreciada com base no QUADAS-2 e, devido à heterogeneidade dos estudos, realizou-se uma síntese narrativa.

Resultados: Foram identificados 1133 registos, dos quais 72 foram avaliados em texto integral e 55 incluídos. A IA apresentou desempenho diagnóstico comparável à dupla leitura convencional em diferentes contextos de rastreio. Diversos estudos demonstraram capacidade para identificar retrospectivamente sinais associados a cancro de intervalo. Estratégias de triagem, leitura seletiva e integração híbrida demonstraram

potencial para reduzir a carga de leitura humana, embora com variabilidade entre modelos de implementação.

Discussão: A heterogeneidade metodológica, a limitada evidência prospectiva e os desafios de validação externa, integração clínica, custo-efetividade e regulamentação limitam a generalização dos resultados.

Conclusão: A IA apresenta potencial para apoiar o rastreamento mamográfico e melhorar a sua eficiência. A implementação clínica requer validação externa robusta, monitorização contínua e avaliação prospectiva do impacto clínico, organizacional e económico.

PALAVRAS-CHAVE

Inteligência Artificial; *Deep Learning*; *Machine Learning*; Mamografia; Rastreamento do Cancro da Mama; Revisão Sistemática

ABSTRACT

Introduction: Artificial intelligence (AI) has shown potential to improve diagnostic performance and efficiency in mammographic screening. This systematic review aimed to synthesize the evidence on AI diagnostic performance, retrospective identification of interval cancers, impact on workload, and challenges associated with clinical implementation.

Methods: A systematic review was conducted according to the PRISMA 2020 guidelines. PubMed, Scopus, and Web of Science were searched for studies published between January 2015 and February 2026. Methodological quality was assessed using QUADAS-2, and a narrative synthesis was performed due to study heterogeneity.

Results: A total of 1,133 records were identified, of which 72 underwent full-text assessment and 55 were included. AI demonstrated diagnostic performance comparable to conventional double reading across different screening settings. Several studies showed the ability to retrospectively identify findings associated with interval cancers. Triage, selective-reading, and hybrid integration strategies showed potential to reduce human reading workload, although results varied across implementation models.

Discussion: Methodological heterogeneity, limited prospective evidence, and challenges related to external validation, clinical integration, cost-effectiveness, and regulation limit the generalizability of the findings.

Conclusion: AI has the potential to support mammographic screening and improve its efficiency. Clinical implementation requires robust external validation, continuous performance monitoring, and prospective evaluation of clinical, organizational, and economic impact.

KEYWORDS

Artificial Intelligence; *Deep Learning*; *Machine Learning*; Mammography; Breast Cancer Screening; Systematic Review

INTRODUÇÃO

A inteligência artificial (IA) tem assumido um papel crescente na imagiologia médica, particularmente no rastreamento mamográfico, onde o elevado volume de exames, a pressão sobre os programas de rastreamento e a necessidade de detecção precoce do cancro da mama constituem desafios clínicos relevantes. Neste contexto, destacam-se algoritmos de *machine learning*, modelos de *deep learning* baseados em redes neurais convolucionais e sistemas de diagnóstico assistido por computador (*computer-aided detection* e *computer-aided diagnosis* – CAD), capazes de analisar imagens mamográficas e identificar padrões relevantes para a detecção de lesões suspeitas (1-4).

O desempenho destes algoritmos é habitualmente avaliado através de métricas como sensibilidade, especificidade e a área sob a curva (AUC do inglês *area under the curve*) obtida a partir da curva ROC (do inglês *receiver operating characteristic*). Estudos multicêntricos demonstraram que algoritmos baseados em *deep learning* apresentaram desempenho diagnóstico comparável ao dos radiologistas e, em determinados contextos, à dupla leitura convencional, com AUC frequentemente superiores a 0,85 (1-4, 15, 19, 22, 38, 41, 45, 46, 48).

Em programas de rastreio populacional, a integração da IA como segundo leitor ou em modelos híbridos pode aumentar a sensibilidade diagnóstica sem aumento proporcional dos falsos positivos, combinando a capacidade de detecção algorítmica com a avaliação do radiologista (1, 8, 9, 17, 19, 22, 23, 30, 38, 41, 45-48). Estes sistemas apresentam potencial para otimizar recursos humanos e reduzir a carga de trabalho através de estratégias de triagem seletiva ou leitura assistida (1, 5, 7, 9, 11, 17, 19, 25, 30, 33-34, 38, 41, 45-47, 49-50, 53).

Outro contributo relevante é a capacidade da IA para assinalar retrospectivamente sinais associados a câncros de intervalo em mamografias previamente consideradas negativas (2, 5-7, 9-10,

14, 21-23, 28, 31, 35, 37, 40, 42, 45). Contudo, esta identificação retrospectiva não demonstra, por si só, benefício clínico prospetivo nem redução efetiva de diagnósticos tardios.

A densidade mamária pode igualmente influenciar o desempenho algorítmico, tendo sido observadas variações na sensibilidade entre diferentes categorias de densidade (3, 12-13, 20, 32, 45). Estratégias de transferência de aprendizagem e calibração local podem contribuir para melhorar a generalização dos modelos entre diferentes populações e contextos clínicos (9).

Apesar dos resultados promissores, persistem diferenças importantes entre os estudos quanto às populações, algoritmos, métricas e contextos de implementação, dificultando a interpretação global da evidência. Assim, esta revisão sistemática teve como objetivo sintetizar a evidência científica sobre a aplicação da IA no rastreio mamográfico, avaliando o desempenho diagnóstico, a capacidade de detecção retrospectiva de câncros de intervalo, o impacto na carga de trabalho dos radiologistas e os principais desafios associados à implementação clínica.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenho do estudo

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura, por revisor único, sobre a aplicação da inteligência artificial no rastreio mamográfico, conduzida de acordo com as recomendações *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* versão de 2020 (PRISMA 2020). O plano metodológico foi previamente definido, incluindo a estratégia de pesquisa, os critérios de elegibilidade, o processo de seleção, a extração de dados, a avaliação da qualidade metodológica e o método de síntese dos resultados.

Estratégia de Pesquisa

Foram pesquisadas as bases de dados *PubMed*, *Scopus* e *Web of Science*, com última atualização em fevereiro de 2026. A estratégia utilizou descritores e palavras-chave em língua inglesa, adaptados às especificidades de cada base de

dados: ("Artificial Intelligence" OR "Machine Learning" OR "Deep Learning" OR "Computer-Aided Detection") AND ("Mammography" OR "Breast Cancer Screening" OR "Breast Imaging" OR "Breast Density").

Foram considerados artigos publicados entre janeiro de 2015 e fevereiro de 2026, redigidos em língua inglesa e com texto integral disponível.

Crítérios de elegibilidade

Foram incluídos estudos originais que avaliaram a aplicação de algoritmos de IA no rastreio mamográfico e reportaram métricas quantitativas relevantes, incluindo sensibilidade, especificidade, AUC, valores preditivos, taxa de detecção de cancro, taxa de reconvocação, detecção de cancros de intervalo ou impacto na carga de trabalho. Foram também considerados estudos sobre densidade mamária, modelos híbridos de leitura e estratégias de integração da IA.

Foram excluídas revisões, meta-análises, editoriais, cartas ao editor, comentários, protocolos, resumos de conferências, estudos sem dados clínicos originais ou métricas quantitativas relevantes, dados exclusivamente sintéticos ou simulações sem dados clínicos reais, duplicados e publicações sem acesso ao texto integral. Foram elegíveis simulações de estratégias de integração ou fluxos de trabalho quando baseadas em coortes clínicas reais de rastreio e com métricas quantitativas relevantes.

Processo de Seleção dos Estudos

Os registos foram importados para a plataforma Rayyan®. Após remoção dos duplicados, títulos e resumos foram avaliados segundo os critérios de elegibilidade, seguindo-se a avaliação integral dos artigos potencialmente relevantes.

A seleção foi realizada pela autora mediante aplicação sistemática dos critérios previamente definidos. Em caso de dúvida, o texto integral foi novamente revisto antes da decisão final. Apenas os estudos que cumpriram integralmente os critérios de elegibilidade foram incluídos na síntese qualitativa.

Extração de Dados

Para cada estudo foram extraídos: primeiro autor, ano de publicação, país, desenho do estudo, características da população, dimensão da amostra, tipo de algoritmo de IA, métricas de desempenho e principais resultados. A extração foi realizada pela autora de forma padronizada, mediante aplicação consistente das variáveis previamente definidas, sendo os dados organizados conforme apresentado na Tabela 2.

Avaliação da Qualidade Metodológica e Risco de Viés

A qualidade metodológica foi apreciada com base nos domínios da ferramenta *Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies 2* (QUADAS-2): seleção dos participantes, teste índice, padrão de referência e fluxo e cronologia, considerando o risco de viés e as preocupações relativas à aplicabilidade.

Globalmente, os estudos apresentaram qualidade metodológica moderada a elevada. As principais limitações relacionaram-se com desenhos retrospectivos, heterogeneidade das estratégias e limiares de decisão, populações selecionadas ou enriquecidas e limitada validação externa. A síntese das principais considerações relativas ao risco de viés e aplicabilidade encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1- Síntese da avaliação do risco de viés e aplicabilidade segundo o QUADAS-2

Domínio	Síntese da avaliação	Principais aspetos identificados
Seleção dos participantes	Variabilidade metodológica entre os estudos	Foram incluídas populações provenientes de programas de rastreio, coortes retrospectivas e prospetivas e estudos multicêntricos. Em alguns estudos, a utilização de populações selecionadas ou enriquecidas com casos de cancro poderá limitar a representatividade relativamente à população geral de rastreio.

Teste índice	Globalmente bem descrito, com heterogeneidade entre algoritmos e estratégias	Os estudos avaliaram diferentes algoritmos de IA, limiares de decisão e modelos de integração clínica. A heterogeneidade dos sistemas e dos critérios de classificação limita a comparação direta entre estudos.
Padrão de referência	Globalmente adequado, embora variável entre estudos	A confirmação dos resultados baseou-se em diferentes padrões de referência, incluindo diagnóstico histopatológico, seguimento clínico e registos de programas de rastreio, dependendo do desenho de cada estudo.
Fluxo e cronologia	Variabilidade associada ao desenho e ao seguimento	Foram observadas diferenças no período de seguimento, na definição dos desfechos e nos modelos de leitura utilizados. A predominância de desenhos retrospectivos em parte da evidência poderá introduzir limitações na avaliação do desempenho em condições prospetivas de rastreio.
Preocupações relativas à aplicabilidade	Variáveis entre estudos e contextos	As principais preocupações relacionaram-se com diferenças entre populações, densidade mamária, fabricantes e sistemas de aquisição, algoritmos utilizados e contextos de implementação, podendo limitar a generalização dos resultados para outros programas de rastreio.

Síntese dos Resultados

A heterogeneidade metodológica e clínica impossibilitou a realização de meta-análise. As fontes de heterogeneidade foram exploradas qualitativamente considerando desenho do estudo, população, densidade mamária, algoritmos, estratégias de integração, limiares de decisão e métricas reportadas, optando-se por uma síntese narrativa.

Os resultados foram organizados nos principais domínios identificados: desempenho diagnóstico, deteção retrospectiva de cancro de intervalo, influência da densidade mamária, impacto na carga de trabalho e desafios de implementação clínica.

MATERIAL E MÉTODOS

Seleção dos estudos

A presente revisão foi conduzida por um único revisor. A pesquisa bibliográfica identificou inicialmente 1133 registos nas bases de dados *PubMed*, *Scopus* e *Web of Science*. Após a remoção de 4 registos duplicados, foram

avaliados 1129 títulos e resumos, dos quais 1057 registos foram excluídos após avaliação do título e resumo por não cumprirem os critérios de elegibilidade previamente definidos. Posteriormente, 72 artigos foram avaliados em texto integral. Destes, 55 estudos cumpriram todos os critérios de inclusão e integraram a síntese qualitativa da presente revisão sistemática, enquanto 17 artigos foram excluídos por não cumprirem um ou mais critérios de elegibilidade previamente definidos. Os principais motivos de exclusão incluíram desenho ou objetivo não elegível, ausência de dados clínicos originais ou de métricas quantitativas relevantes para os objetivos da revisão e utilização exclusiva de dados sintéticos ou simulações sem dados clínicos reais. A distribuição das exclusões em cada etapa encontra-se representada no fluxograma PRISMA 2020 (Figura 1).

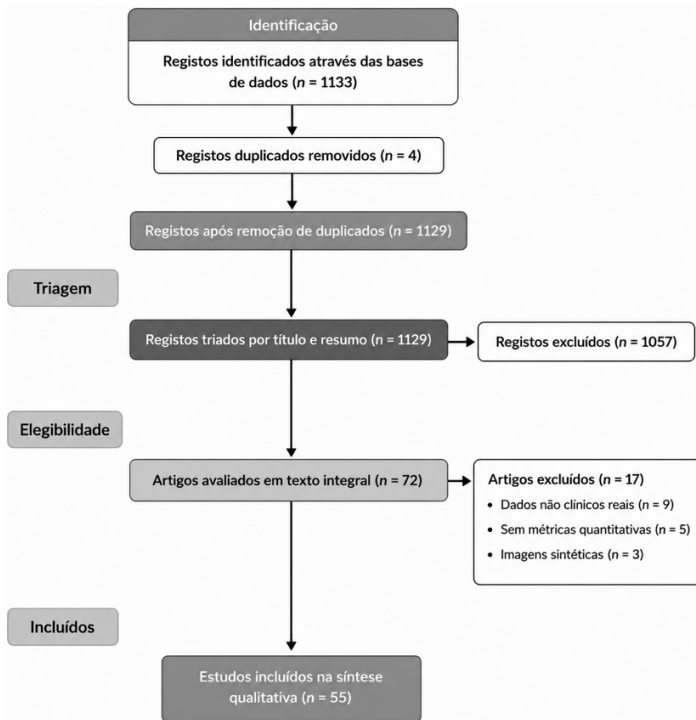


Figura 1 - Fluxograma PRISMA 2020 do processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos na revisão sistemática.

Características dos Estudos Incluídos

Os 55 estudos incluídos, publicados entre 2018 e fevereiro de 2026, refletem o rápido desenvolvimento da inteligência artificial aplicada ao rastreio mamográfico. Os estudos abrangeram diferentes contextos clínicos e geográficos, incluindo programas nacionais de rastreio, estudos multicêntricos internacionais, coortes

prospetivas e retrospectivas, estudos de validação externa e investigações de implementação clínica. A maioria foi realizada em países europeus, na América do Norte e na Ásia, envolvendo populações heterogêneas e diferentes estratégias de rastreio. Os algoritmos avaliados incluíram modelos comerciais e acadêmicos, sistemas de aprendizagem profunda (*deep learning*) e diferentes estratégias de integração entre IA e leitura humana. As abordagens de inteligência artificial mais frequentemente avaliadas incluíram algoritmos de *deep learning*, sistemas de *computer-aided detection* (CADe), *computer-aided diagnosis* (CADx) e modelos híbridos que combinavam a interpretação do radiologista com algoritmos de IA. As principais métricas analisadas foram a sensibilidade, especificidade, área sob a curva ROC (AUC), taxa de detecção de cancro, taxa de reconvocação, valor preditivo positivo e valor preditivo negativo. Diversos estudos avaliaram ainda a capacidade da IA para identificar retrospectivamente cancros de intervalo, o impacto da densidade mamária no desempenho dos algoritmos, a redução da carga de trabalho dos radiologistas e os desafios associados à implementação clínica. A Tabela 2 sintetiza as principais características metodológicas dos estudos incluídos, incluindo objetivo, desenho do estudo e principais achados.

Tabela 2- Características gerais e principais achados dos estudos incluídos na revisão sistemática (n = 55).

Autor, ano	País	Amostra	Objetivo / desenho	Principais achados		
				Principais métricas e resultados	Deteção de Cancros de intervalo	Impacto na redução da carga de trabalho
Lång et al., 2023 (1) (MASAI)	Suécia	80 033 mulheres randomizadas; análise em 80 020 exames completos	Ensaio randomizado, controlado, populacional, de não inferioridade. Comparou rastreio apoiado por IA com dupla leitura convencional	IA: 244 cancros, CDR 6,1/1000; controlo: 203 cancros, CDR 5,1/1000; razão 1,2. Recall: 2,2% vs 2,0%; falsos positivos: 1,5% em ambos; PPV do recall: 28,3% vs 24,8%	O cancro de intervalo era o <i>endpoint</i> primário de seguimento e não foi ainda avaliado nesta análise interina de segurança	44,3% de redução da carga de leitura: 46 345 vs 83 231 leituras
Kühl et al., 2024 (2)	Dinamarca	249 402 rastreios, correspondente s a 149 495 mulheres; 2 033 cancros	Estudo populacional retrospectivo. Comparou IA <i>stand-alone</i> com primeiros leitores humanos em programa de dupla leitura	IA ajustada à especificidade do primeiro leitor apresentou desempenho global comparável. IA (sens): especificidade 97,5%, PPV 17,5%, recall 3,0%; primeiros	Dos 2 033 cancros, 558 eram de intervalo. A IA identificou 117–126 cancros de intervalo, vs 39 pelos primeiros leitores	Não reporta como redução direta de <i>workload</i> ; estudo sugere viabilidade de substituição do primeiro leitor por IA

				leitores: 97,7%, 18,7%, 2,8%, respectivamente. IA detetou 1 156–1 166 cânceros de rastreio vs 1 252 pelos primeiros leitores		
Kwon et al., 2024 (3)	Coreia do Sul	89 855 mulheres; 143 cânceros diagnosticados em 12 meses	Estudo retrospectivo em população coreana. Comparou IA <i>stand-alone</i> com radiologistas segundo densidade mamária	CDR 1,1/1000. Sensibilidade: IA 67,1% vs radiologistas 69,9%; especificidade: 93,0% vs 77,6%; PPV: 1,5% vs 0,5%; recall: 7,1% vs 22,5%; AUC: 0,80 vs 0,74. Desempenho variou com densidade mamária	Não constituiu o principal <i>endpoint</i> específico de análise	Não reporta
Waugh et al., 2024 (4)	Austrália	7 533 mamografias consecutivas de rastreio prevalente	Estudo retrospectivo no <i>BreastScreen Australia</i> . Comparou desempenho da IA com radiologistas experientes	Radiologistas identificaram 54 cânceros invasivos + 13 DCIS; recall 9,7%. IA classificou 51/54 invasivos e 12/13 DCIS no grupo de maior risco. Considerando cânceros adicionais: sensibilidade IA 88,06% (59/67) vs radiologistas 80,6% (54/67)	A IA identificou adicionalmente 5 cânceros de intervalo classificados como falsos negativos pelos radiologistas	Não quantificada diretamente; resultados sugerem potencial para triagem/substituição de um leitor
Seker et al., 2024 (5)	Turquia	Programa com 22 621 mamografias de 8 825 mulheres; análise principal em 5 136 mamografias de 4 282 mulheres, com 105 cânceros	Estudo retrospectivo. Avaliou IA como leitor adicional, detecção precoce, cânceros de intervalo e cenários de <i>workflow</i>	AUC 89,6% (IC95% 86,1–93,2); sensibilidade 72,38%; especificidade 92,86%. IA identificou 57 cânceros detetados no rastreio (83,82%) e poderia antecipar o diagnóstico em 24 doentes, em média 29,92 meses	Identificou 15 cânceros de intervalo (51,72%) e 4 cânceros perdidos (50%)	Cenário híbrido de triagem: potencial redução de 69,5% da carga de trabalho, com aumento de 30,5% na precisão
Hovda et al., 2025 (6)	Noruega	1 017 208 exames de rastreio; 5 977 cânceros <i>screen-detected</i> e 1 812 de intervalo	Grande estudo retrospectivo multicêntrico do <i>BreastScreen Norway</i> ; avaliou sistema de IA com marcação CE	Entre os 3% de exames com maior score de risco (P3), a IA classificou como positivos 81,5% (4 871/5 977) dos cânceros detetados no rastreio	No P3, identificou 19,0% (344/1 812) dos cânceros de intervalo. Entre os 70% de menor risco, 34,5% (625/1 812) dos cânceros de intervalo foram classificados como negativos	Potencial elevado: 70% dos exames de menor risco (N70) constituíram cenário de triagem, mas isto não equivale a uma redução prospectiva comprovada de 70%
Lauritzen et al., 2022 (7)	Dinamarca	114 421 exames de 114 421 mulheres; 791 cânceros de rastreio, 327 de intervalo e 1 473 cânceros a longo prazo	Estudo retrospectivo/simulação clínica com dados reais. Avaliou protocolo de rastreio baseado em IA para triagem de exames normais e suspeitos	Sensibilidade IA 69,7% (779/1 118) vs radiologistas 70,8% (791/1 118), não inferior; especificidade IA 98,6% vs 98,1% radiologistas. Evitou 25,1% (529/2 107) dos falsos positivos	Incluiu 327 cânceros de intervalo na avaliação do desempenho	62,6% de redução potencial da carga de leitura — 71 585/114 421 exames
Hickman et al., 2024 (8)	Reino Unido	26 722 casos; 332 cânceros detetados no rastreio, 174 de intervalo e 254	Validação externa retrospectiva de 3 algoritmos comerciais de <i>deep learning</i> , isoladamente e	Sensibilidade <i>stand-alone</i> : 64,8%, 56,7% e 58,9%, vs primeiro leitor 62,8%. Especificidade:	Incluiu 174 cânceros de intervalo na avaliação	Potencial de redução ao substituir um dos leitores por IA; percentagem específica não

		no rastreio subsequente	combinados com leitores humanos	92,8%, 96,8% e 97,9%, vs 96,5%. IA + humano: sensibilidade 67,0%, 65,6%, 65,4%, vs dupla leitura 67,4%; especificidade 97,4–97,6%, vs 97,1%		quantificada no resumo do estudo
Hickman et al., 2023 (9)	Austrália	78 849 mulheres; 887 câncros <i>screen-detected</i> , 439 de intervalo e 688 detetados na ronda subsequente	Estudo retrospectivo de triagem com três algoritmos comerciais de <i>deep learning</i> : <i>rule-out</i> , <i>rule-in</i> e <i>workflow</i> adaptativo	No rule-out, IA triou 35,0%, 53,2% e 55,6% das mamografias, perdendo apenas 0–0,1% dos 887 câncros <i>screen-detected</i> . <i>Workflow</i> combinado apresentou sensibilidade 2,7% superior à dupla leitura, com especificidade não inferior	No rule-in, identificou 4,6–8,2% (20–36/439) dos câncros de intervalo e 5,2–6,1% (36–42/688) dos câncros da ronda seguinte após a dupla leitura convencional	Potencial de redução da leitura humana de até 55,6% dos exames, dependendo do algoritmo, no cenário rule-out
van Winkel et al., 2025 (10)	Países Baixos	42 236 mamografias consecutivas de 42 100 mulheres; seguimento de 4 anos	Coorte retrospectiva populacional neerlandesa. Comparou leitura humana simples, dupla leitura, IA isolada e humano + IA	Dupla leitura humana: 1 244 <i>recalls</i> (2,9%), 291 câncros <i>screen-detected</i> . Humano + IA: 2 112 <i>recalls</i> (5,0%), 282 <i>screen-detected</i> + 29 de intervalo + 38 futuros; melhoria da sensibilidade em 8,4% (IC95% 5,7–11,2)	Base final: 291 <i>screen-detected</i> , 102 de intervalo e 187 futuros. Humano + IA identificou precocemente 29 câncros de intervalo e 38 futuros adicionais	IA avaliada como potencial segundo leitor independente; não foi reportada no resumo uma percentagem direta de redução do <i>workload</i>
Elhakim et al., 2024 (11)	Dinamarca	249 402 mamografias de uma população representativa de rastreio	Estudo retrospectivo. Comparou três cenários de integração da IA: substituição do 1.º leitor, substituição do 2.º leitor e triagem por IA, face à dupla leitura convencional com arbitragem	Substituir o 1.º leitor por IA não produziu diferenças significativas na maioria das métricas, exceto aumento da arbitragem em 0,99%. Substituir o 2.º leitor reduziu a sensibilidade em 1,58%. A estratégia de triagem aumentou a sensibilidade em 1,33%, PPV em 0,36% e NPV em 0,01%, reduzindo a arbitragem em 0,88%	Não foi o objetivo principal específico	Os limiares foram definidos para obter aproximadamente 50% de redução do volume de leitura humana; o impacto dependeu da posição da IA no <i>workflow</i>
Ha et al., 2024 (12)	Coreia do Sul	5 707 mulheres assintomáticas com mamas densas; 33 câncros	Estudo retrospectivo. Comparou mamografia isolada, mamografia + IA e mamografia + ecografia suplementar	Mamografia + IA: especificidade 95,3% vs 94,3% sem IA; AIR 5,0% vs 6,0%. Mamografia + ecografia apresentou CDR 5,6/1000 vs 3,5/1000 e sensibilidade 97,0% vs 60,6% comparativamente à mamografia + IA, mas menor especificidade (77,6% vs 95,3%)	Não foi especificamente um estudo de câncros de intervalo	Não reporta; IA melhorou sobretudo especificidade e reduziu interpretações anormais
Graham-Knight et al., 2025 (13)	Canadá	136 700 mulheres	Validação externa retrospectiva de	AUC global a 1 ano 0,93. Por densidade:	Os câncros diagnosticados no	Não reporta

		submetidas a rastreio mamográfico	algoritmo comercial de IA num programa canadiano	A 0,96, B 0,94, C 0,93, D 0,84. Sensibilidade a 1 ano: radiologistas 92,6% vs IA 89,4%; a 2 anos não houve diferença significativa (83,5% vs 84,3%)	seguimento contribuíram para a avaliação de desempenho, mas o estudo não teve como objetivo principal quantificar prevenção de câncros de intervalo	
Çelik et al., 2023 (14)	Turquia	Base de 2 248 665 mulheres; entre 2 129 486 mamografias inicialmente BI-RADS 1–2 foram selecionados 323 casos de cancro de intervalo e 441 controlos	Estudo retrospectivo comparando duas versões do Transpara — v1.6 e v1.7 — especificamente na deteção de câncros de intervalo	v1.6: sensibilidade 56,6%, especificidade 90%, AUC 0,812. v1.7: sensibilidade 65,9%, especificidade 90%, AUC 0,856. v1.7 apresentou desempenho significativamente superior	Sim — 323 câncros de intervalo. A versão mais recente da IA aumentou a capacidade de identificação destes câncros, sobretudo no período de 7–12 meses	Não reporta
Hsu et al., 2022 (15)	Estados Unidos	37 317 exames de 26 817 mulheres	Estudo de validação externa de um ensemble de 11 modelos de <i>deep learning</i> do DREAM Challenge, isoladamente e combinado com radiologistas	Modelos individuais: AUC 0,77–0,83; ensemble: AUC 0,85, inferior aos resultados prévios em Kaiser et al. (0,90) e Karolinska et al. (0,92). IA + radiologista: sensibilidade 81,3% vs 82,6% e especificidade 92,5% vs 93,0% do radiologista, sem diferença significativa global	Não foi o <i>endpoint</i> principal	Não reporta; estudo salientou problemas de generalização para populações externas/diversas
Smith et al., 2024 (16)	Reino Unido	8 779 episódios de rastreio avaliados prospectivamente e pela IA em modo silencioso	Avaliação prospetiva de serviço comparando IA <i>stand-alone</i> (MIA) com dupla leitura humana convencional	Entre os casos concordantes positivos IA–humano, foram detetados 58 câncros. Dos 79 câncros identificados pelos leitores humanos, 18 não foram identificados pela IA. Nos 604 casos em que a IA indicou <i>recall</i> mas os humanos não, foram encontrados 2 câncros na revisão	Não foi desenhado especificamente para quantificar câncros de intervalo	Não foi implementada redução real do <i>workload</i> , pois a IA funcionou em modo silencioso; demonstra limitações para substituição autónoma da leitura humana
Sharma et al., 2023 (17)	Reino Unido e Hungria	275 900 casos / 177 882 participantes, 4 fabricantes de mamógrafos, 7 centros e 2 países	Estudo retrospectivo multicêntrico e <i>multi-vendor</i> ; simulou IA como leitor independente em dupla leitura	IA + humano foi pelo menos não inferior à dupla leitura humana em <i>recall</i> , CDR, sensibilidade, especificidade e PPV em todos os fabricantes/centros, com superioridade em algumas métricas. Arbitragem aumentaria de 3,3% para 12,3%	Não constituiu o foco principal	Redução estimada da carga de leitura humana de 30,0% a 44,8%
Lee et al., 2024 (18)	Coreia do Sul	1 819 mulheres / 2 061 exames de rastreio; 29	Estudo retrospectivo em contexto clínico real, alternando meses com	Com IA: sensibilidade 76,5%; especificidade 92,3%, comparável à	Não Reporta	Não reporta; não houve diferença significativa global

		mulheres com cancro	e sem disponibilização de AI-CAD aos radiologistas	IA isolada 93,8%; AUC 0,844 vs 0,851; <i>recall</i> 8,8% vs 7,4%. Sem IA, radiologistas tiveram menor especificidade (91,9% vs 94,6%), menor precisão (91,5% vs 94,1%) e maior <i>recall</i> (8,6% vs 5,9%) que IA isolada		entre desempenho dos radiologistas com e sem assistência de IA
Leibig et al., 2022 (19)	Alemanha	Base total de 1 193 197 estudos mamográficos; teste interno: 1 670 cânceros + 19 997 normais; teste externo: 2 793 cânceros + 80 058 exames normais	Estudo retrospectivo multicêntrico. Avaliou IA <i>stand-alone</i> e estratégia híbrida de <i>decision referral</i> baseada na incerteza do algoritmo	IA isolada no teste externo: sensibilidade 84,6%, especificidade 91,3%. Estratégia híbrida aumentou a sensibilidade dos radiologistas em 2,6 pontos percentuais e a especificidade em 1,0 ponto percentual. AUC no subconjunto avaliado pela IA: 0,982	Não foi o objetivo principal	Triagem de 63,0% dos exames no conjunto externo, demonstrando elevado potencial de redução da carga de leitura
Riveira-Martin et al., 2023 (20)	Espanha	Conjunto de mamografias de programa populacional de rastreio, analisado segundo fabricante, características demográficas e parâmetros técnicos	Estudo retrospectivo de robustez <i>multi-vendor</i> de um sistema comercial de IA	AUC global 0,92 (IC95% 0,89–0,95). Não foram observadas diferenças significativas da AUC segundo fabricante, idade, espessura/densidade mamária, compressão, qualidade do feixe ou dose	Não Reporta	Não reporta; estudo avaliou robustez/generalização técnica, não redução direta de <i>workload</i>
Heywang-Köbrunner et al., 2023 (21)	Alemanha	17 884 exames consecutivos de rastreio; 114 cânceros detetados no rastreio + 17 cânceros de intervalo	Estudo retrospectivo; comparou AI-CAD com leitura humana em rastreio com dupla leitura	AUC da IA para cânceros detetados no rastreio: 0,89. Sensibilidade/especificidade: IA 81,7%/80,2%; leitor 1 77,1%/91,7%; leitor 2 78,6%/91,6%. IA + um leitor atingiu sensibilidade ≈88%, semelhante à dupla leitura humana, mas com menor especificidade	17 cânceros de intervalo; 4 tiveram score IA >30 e, em 2, a IA marcou corretamente o quadrante onde posteriormente surgiu o cancro	Não demonstrou redução direta; IA + humano levaria a aproximadamente o dobro dos casos para consenso, dependendo do <i>workflow</i>
Elhakim et al., 2023 (22)	Dinamarca	257 671 mamografias incluídas na análise final, de uma coorte inicial de 272 008 exames/158 732 mulheres	Estudo retrospectivo multicêntrico; IA isolada e IA substituindo o primeiro leitor em dupla leitura	Primeiro leitor: sensibilidade 63,7%, especificidade 97,8%; dupla leitura/arbitragem: 73,9%/97,9%. IA integrada com limiar de sensibilidade aumentou sensibilidade em +2,3 p.p., mas reduziu especificidade em 0,6 p.p.; com limiar de especificidade, desempenho global semelhante à dupla leitura	A IA identificou mais cânceros de intervalo que os comparadores humanos nos limiares avaliados	Potencial para substituir o primeiro leitor, mas o impacto no <i>workload</i> depende fortemente do limiar; alguns cenários aumentaram a taxa de arbitragem

Gommers et al., 2026 (23) (MASAI)	Suécia	>105 mil mulheres, randomizadas para rastreio apoiado por IA ou dupla leitura convencional	Ensaio randomizado, controlado, populacional, de não inferioridade; análise dos câncros de intervalo e desempenho após seguimento	Taxa de câncros de intervalo: IA 1,55/1000 vs controlo 1,76/1000; razão 0,88, demonstrando não inferioridade. Sensibilidade: 80,5% vs 73,8% (p=0,031). Especificidade: 98,5% em ambos	Sim — <i>endpoint</i> principal. Menos câncros de intervalo invasivos (75 vs 89), T2+ (38 vs 48) e não-luminal A (43 vs 59) no braço IA	Confirma os benefícios do <i>workflow</i> do MASAI, que já havia demonstrado redução substancial da carga de leitura na análise inicial
Kim et al., 2023 (24)	Coreia do Sul	3 158 mulheres assintomáticas inicialmente identificadas; grupos com e sem AI-CAD emparelhados 1:1	Estudo de coorte emparelhado; avaliou o efeito da disponibilização de AI-CAD aos radiologistas na mamografia de rastreio	A assistência por IA foi avaliada quanto a CDR, <i>recall</i> , sensibilidade, especificidade e PPV; demonstrou alterações no desempenho do rastreio e na tomada de decisão dos radiologistas	Não foi especificamente desenhado para avaliar câncros de intervalo	Não reporta como redução direta de leituras; avaliou assistência à decisão, não triagem autónoma
Yala et al., 2019 (25)	Estados Unidos	223 109 mamografias de 66 661 mulheres; teste: 26 540 mamografias/7 176 mulheres, 191 câncros	Estudo retrospectivo; desenvolveu modelo DL para excluir exames de baixo risco da leitura humana	Leitura convencional: sensibilidade 90,6%, especificidade 93,5%. <i>Workflow DL</i> : 90,1%/94,2%, mantendo sensibilidade não inferior e aumentando significativamente a especificidade	Não foi o <i>endpoint</i> principal	Radiologistas necessitariam ler apenas 80,7% dos exames → redução potencial de aproximadamente 19,3% da carga de leitura
Dembrower et al., 2025 (26) (ScreenTrustCAD)	Suécia	Coorte do ensaio <i>ScreenTrustCAD</i> ; mamografias sinalizadas por IA e/ou leitor humano analisadas segundo decisão de <i>recall</i>	Análise da interação humano-IA; comparou exames sinalizados exclusivamente pela IA, exclusivamente pelo radiologista ou por ambos	Os casos sinalizados simultaneamente por IA e radiologista apresentaram maior probabilidade de <i>recall</i> /maior PPV; o estudo demonstra que a origem da sinalização influencia o valor preditivo e a decisão clínica	Não constitui o principal <i>endpoint</i>	Não quantifica diretamente redução global; informa como otimizar seleção de casos e arbitragem humano-IA
Chang et al., 2026 (27) (AI-STREAM)	Coreia do Sul	População prospetiva do ensaio AI-STREAM; análise dos câncros detetados e perdidos durante rastreio assistido por AI-CAD	Estudo observacional/prospetivo; caracterizou câncros detetados e não detetados pela IA em contexto real de rastreio	Avaliou diferenças entre câncros corretamente assinalados e perdidos pela IA, permitindo identificar limitações do AI-CAD segundo características mamográficas/tumoris	Inclui análise dos câncros não identificados pela IA; relevante para compreender falsos negativos e limitações clínicas	Não é um estudo primariamente de <i>workload</i>
Larsen et al., 2024 (28)	Noruega	661 695 exames de 242 629 mulheres; 3 807 câncros <i>screen-detected</i> + 1 110 de intervalo	Estudo retrospectivo do <i>BreastScreen Norway</i> ; avaliou IA <i>stand-alone</i> em diferentes limiares de risco	AUC 0,93 para todos os câncros e 0,97 para <i>screen-detected</i> . Com apenas os 10% de exames de maior risco classificados como positivos, IA identificou 92,0% dos câncros <i>screen-detected</i>	No limiar dos 10% de maior risco, identificou 44,6% (495/1 110) dos câncros de intervalo; no limiar de 50%, 85,2% (946/1 110)	Forte potencial de triagem: num cenário, 90% dos exames seriam classificados como baixo risco, embora isto represente potencial de triagem e não redução prospetiva comprovada de 90%
van Winkel et al., 2025 (29)	Países Baixos	Conjunto internacional de mamografias malignas com	Estudo retrospectivo; caracterizou lesões malignas que originaram <i>recalls</i>	Demonstrou que IA e radiologistas identificam parcialmente	Incluiu lesões malignas não sinalizadas por um dos leitores; relevante para compreender	Não quantificada diretamente

		decisões discrepantes entre IA e leitores humanos	discordantes entre IA e humanos	subconjuntos diferentes de câncros, apoiando uma relação complementar em vez de simples substituição	potenciais câncros perdidos, mas não é uma análise populacional de taxa de intervalo	
Ng et al., 2023 (30)	Reino Unido e Hungria	280 594 casos de 180 542 mulheres, 7 centros, 2 países e 4 fabricantes	Estudo retrospectivo multicêntrico/ <i>multi-vendor</i> ; IA como leitor de apoio: segundo humano só intervém quando IA e primeiro leitor discordam	<i>Workflow</i> IA foi superior ou não inferior em todas as métricas de rastreio comparativamente à dupla leitura humana. Arbitragem caiu de 13% para 2% comparativamente à IA usada como leitor independente	Não foi o <i>endpoint</i> principal	Até 87% de redução dos casos que necessitariam de segundo leitor humano: 245 395/280 594
Byng et al., 2022 (31)	Alemanha	2.396 mulheres com cancro de intervalo	Estudo retrospectivo; mamografias prévias de mulheres posteriormente diagnosticadas com cancro de intervalo num programa nacional/regional organizado de rastreio na Alemanha; avaliação de IA <i>stand-alone</i> para deteção e localização retrospectiva	Dos casos, 15,6% foram classificados como falsos negativos, 19,5% como sinais mínimos, 11,4% ocultos e 53,4% verdadeiros câncros de intervalo. A 99,0% de especificidade, a IA detetou e localizou corretamente 27,5% dos falsos negativos e 12,2% dos casos com sinais mínimos. Entre 228 câncros retrospectivamente visíveis avançados/metastáticos, 21,1% foram identificados pela IA na mamografia anterior.	Sim — <i>outcome</i> central. Foram analisados 2.396 casos de cancro de intervalo; a IA mostrou potencial para identificar antecipadamente uma proporção dos câncros retrospectivamente visíveis.	Não avaliada diretamente como redução percentual de leituras/ <i>workload</i> .
Bergan et al., 2024 (32)	Noruega	99.489 exames de 74.941 mulheres, 2013–2019	Coorte retrospectiva, BreastScreen Norway; avaliação do desempenho de IA segundo a densidade mamária	Sistema de IA com score de malignidade 1–10; desempenho avaliado segundo quatro categorias de densidade Volpara. Estudo demonstra variação do desempenho/distribuição dos scores com a densidade, sendo particularmente relevante para avaliar a heterogeneidade do desempenho da IA segundo densidade mamária.	Avaliados no contexto da coorte, mas o foco principal não é a deteção de câncros de intervalo; não avaliada diretamente.	Não reporta
Gialias et al., 2025 (33)	Suécia	15 468 mamografias digitais de	Estudo retrospectivo de simulação. IA utilizada para triagem: baixo	52/53 câncros <i>screen-detected</i> receberam score IA 8–10.	11 câncros de intervalo; em 3, a IA identificou	34% de redução estimada da carga de trabalho. 10 473/15

		mulheres dos 40–74 anos; 53 câncros <i>screen-detected</i> ; posteriormente identificados 11 câncros de intervalo	risco (scores 1–7) → leitura única; alto risco (8–10) → dupla leitura	Apenas um cancro recebeu score baixo (4), mas foi corretamente detetado pelos radiologistas	corretamente sinais no exame de rastreio anterior	468 exames (67,7%) foram classificados como baixo risco e poderiam receber leitura única
Pedemonte et al., 2024 (34)	Estados Unidos e Reino Unido	Algoritmo treinado em 123 248 mamografias (6 161 câncros); avaliação em 14 831 exames com 1 026 câncros, provenientes de 3 <i>datasets</i> dos EUA/Reino Unido	Estudo retrospectivo multicêntrico. Avaliou sistema semiautônomo de <i>deep learning</i> para excluir exames de baixo risco da leitura e reduzir falsos positivos	Manteve CDR dentro da margem de não inferioridade nos três <i>datasets</i> . No <i>dataset</i> EUA 1, reduziu <i>callbacks</i> falsos positivos em 31,1% e biópsias benignas em 7,4%; reduções também observadas nos restantes <i>datasets</i>	Não foi o objetivo principal	Redução dos exames que requeriam interpretação radiológica de 41,6% no <i>dataset</i> EUA 1, 19,5% no EUA 2 e 36,8% no Reino Unido
Nanaa et al., 2024 (35)	Reino Unido	2.052 mamografias: 514 câncros de intervalo + 1.548 exames normais	Estudo retrospectivo de desempenho de IA <i>stand-alone</i> aplicado a mamografias de rastreio anteriores ao diagnóstico de cancro de intervalo	A 96% de especificidade, a IA identificou 23,5% (121/514) dos câncros de intervalo; destes, 76,9% foram corretamente localizados. A deteção aumentou para 35,2% a um limiar de 89,8% de especificidade e para 49,8% no limiar correspondente a 79% de sensibilidade. Localização correta: 12,6% dos <i>true-negative</i> IC, 46% dos casos com sinais mínimos e 50% dos falsos negativos.	Sim — <i>outcome</i> central. Demonstra potencial de identificação antecipada de aproximadamente 23,5–49,8%, dependendo do limiar operacional utilizado.	Não reporta
Schaffter et al., 2020 (36)	Estados Unidos e Suécia	EUA: 144.231 mamografias de 85.580 mulheres, 952 câncros; validação independente na Suécia: 166.578 exames de 68.008 mulheres, 780 câncros	Estudo de acurácia diagnóstica; <i>DM DREAM Challenge</i> ; desenvolvimento/validação e avaliação independente de algoritmos de <i>deep learning</i> , isoladamente e combinados com radiologistas	Melhor algoritmo: AUC 0,858 (EUA) e 0,903 (Suécia). À sensibilidade dos radiologistas, especificidade da IA: 66,2% e 81,2%, respetivamente. IA + avaliação do radiologista: AUC 0,942 e especificidade 92,0% à mesma sensibilidade, superior à avaliação isolada do radiologista nos EUA.	Não constitui o <i>outcome</i> principal.	Não mede diretamente redução de leituras. A estratégia combinada poderia reduzir <i>recall</i> de 9,5% para 8,0%, diminuindo exames adicionais desnecessários; isto deve ser descrito como potencial redução de <i>recalls</i> , não como redução de <i>workload</i> de leitura.
Larsen et al., 2022 (37)	Noruega	122.969 exames de 47.877 mulheres; 752 câncros detetados no rastreio + 205 câncros de intervalo	Estudo retrospectivo populacional; quatro unidades do <i>BreastScreen Norway</i> ; IA aplicada a rastreio mamográfico real	86,8% (653/752) dos câncros detetados no rastreio e 44,9% (92/205) dos câncros de intervalo receberam score máximo de IA = 10. Num limiar	205 câncros de intervalo; 44,9% receberam score máximo de IA e 30,7% foram selecionados no limiar mais restritivo referido.	Não reporta; explora limiares de seleção que podem sustentar estratégias de integração da IA.

				correspondente aproximadamente à taxa média de seleção de um radiologista, foram selecionados 80,1% dos câncros de rastreio e 30,7% dos câncros de intervalo.		
Eisemann et al., 2025 (38) (PRAIM)	Alemanha	463 094 mulheres, das quais 260 739 rastreadas com suporte de IA; 119 radiologistas, 12 centros alemães	Estudo observacional multicêntrico, prospectivo, de implementação em mundo real e não inferioridade. Comparou dupla leitura apoiada por IA com dupla leitura convencional	CDR com IA 6,7/1000 vs 5,7/1000, aumento de 17,6%. Recall 37,4/1000 vs 38,3/1000, demonstrando não inferioridade. PPV do recall 17,9% vs 14,9%; PPV da biópsia 64,5% vs 59,2%	Não foi o principal endpoint reportado nesta análise	O estudo demonstrou integração real da IA no workflow; não devemos atribuir uma percentagem específica de redução da carga de leitura apenas com base no resumo deste artigo
Yoon et al., 2023 (39)	Coreia do Sul	6 499 mamografias de rastreio, de 5 228 mulheres; 28 câncros	Estudo retrospectivo. Avaliou IA-CAD isolada e o impacto das marcações da IA no workflow de interpretação	IA identificou 5/28 câncros (17,9%) inicialmente interpretados como negativos pelos radiologistas. Recall IA 10,0% vs 3,4% dos radiologistas ($p < 0,001$), com sensibilidade e CDR comparáveis. Das 648 chamadas da IA, 89,0% ocorreram em exames negativos e 41,2% das marcações foram consideradas negligenciáveis	Não foi especificamente um estudo de câncros de intervalo	Não reporta; apesar de detetar câncros adicionais, a IA isolada aumentou significativamente o recall, evidenciando risco de aumento do workload de avaliação
Subelack et al., 2025 (40)	Alemanha	119 casos de cancro de intervalo com avaliação retrospectiva completa por radiologistas e IA	Estudo retrospectivo específico de câncros de intervalo. Comparou sinais retrospectivamente visíveis pelos radiologistas com scores de risco da IA	37/119 (31,1%) classificados como potencialmente perdidos e 82/119 (68,9%) sem alterações retrospectivamente visíveis. IA atribuiu score ≥ 25 a 46,2%, ≥ 50 a 25,2% e ≥ 75 a 13,4% dos casos. Casos potencialmente perdidos tiveram score médio 54,1 vs 23,1	Todos os 119 eram câncros de intervalo. Entre os casos potencialmente perdidos, 48,7% foram classificados como alto risco vs 14,7% dos casos sem alterações visíveis. A IA também sinalizou risco em alguns casos sem anomalia reconhecível pelos radiologistas	Não reporta
Dembrower et al., 2023 (41) (ScreenTrustCAD)	Suécia	55 581 mulheres, 40–74 anos; 269 câncros screen-detected	Estudo prospetivo, populacional, paired-reader, de não inferioridade. Avaliou substituição de um dos dois radiologistas por IA, IA isolada e leitura tripla	Radiologista + IA detetaram 261 câncros vs 250 com dupla leitura humana; proporção relativa 1,04 (IC95% 1,00–1,09), demonstrando não inferioridade. IA isolada: 246 vs 250; leitura tripla: 269 vs 250	Não foi o endpoint principal desta publicação	Substituir um dos dois leitores humanos por IA demonstra potencial direto de redução da leitura humana, embora o artigo não expresse esse benefício como uma percentagem global de workload
Koch et al., 2024 (42)	Noruega	Revisão informada de 270 casos de cancro; análise detalhada de	Estudo retrospectivo do BreastScreen Norway; avaliou se as marcações/localizações da IA correspondiam à	IA localizou corretamente 100% dos câncros screen-detected analisados e 78% (93/120) dos	Sim. Dos 120 câncros de intervalo com score 10, 21% (25/120) eram falsos negativos ou sinais mínimos	Não reporta

		126 <i>screen-detected</i> e 120 câncros de intervalo com score IA 10	localização real do tumor	câncros de intervalo com score 10. Correspondência em ambas as incidências: 79% dos <i>screen-detected</i> e 22% dos intervalares	significativos corretamente localizados pela IA, sugerindo potencial de detecção mais precoce	
Ng et al., 2023 (43)	Hungria	Implementação prospectiva em 3 fases — piloto unicêntrico, piloto multicêntrico e implementação clínica completa	Estudo prospectivo de implementação. IA utilizada como leitor adicional, sinalizando exames para revisão/arbitragem humana adicional	IA permitiu 0,7–1,6 câncros adicionais/1000 exames, com apenas 0,16–0,30% de <i>recalls</i> adicionais e 0–0,23% de <i>recalls</i> desnecessários; PPV aumentou 0,1–1,9%. Dos câncros adicionais, 83,3% eram invasivos e 47,0% ≤ 10 mm	Não foi especificamente um estudo de taxa de câncros de intervalo	Neste <i>workflow</i> houve aumento, e não redução, do <i>workload</i> : 4–6% de carga de leitura adicional, correspondente à revisão humana adicional de 7–11% dos casos sinalizados
Friedewald et al., 2025 (44)	Estados Unidos	1000 participantes recrutadas; análise final: 855, sendo 463 no grupo IA e 392 controle	Estudo prospectivo, randomizado, controlado de implementação. IA priorizou exames para interpretação rápida e investigação diagnóstica no mesmo dia	Tempo médio até imagem adicional: 25,6 $\rightarrow$ 19,1 dias, redução de 25%. Tempo até diagnóstico por biópsia: 55,9 $\rightarrow$ 39,2 dias, redução de 30%. Nos casos priorizados pela IA, o tempo até investigação adicional foi 86% menor. Todos os câncros diagnosticados no estudo foram priorizados pela IA	Não foi desenhado para avaliar câncros de intervalo	Não avaliou redução de carga de leitura. 72% dos exames do grupo IA não foram priorizados e seguiram <i>workflow</i> habitual; o principal benefício foi acelerar o percurso dos casos de maior risco
Oberije et al., 2025 (45) (ARIES)	Reino Unido	306 839 mamografias de 236 739 mulheres, 3 regiões do Reino Unido	Grande estudo retrospectivo multicêntrico. Avaliou duas estratégias de IA como leitor independente: <i>supporting independent reader (sIR)</i> e <i>double reader triage (DRT)</i> , incluindo análise por idade, densidade e etnia	CDR: dupla leitura 8,1/1000, sIR 8,0/1000, DRT 8,0/1000, mantendo não inferioridade. PPV: 18,6% $\rightarrow$ 19,5%/20,0%. <i>Recall</i> : 4,4% $\rightarrow$ 4,1% nos <i>workflows</i> IA	IA <i>stand-alone</i> sinalizou 41,2% dos câncros de intervalo, variando entre 33,3–46,8% nos diferentes subgrupos; maior capacidade de sinalização em mamas densas	39,6–42,5% globalmente; variação por centro/subgrupo de aproximadamente 38,3–43,7%
Hernström et al., 2025 (46) (MASAI)	Suécia	Grande população do ensaio randomizado MASAI; >100 mil mulheres na análise ampliada	Ensaio randomizado, controlado, de não inferioridade; avaliou desempenho do rastreio e características dos câncros detetados com IA vs dupla leitura convencional	O grupo apoiado por IA apresentou maior detecção de câncros clinicamente relevantes sem aumento proporcional de falsos positivos. PPV do <i>recall</i> significativamente superior, razão 1,19 (IC95% 1,04–1,37)	Avaliação de câncros de intervalo pertence ao seguimento subsequente do MASAI; esta publicação centra-se sobretudo no desempenho e características dos câncros <i>screen-detected</i>	44,2% de redução da carga de leitura: 61 248 leitura no grupo IA vs 109 692 no controle
Lauritzen et al., 2024 (47)	Dinamarca	60 751 mulheres antes da IA vs 58 246 após implementação da IA	Estudo de implementação populacional na Dinamarca, comparando rastreio antes e depois da introdução clínica da IA	CDR aumentou de 0,70% para 0,82% ($p=0,01$); falsos positivos diminuíram de 2,39% para 1,63%; PPV aumentou de 22,6% para 33,6%; <i>recall</i> diminuiu 20,5%,	Não constitui a principal análise desta publicação	33,5% de redução da carga de leitura; 66,9% (38 977/58 246) dos exames passaram a leitura única

				de 3,09% para 2,46%. Proporção de pequenos câncros invasivos aumentou de 36,6% para 44,9%		
Lehnen et al., 2026 (48)	Alemanha	15 356 mulheres após exclusões; 115 câncros, dos quais 99 invasivos	Estudo prospectivo observacional. IA utilizada como terceiro leitor adicional à dupla leitura convencional	IA isolada: CDR 0,66% (102/15 356) e AUC 0,94. A leitura tripla detetou 115 câncros, CDR 0,75%. 10/115 câncros (8,7%) foram detetados exclusivamente pela IA, aumentando a detecção em 9,5% relativamente à dupla leitura	Não foi especificamente desenhado para estudar câncros de intervalo	Não reduziu <i>workload</i> , pois a IA funcionou como terceiro leitor; aumentou os casos enviados para consenso e reduziu o PPV dos casos de consenso, mostrando o <i>trade-off</i> entre detecção adicional e carga operacional
Frazer et al., 2024 (49)	Austrália	149 105 episódios de rastreio mamográfico de uma coorte populacional australiana	Estudo retrospectivo de simulação. Comparou diferentes estratégias de integração IA–radiologista: IA autónoma, leitor único assistido por IA, substituição de um leitor, <i>band-pass</i> e triagem	Na estratégia de substituição de um leitor, sensibilidade 82,3% e especificidade 96,3%, versus 79,8% e 96,0% no sistema convencional; +3,1% câncros detetados e –6% falsos positivos. Estratégia <i>band-pass</i> : sensibilidade 81,7%, especificidade 96,6%, +2,4% câncros e –13,3% falsos positivos	Incluídos na avaliação da sensibilidade global; as estratégias de integração reduziram os falsos negativos em até 12,4% na substituição de leitor e 9,3% no modelo <i>band-pass</i>	48% de redução das leituras humanas com substituição de um leitor; 80,7% no modelo <i>band-pass</i> ; 46% na estratégia de triagem
Marinovich et al., 2023 (50)	Austrália	108 970 exames consecutivos de rastreio populacional, <i>BreastScreen Western Australia</i> ; 760 câncros detetados no rastreio e 235 câncros de intervalo	Coorte retrospectiva populacional. Validação externa de algoritmo comercial e simulação da substituição do segundo radiologista por IA	CDR convencional: 6,97/1000. A estratégia simulada IA – radiologista apresentaram CDR ligeiramente inferior, dependente do limiar aplicado; demonstraram potencial para integração da IA mantendo desempenho próximo da dupla leitura	235 câncros de intervalo, identificados por ligação ao registo oncológico; utilizados na avaliação do potencial de detecção adicional pela IA	Redução total das leituras radiológicas entre 37,7% e 48,4% conforme o limiar; até 51,2% em estratégias sem arbitragem
Martiniussen et al., 2025 (51)	Noruega	129 434 exames de rastreio, <i>BreastScreen Norway</i> ; avaliação incluindo 741 câncros detetados no rastreio e 208 câncros de intervalo revistos	Estudo retrospectivo. Comparou dois modelos de <i>deep learning</i> para detecção e localização de cancro em mamografias de rastreio	Ambos os modelos apresentaram AUC 0,93. Modelo A identificou 82,5% dos câncros <i>screen-detected</i> no limiar 1 e 92,4% no limiar 2; modelo B, 81,8% e 93,7%, respetivamente	Na revisão dos 208 câncros de intervalo, 21,6% (45/208) foram identificados na mamografia precedente por um ou ambos os modelos, corretamente localizados e classificados como falsos negativos ou sinais mínimos. Entre os casos identificados pelos modelos, a localização correta foi 82% no modelo A e 79% no B	Não reporta
Marinovich et al., 2025 (52)	Austrália	108 970 exames consecutivos do <i>BreastScreen</i>	Estudo de simulação baseado em coorte clínica real. Avaliou	Com sensibilidade de arbitragem de 100%, CDR máximo	A melhoria do CDR dependeu da capacidade da	Não quantificada como redução de <i>workload</i> ; estudo

		<i>Western Australia</i> ; 20 120 casos discordantes radiologista-IA	diferentes cenários de arbitragem da discordância radiologista-IA e impacto sobre CDR e <i>recall</i>	estimado de 7,30/1000, versus 6,97/1000 no programa convencional. Para >95% de probabilidade de superar o CDR convencional, seria necessária sensibilidade $\geq 63\%$ para câncros de intervalo quando a sensibilidade para câncros <i>screen-detected</i> fosse 100%	arbitragem para recuperar câncros de intervalo presentes nos casos discordantes; sensibilidade necessária para câncros de intervalo variou conforme o cenário ($\geq 63\%$ no cenário de 100% de sensibilidade para câncros <i>screen-detected</i>)	centrado no impacto da arbitragem sobre CDR e <i>recall</i>
Verboom et al., 2025 (53)	Países Baixos	41 469 exames de 15 522 mulheres em programa de rastreio	Estudo retrospectivo. Avaliou estratégia híbrida em que a IA decide autonomamente apenas quando apresenta elevada confiança; casos incertos permanecem em dupla leitura radiológica	Estratégia híbrida: <i>recall</i> 23,6% versus 23,9% na dupla leitura; CDR 6,6% em ambas. AUC da IA: 0,87 nos casos incertos versus 0,96 nos casos considerados confiantes	Não reportado como <i>outcome</i> específico principal	Apenas 61,9% dos exames necessitaram leitura radiológica, correspondendo a uma redução potencial de aproximadamente 38,1% da carga de exames submetidos a radiologistas, mantendo CDR e <i>recall</i> semelhantes
Larsen et al., 2026 (54)	Noruega	117 709 exames de rastreio, 47 840 mulheres, <i>BreastScreen Norway</i> ; 737 câncros detetados no rastreio e 200 câncros de intervalo	Coorte retrospectiva. Comparou duas versões (1.7 e 2.1) do algoritmo comercial <i>Transpara</i> em mamografias de rastreio	Para câncros <i>screen-detected</i> : AUC 0,949 na versão 1.7 e 0,976 na 2.1 ($p < 0,001$). Considerando câncros <i>screen-detected</i> + intervalo: AUC 0,908 vs 0,928 ($p < 0,001$). Score máximo atribuído a 87,1% vs 93,5% dos câncros <i>screen-detected</i>	200 câncros de intervalo; score máximo de IA em 45,0% (90/200) na versão 1.7 e 44,5% (89/200) na versão 2.1	Não reporta
Sandler Rahat et al., 2025 (55)	Israel	31 176 mamografias interpretadas entre 2017–2021: 24 373 antes e 6 803 após implementação de IA	Estudo observacional de implementação clínica <i>real-world</i> . Comparou indicadores de desempenho antes e após integração do iCAD v2.0 no <i>workflow</i> mamográfico	CDR global aumentou de 6,2/1000 em 2019 para 9,3/1000 em 2021; proporção de câncros detetados na mamografia aumentou para 98,4%; taxa de falsos negativos no rastreio das mulheres 50–74 anos diminuiu de 13% para 0%; detecção de estágio I atingiu 100%	Não reportados separadamente como <i>outcome</i> específico	Não reporta; estudo avaliou principalmente indicadores clínicos antes/depois da implementação

Desempenho diagnóstico da inteligência artificial

Os estudos incluídos demonstraram, de forma consistente, que os algoritmos de inteligência artificial apresentam elevado desempenho diagnóstico na interpretação de mamografias de rastreio. As áreas sob a curva ROC (AUC) variaram entre 0,86 e 0,96, enquanto a sensibilidade foi frequentemente superior a 80%, atingindo valores

próximos dos 95% em alguns estudos (2–4, 8, 13, 15–16, 18, 20–22, 24, 27–29, 36, 40, 45, 48, 51, 53–54).

Apesar da variabilidade entre algoritmos e populações, observou-se consistência nos resultados, com elevado desempenho em diferentes programas de rastreio e plataformas mamográficas. Em vários estudos multicêntricos e de validação externa, a IA apresentou

desempenho comparável ou, em determinados contextos, superior ao de radiologistas individuais, particularmente quando integrada em estratégias de leitura assistida ou modelos híbridos (1–4, 8–9, 15–19, 22–23, 30, 36, 38, 40–41, 45–50, 53–55).

Os estudos evidenciaram igualmente que a integração da inteligência artificial com a interpretação do radiologista pode melhorar o desempenho diagnóstico em determinados modelos de leitura, beneficiando da complementaridade entre a avaliação humana e algorítmica. Em diferentes estratégias, esta combinação permitiu aumentar a deteção de lesões suspeitas ou manter níveis adequados de sensibilidade e especificidade, embora o impacto nos falsos positivos e na taxa de reconvocação tenha variado consoante o algoritmo, o limiar utilizado e o modelo de integração adotado (1, 8–9, 15–19, 22–23, 30, 36, 38, 40–41, 45–50, 52–55). Globalmente, os estudos demonstraram elevado desempenho diagnóstico da IA em diferentes algoritmos, populações e contextos de rastreio, embora com heterogeneidade nas métricas reportadas e nas estratégias de integração clínica.

Deteção retrospectiva de cancro de intervalo

Um dos achados mais relevantes entre os estudos incluídos foi a capacidade da inteligência artificial para identificar retrospectivamente sinais associados a cancros de intervalo em mamografias inicialmente interpretadas como negativas. Diversos estudos demonstraram que os algoritmos foram capazes de atribuir classificações de risco elevado ou localizar alterações suspeitas em exames anteriores ao diagnóstico, sugerindo que, em parte destes casos, já existiam sinais imagiológicos potencialmente identificáveis (2, 5–7, 9–10, 14, 21–23, 28, 31, 35, 37, 40, 42, 45, 50–52, 54).

A proporção de cancros de intervalo sinalizados retrospectivamente pela IA variou consideravelmente entre os estudos, em função do algoritmo, dos limiares de decisão, da definição de cancro de intervalo e da metodologia utilizada. Byng *et al.* demonstraram que, a 99,0%

de especificidade, a IA detetou e localizou corretamente 27,5% dos casos classificados retrospectivamente como falsos negativos e 12,2% dos casos com sinais mínimos (31). Nanaa *et al.* observaram que, a 96% de especificidade, a IA identificou 23,5% dos cancros de intervalo, aumentando esta proporção com a utilização de limiares menos restritivos (35). Larsen *et al.* verificaram que 44,9% dos 205 cancros de intervalo avaliados receberam o score máximo de IA (37). Adicionalmente, Martiniussen *et al.* identificaram retrospectivamente sinais associados ao cancro em 21,6% dos 208 cancros de intervalo avaliados, enquanto Larsen *et al.*, numa análise posterior de diferentes versões de um algoritmo comercial, observaram atribuição do score máximo a aproximadamente 45% dos 200 cancros de intervalo, sem diferenças substanciais entre as duas versões avaliadas (51, 54).

Importa salientar que estes resultados não significam que a IA seja capaz de prever o desenvolvimento futuro de um cancro, mas sim que consegue reconhecer sinais imagiológicos discretos já presentes em algumas mamografias previamente classificadas como negativas. Esta distinção é fundamental para uma interpretação adequada dos resultados e para evitar sobrestimar as capacidades atuais destes sistemas.

Impacto da inteligência artificial na carga de trabalho e na implementação clínica

Para além do desempenho diagnóstico, vários estudos avaliaram o impacto da inteligência artificial na organização dos programas de rastreio mamográfico e na prática clínica. Em diferentes modelos de integração, nomeadamente estratégias de triagem, leitura assistida, modelos híbridos e substituição parcial de leitores, a utilização da IA permitiu reduzir o número de mamografias que necessitavam de dupla interpretação humana, contribuindo para uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis (1, 5, 7, 9, 11, 17, 19, 25, 30, 33–34, 38, 41, 45–47, 49–50, 53).

A magnitude da redução da carga de leitura variou substancialmente de acordo com a

estratégia de implementação adotada. Nos estudos que quantificaram diretamente este resultado, observaram-se reduções relevantes da necessidade de leitura humana, mantendo, em vários modelos, desempenho diagnóstico próximo ou comparável ao da leitura convencional. Frazer *et al.* estimaram reduções de 48% das leituras humanas com a substituição de um leitor e superiores em determinadas estratégias simuladas de seleção de exames, enquanto Marinovich *et al.* observaram reduções aproximadamente entre 37,7% e 48,4%, dependendo do limiar utilizado. Verboom *et al.* demonstraram ainda que uma estratégia híbrida, reservando a leitura radiológica para os casos em que a IA apresentava menor confiança, poderia evitar a leitura humana de aproximadamente 38,1% dos exames, mantendo taxas de detecção e reconvocação semelhantes às da dupla leitura (49–50, 53).

Contudo, o impacto da IA na carga de trabalho não foi uniforme entre os estudos e dependeu fortemente do modelo de integração. Enquanto estratégias de triagem, leitura única seletiva, modelos híbridos ou substituição parcial de leitores permitiram reduções substanciais da carga de leitura, outros modelos, nomeadamente a utilização da IA como leitor adicional ou terceiro leitor, aumentaram o número de casos sujeitos a revisão ou consenso humano (22, 43, 48–50, 52–53).

Os estudos de implementação demonstraram, assim, que a inteligência artificial apresenta potencial para otimizar os fluxos de trabalho dos programas de rastreio, mas que o benefício organizacional depende da estratégia de integração, dos limiares utilizados e da necessidade de revisão humana dos exames sinalizados. Estudos realizados em contexto clínico real reforçam a importância da validação externa e da monitorização contínua após implementação, uma vez que o desempenho e o impacto organizacional podem variar entre populações, programas e modelos de integração (1, 17, 19, 22–23, 30, 38, 41, 43, 45–50, 52–55).

DISCUSSÃO

Os resultados desta revisão sistemática demonstram que a inteligência artificial (IA) apresenta elevado potencial para apoiar a interpretação da mamografia de rastreio, com desempenho diagnóstico globalmente comparável ao dos radiologistas em diferentes contextos clínicos. Diversos estudos demonstraram valores elevados de discriminação diagnóstica e desempenho consistente em populações distintas, embora com variações relacionadas com o algoritmo utilizado, as características da população, a densidade mamária e o modelo de integração da IA no fluxo de trabalho (2–4, 13, 15, 19, 22, 28, 38, 41, 45, 49–51, 53–55). Os estudos mais recentes reforçam, contudo, que o desempenho da IA não deve ser interpretado isoladamente, uma vez que o seu impacto clínico depende da estratégia de integração adotada e da interação estabelecida entre o algoritmo e os leitores humanos.

A comparação direta entre IA e radiologistas deve, contudo, ser interpretada com cautela. Embora alguns algoritmos tenham demonstrado desempenho semelhante ou superior ao de leitores individuais em determinadas métricas, estes resultados não significam necessariamente que a IA possa substituir de forma autónoma a interpretação humana. O desempenho depende dos limiares de decisão utilizados e do contexto em que o algoritmo é aplicado, podendo ganhos de sensibilidade ser acompanhados por alterações na especificidade, taxa de reconvocação ou necessidade de arbitragem (2, 8, 11, 15, 17, 19, 22, 41, 45, 49, 53).

A densidade mamária constitui igualmente um fator relevante na interpretação destes resultados. Alguns estudos demonstraram variações no desempenho dos algoritmos entre diferentes categorias de densidade, evidenciando a importância da validação em populações heterogêneas. Estas diferenças reforçam a necessidade de evitar a generalização do desempenho observado numa determinada população para contextos distintos sem validação externa adequada (3, 12–13, 32, 45).

Um dos resultados particularmente relevantes desta revisão relaciona-se com a capacidade da IA para identificar sinais associados a câncros de intervalo em mamografias previamente interpretadas como negativas. Diferentes estudos demonstraram que os algoritmos podem atribuir scores elevados ou localizar alterações suspeitas em exames anteriores ao diagnóstico, incluindo em casos posteriormente classificados como câncros de intervalo (2, 5–7, 9–10, 14, 21–23, 28, 31, 35, 37, 40, 42, 45, 50–52, 54). Os resultados mais recentes reforçam esta capacidade, embora revelem variabilidade considerável entre algoritmos, limiares de decisão e critérios utilizados para classificar retrospectivamente os achados. Martiniussen *et al.* identificaram sinais associados ao cancro em cerca de um quinto dos câncros de intervalo avaliados, enquanto Larsen *et al.* demonstraram que aproximadamente 45% destes casos receberam o score máximo de IA em duas versões sucessivas de um algoritmo comercial (51, 54).

Contudo, a identificação retrospectiva destes sinais não deve ser interpretada como capacidade de previsão do desenvolvimento futuro de cancro. Em muitos casos, a IA identifica alterações imagiológicas discretas já presentes no exame anterior, algumas das quais podem não ser clinicamente acionáveis no momento do rastreio. Além disso, a atribuição de um score elevado não implica necessariamente que a lesão fosse suficientemente evidente para justificar reconvocação, nem que a sua deteção antecipada modificasse o desfecho clínico. Assim, embora estes resultados sugiram uma oportunidade potencial para reduzir diagnósticos tardios, permanece necessário demonstrar prospectivamente se a utilização da IA se traduz numa redução efetiva da incidência de câncros de intervalo e, sobretudo, numa melhoria de *outcomes* clinicamente relevantes (14, 21, 35, 40, 42, 51, 54).

Neste contexto, os resultados mais recentes de estudos prospetivos, populacionais e de implementação em contexto clínico real assumem particular relevância. Ensaio e estudos de grande

dimensão demonstraram que a integração da IA pode aumentar ou manter a deteção de cancro com taxas de falsos positivos ou reconvocação comparáveis, ou mesmo inferiores, às estratégias convencionais. Os resultados do MASAI e de outros estudos de implementação em larga escala reforçam a viabilidade da utilização da IA em programas organizados de rastreio (1, 23, 38, 41, 45–47). Adicionalmente, estudos observacionais de implementação real, como o de Sandler Rahat *et al.*, sugerem melhorias em determinados indicadores de deteção após a introdução da IA, embora desenhos antes-depois não permitam atribuir causalidade exclusivamente ao algoritmo e devam ser interpretados considerando possíveis alterações temporais na população, organização e prática clínica (55).

A integração de modelos híbridos, combinando IA e leitura humana, emerge como uma das abordagens mais promissoras identificadas na literatura atual. Estratégias em que a IA funciona como apoio à decisão, instrumento de triagem ou substituto seletivo de um dos leitores demonstraram capacidade para manter ou melhorar o desempenho diagnóstico, ao mesmo tempo que permitem reorganizar os fluxos de leitura (1, 7–9, 11, 17, 19, 25, 30, 33–34, 38, 41, 45–50, 53). Estudos recentes demonstram, contudo, que não existe uma única estratégia ótima de integração: o equilíbrio entre sensibilidade, especificidade, reconvocação e eficiência depende dos limiares definidos para a IA e dos exames que permanecem sujeitos à interpretação humana. Os resultados de Frazer *et al.*, Marinovich *et al.* e Verboom *et al.* ilustram precisamente esta dependência do modelo de integração, mostrando que diferentes estratégias podem produzir ganhos distintos em desempenho e eficiência (49–50, 53).

Os estudos que avaliaram especificamente a carga de trabalho demonstraram uma variabilidade considerável no impacto organizacional. Dependendo da estratégia adotada, foram reportadas reduções substanciais do número de exames que necessitam de leitura humana, através da triagem de exames, leitura

única seletiva, substituição parcial de leitores ou modelos baseados na confiança atribuída pela IA (1, 5, 7, 9, 17, 19, 25, 30, 33–34, 45–50, 53). Nos estudos mais recentes, Frazer *et al.* demonstraram que diferentes *pathways* de integração podem produzir reduções muito distintas da carga de leitura, enquanto Marinovich *et al.* e Verboom *et al.* observaram reduções relevantes da necessidade de interpretação humana em estratégias específicas (49–50, 53). Estes resultados sugerem que a IA poderá contribuir para responder à crescente pressão assistencial e à escassez de profissionais especializados, mas a magnitude do benefício não deve ser generalizada entre diferentes modelos de implementação.

Contudo, esta redução da carga de trabalho não deve ser interpretada exclusivamente como um benefício operacional. O impacto depende fortemente da forma como a IA é integrada no fluxo clínico. Alguns modelos podem aumentar a necessidade de arbitragem, consenso ou revisão adicional, particularmente quando a IA funciona como leitor adicional ou quando apresenta discordância com a interpretação humana (11, 21–22, 43, 48, 52). A análise de estratégias de arbitragem da discordância entre radiologista e IA demonstra que o benefício clínico depende da capacidade de resolver adequadamente estes casos sem aumentar de forma desproporcionada a reconvocação ou a carga de revisão humana (52). Assim, a implementação da IA poderá redefinir progressivamente o papel do radiologista, promovendo uma transição de leitor primário em determinados exames para supervisor clínico e decisor final em sistemas assistidos por algoritmos. Esta reconfiguração exige formação adequada, protocolos claros de responsabilidade clínica e monitorização contínua do desempenho.

Adicionalmente, modelos que incorporam estratégias de triagem, seleção de exames com base em scores de IA e limiares diferenciados demonstraram potencial para otimizar o equilíbrio entre sensibilidade, especificidade e eficiência do rastreio (7, 9, 11, 19, 25, 30, 33–34, 45, 49–50, 53).

Estas abordagens podem permitir uma utilização mais seletiva dos recursos humanos e adaptar a intensidade da leitura à classificação atribuída pelo algoritmo. Contudo, os resultados dos diferentes modelos demonstram que a escolha do limiar constitui uma decisão clínica e organizacional, uma vez que ganhos de eficiência podem implicar alterações na sensibilidade, especificidade ou reconvocação. A heterogeneidade dos modelos avaliados e a predominância de avaliações retrospectivas ou simuladas limitam a comparação direta entre estratégias e reforçam a necessidade de validação prospetiva.

Importa igualmente reconhecer algumas limitações da presente revisão sistemática. A inclusão exclusiva de estudos publicados em língua inglesa poderá ter conduzido à exclusão de evidência relevante publicada noutras línguas. Adicionalmente, a heterogeneidade metodológica dos estudos incluídos, nomeadamente ao nível dos desenhos de estudo, populações avaliadas, algoritmos utilizados, versões dos algoritmos, estratégias de integração, limiares de decisão e métricas reportadas, dificultou a comparação direta dos resultados e inviabilizou a realização de uma meta-análise quantitativa. A predominância de estudos retrospectivos e a presença de estudos que avaliaram cenários simulados de integração clínica a partir de dados reais limitam igualmente a extrapolação de alguns resultados para a implementação prospetiva em programas populacionais de rastreio.

A heterogeneidade observada não parece resultar de um único fator, mas da combinação de diferenças entre populações, prevalência da doença, densidade mamária, fabricantes e sistemas de aquisição, algoritmos utilizados, limiares de decisão e modelos de integração da IA. Estudos de validação externa demonstraram que o desempenho pode variar quando os algoritmos são aplicados a populações distintas daquelas em que foram originalmente desenvolvidos, reforçando a importância da

validação local antes da implementação clínica generalizada (3, 13, 15, 20, 28, 32, 45).

Da análise do conjunto de estudos incluídos nesta revisão, é possível perceber que persistem igualmente desafios relacionados com custo-efetividade, interoperabilidade tecnológica e integração com os sistemas PACS e infraestruturas existentes, bem como com a sustentabilidade a longo prazo da implementação em programas nacionais de rastreio. A maioria dos estudos concentra-se predominantemente em métricas de desempenho diagnóstico e eficiência do fluxo de trabalho, enquanto análises económicas, organizacionais e de impacto a longo prazo permanecem comparativamente menos representadas na literatura avaliada.

Para além das considerações técnicas e organizacionais, a integração da IA no rastreio mamográfico levanta questões éticas e regulatórias relevantes. A definição da responsabilidade clínica em casos de erro diagnóstico assistido por IA permanece um desafio, particularmente em modelos híbridos nos quais a decisão final resulta da interação entre algoritmo e radiologista. A transparência dos modelos, a explicabilidade das decisões algorítmicas e a monitorização contínua do desempenho são aspetos fundamentais para garantir a segurança do doente e a confiança institucional. Adicionalmente, a utilização de dados para treino e validação exige conformidade rigorosa com os princípios de proteção de dados e equidade, minimizando o risco de viés algorítmico em diferentes grupos populacionais (45).

Em síntese, a evidência atual sustenta o potencial da IA para melhorar a deteção precoce do cancro da mama e otimizar os fluxos de trabalho em programas organizados de rastreio. Os estudos prospetivos, ensaios randomizados e experiências de implementação em larga escala constituem um avanço importante relativamente à evidência inicialmente dominada por estudos retrospectivos, demonstrando a viabilidade clínica de diferentes modelos de integração da IA (1, 23, 38, 41, 43, 45–48). Contudo, a heterogeneidade metodológica, as diferenças entre algoritmos e

populações e a necessidade de avaliar desfechos clínicos a longo prazo justificam cautela na generalização dos resultados. Estudos prospetivos multicêntricos, com avaliação de cancros de intervalo, mortalidade, custo-efetividade e impacto organizacional, serão fundamentais para consolidar o papel da IA no rastreio mamográfico.

CONCLUSÃO

A evidência analisada nesta revisão sistemática demonstra que a inteligência artificial apresenta elevado potencial para apoiar o rastreio mamográfico, com desempenho diagnóstico globalmente comparável ao dos radiologistas em diferentes contextos e potencial para melhorar a deteção do cancro da mama. A integração da IA em modelos de leitura assistida, triagem seletiva e estratégias híbridas poderá contribuir para otimizar os fluxos de trabalho e, em determinados modelos de implementação, reduzir a carga de leitura, mantendo níveis adequados de desempenho diagnóstico.

A capacidade demonstrada por alguns sistemas de IA para identificar sinais associados a cancros de intervalo em mamografias previamente interpretadas como negativas constitui igualmente um resultado relevante. Contudo, a identificação retrospectiva desses sinais não implica necessariamente que todos estes casos pudessem ter sido diagnosticados mais precocemente na prática clínica, sendo necessária evidência prospetiva que confirme o impacto da IA na redução efetiva dos cancros de intervalo e nos desfechos clínicos.

Apesar dos resultados promissores, a heterogeneidade entre algoritmos, populações, desenhos de estudo e estratégias de implementação limita a generalização dos resultados. A crescente evidência proveniente de ensaios randomizados, estudos prospetivos e experiências de implementação em larga escala reforça a viabilidade da integração da IA no rastreio mamográfico, mas a sua adoção deverá ser acompanhada por validação externa,

monitorização contínua do desempenho e definição clara dos modelos de integração e responsabilidade clínica.

A inteligência artificial deverá, assim, ser entendida como uma ferramenta complementar à decisão clínica, com potencial para reforçar, e não substituir de forma indiscriminada, a intervenção do radiologista. Estudos prospetivos multicêntricos, com avaliação de desfechos clínicos a longo prazo, cancros de intervalo, custo-efetividade e impacto organizacional, serão fundamentais para consolidar o seu papel e garantir uma implementação segura, eficaz e sustentável nos programas de rastreio mamográfico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lång K, Josefsson V, Larsson AM, Larsson S, Högberg C, Sartor H, et al. Artificial intelligence-supported screen reading versus standard double reading in the Mammography Screening with Artificial Intelligence trial (MASAI): a clinical safety analysis of a randomised, controlled, non-inferiority, single-blinded, screening accuracy study. *Lancet Oncol.* 2023;24(8):936–944. doi:10.1016/S1470-2045(23)00298-X.
2. Kühl J, Elhakim MT, Stougaard SW, Rasmussen BSB, Nielsen M, Gerke O, et al. Population-wide evaluation of artificial intelligence and radiologist assessment of screening mammograms. *Eur Radiol.* 2024;34(6):3935–3946. doi:10.1007/s00330-023-10423-7.
3. Kwon MR, Chang Y, Ham SY, Cho Y, Kim EY, Kang J, et al. Screening mammography performance according to breast density: a comparison between radiologists versus standalone intelligence detection. *Breast Cancer Res.* 2024;26(1):68. doi:10.1186/s13058-024-01821-w.
4. Waugh J, Evans J, Miocevic M, Lockie D, Aminzadeh P, Lynch A, Bell RJ. Performance of artificial intelligence in 7533 consecutive prevalent screening mammograms from the BreastScreen Australia program. *Eur Radiol.* 2024;34(6):3947–3957. doi:10.1007/s00330-023-10396-7.
5. Seker ME, Koyluoglu YO, Ozaydin AN, Gurdal SO, Ozcinar B, Cabioglu N, et al. Diagnostic capabilities of artificial intelligence as an additional reader in a breast cancer screening program. *Eur Radiol.* 2024;34(9):6145–6157. doi:10.1007/s00330-024-10661-3.
6. Hovda T, Larsen M, Bergan MB, Gjesvik J, Akslen LA, Hofvind S. Retrospective evaluation of a CE-marked AI system, including 1,017,208 mammography screening examinations. *Eur Radiol.* 2025;35(9):5685–5694. doi:10.1007/s00330-025-11521-4.
7. Lauritzen AD, Rodríguez-Ruiz A, von Euler-Chelpin MC, Lyng E, Vejborg I, Nielsen M, et al. An Artificial Intelligence-based Mammography Screening Protocol for Breast Cancer: Outcome and Radiologist Workload. *Radiology.* 2022;304(1):41–49. doi:10.1148/radiol.210948.
8. Hickman SE, Payne NR, Black RT, Huang Y, Priest AN, Hudson S, et al. Deep Learning Algorithms for Breast Cancer Detection in a UK Screening Cohort: As Stand-alone Readers and Combined with Human Readers. *Radiology.* 2024;313(2):e233147. doi:10.1148/radiol.233147.
9. Hickman SE, Payne NR, Black RT, Huang Y, Priest AN, Hudson S, et al. Mammography Breast Cancer Screening Triage Using Deep Learning: A UK Retrospective Study. *Radiology.* 2023;309(2):e231173. doi:10.1148/radiol.231173.
10. van Winkel SL, Peters J, Janssen N, Kroes J, Loehrer EA, Gommers J, et al. AI as an independent second reader in detection of clinically relevant breast cancers within a population-based screening programme in the Netherlands: a retrospective cohort study. *Lancet Digit Health.* 2025;7(8):100882. doi:10.1016/j.landig.2025.100882.
11. Elhakim MT, Stougaard SW, Graumann O, Nielsen M, Gerke O, Larsen LB, Rasmussen BSB. AI-integrated screening to replace double reading of mammograms: a population-wide accuracy and feasibility study. *Radiol Artif Intell.* 2024;6(6):e230529. doi:10.1148/ryai.230529.
12. Ha SM, Jang MJ, Youn I, Yoen H, Ji H, Lee SH, et al. Screening outcomes of mammography with AI in dense breasts: a comparative study with supplemental screening US. *Radiology.* 2024;312(1):e233391. doi:10.1148/radiol.233391.
13. Graham-Knight JB, Liang P, Lin W, Wright Q, Shen H, Mar C, et al. External testing of a commercial AI algorithm for breast cancer detection at screening mammography. *Radiol Artif Intell.* 2025;7(3):e240287. doi:10.1148/ryai.240287.
14. Çelik L, Güner DC, Özçağlayan Ö, Çubuk R, Arıbal ME. Diagnostic performance of two versions of an artificial intelligence system in interval breast cancer detection. *Acta Radiol.* 2023;64(11):2891–2897. doi:10.1177/02841851231200785.
15. Hsu W, Hippe DS, Nakhaei N, Wang PC, Zhu B, Siu N, et al. External validation of an ensemble model for automated mammography interpretation by artificial intelligence. *JAMA Netw Open.* 2022;5(11):e2242343. doi:10.1001/jamanetworkopen.2022.42343.
16. Smith SJ, Bradley SA, Walker-Stabeller K, Sifakas M. A prospective analysis of screen-detected cancers recalled and not recalled by artificial intelligence. *J Breast Imaging.* 2024;6(4):378–387. doi:10.1093/jbi/wbae027.
17. Sharma N, Ng AY, James JJ, Khara G, Ambrózay É, Austin CC, et al. Multi-vendor evaluation of artificial intelligence as an independent reader for double

- reading in breast cancer screening on 275,900 mammograms. *BMC Cancer*. 2023;23(1):460. doi:10.1186/s12885-023-10890-7.
18. Lee SE, Hong H, Kim EK. Diagnostic performance with and without artificial intelligence assistance in real-world screening mammography. *Eur J Radiol Open*. 2024;12:100545. doi:10.1016/j.ejro.2023.100545.
 19. Leibig C, Brehmer M, Bunk S, Byng D, Pinker K, Umutlu L. Combining the strengths of radiologists and AI for breast cancer screening: a retrospective analysis. *Lancet Digit Health*. 2022;4(7):e507–e519. doi:10.1016/S2589-7500(22)00070-X.
 20. Riveira-Martin M, Rodríguez-Ruiz A, Martí R, Chevalier M. Multi-vendor robustness analysis of a commercial artificial intelligence system for breast cancer detection. *J Med Imaging (Bellingham)*. 2023;10(5):051807. doi:10.1117/1.JMI.10.5.051807.
 21. Heywang-Köbrunner SH, Hacker A, Jänsch A, Hertlein M, Mieskes C, Elsner S, et al. Use of novel artificial intelligence computer-assisted detection (AI-CAD) for screening mammography: an analysis of 17,884 consecutive two-view full-field digital mammography screening exams. *Acta Radiol*. 2023;64(10):2697–2703. doi:10.1177/02841851231187382.
 22. Elhakim MT, Stougaard SW, Graumann O, Nielsen M, Lång K, Gerke O, Larsen LB, Rasmussen BSB. Breast cancer detection accuracy of AI in an entire screening population: a retrospective, multicentre study. *Cancer Imaging*. 2023;23(1):127. doi:10.1186/s40644-023-00643-x.
 23. Gommers J, Hernström V, Josefsson V, Sartor H, Schmidt D, Hjelmgren A, et al. Interval cancer, sensitivity, and specificity comparing AI-supported mammography screening with standard double reading without AI in the MASAI study: a randomised, controlled, non-inferiority, single-blinded, population-based, screening-accuracy trial. *Lancet*. 2026;407(10527):505–514. doi:10.1016/S0140-6736(25)02464-X.
 24. Kim H, Choi JS, Kim K, Ko ES, Ko EY, Han BK. Effect of artificial intelligence-based computer-aided diagnosis on the screening outcomes of digital mammography: a matched cohort study. *Eur Radiol*. 2023;33(10):7186–7198. doi:10.1007/s00330-023-09692-z.
 25. Yala A, Schuster T, Miles R, Barzilay R, Lehman C. A Deep Learning Model to Triage Screening Mammograms: A Simulation Study. *Radiology*. 2019;293(1):38–46. doi:10.1148/radiol.2019182908.
 26. Dembrower KE, Crippa A, Eklund M, Strand F. Human-AI Interaction in the ScreenTrustCAD Trial: Recall Proportion and Positive Predictive Value Related to Screening Mammograms Flagged by AI CAD versus a Human Reader. *Radiology*. 2025;314(3):e242566. doi:10.1148/radiol.242566.
 27. Chang YW, Ryu JK, An JK, Choi N, Park YM, Ko KH. Breast Cancers Detected and Missed by AI-CAD: Results from the AI-STREAM Trial. *Radiol Artif Intell*. 2026;8(1):e250281. doi:10.1148/ryai.250281.
 28. Larsen M, Olstad CF, Lee CI, Hovda T, Hoff SR, Martiniussen MA, et al. Performance of an Artificial Intelligence System for Breast Cancer Detection on Screening Mammograms from BreastScreen Norway. *Radiol Artif Intell*. 2024;6(3):e230375. doi:10.1148/ryai.230375.
 29. van Winkel SL, Sechopoulos I, Rodríguez-Ruiz A, Veldkamp WJH, Gennaro G, Chevalier M, et al. An Exploration of Discrepant Recalls Between AI and Human Readers of Malignant Lesions in Digital Mammography Screening. *Diagnostics (Basel)*. 2025;15(12):1566. doi:10.3390/diagnostics15121566.
 30. Ng AY, Glocker B, Oberije C, Fox G, Sharma N, James JJ, et al. Artificial Intelligence as Supporting Reader in Breast Screening: A Novel Workflow to Preserve Quality and Reduce Workload. *J Breast Imaging*. 2023;5(3):267–276. doi:10.1093/jbi/wbad010.
 31. Byng D, Strauch B, Gnas L, Leibig C, Stephan O, Bunk S, Hecht G. AI-based prevention of interval cancers in a national mammography screening program. *Eur J Radiol*. 2022;152:110321. doi:10.1016/j.ejrad.2022.110321.
 32. Bergan MB, Larsen M, Moshina N, Bartsch H, Koch HW, Aase HS, et al. AI performance by mammographic density in a retrospective cohort study of 99,489 participants in BreastScreen Norway. *Eur Radiol*. 2024;34(10):6298–6308. doi:10.1007/s00330-024-10681-z.
 33. Gialias P, Wiberg MK, Brehl AK, Bjerner T, Gustafsson H. The use of artificial intelligence (AI) to safely reduce the workload of breast cancer screening: a retrospective simulation study. *Acta Radiol*. 2025;66(11):1165–1173. doi:10.1177/02841851251356176.
 34. Pedemonte S, Tsue T, Mombourquette B, Truong Vu YN, Matthews T, Morales Hoil R, et al. A Semiautonomous Deep Learning System to Reduce False Positives in Screening Mammography. *Radiol Artif Intell*. 2024;6(3):e230033. doi:10.1148/ryai.230033.
 35. Nanaa M, Gupta VO, Hickman SE, Allajbeu I, Payne NR, Arponen O, Black R, Huang Y, Priest AN, Gilbert FJ. Accuracy of an Artificial Intelligence System for Interval Breast Cancer Detection at Screening Mammography. *Radiology*. 2024;312(2):e232303. DOI: 10.1148/radiol.232303.
 36. Schaffter T, Buist DSM, Lee CI, et al. Evaluation of Combined Artificial Intelligence and Radiologist Assessment to Interpret Screening Mammograms. *JAMA Netw Open*. 2020;3(3):e200265. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.0265.
 37. Larsen M, Aglen CF, Lee CI, Hoff SR, Lund-Hanssen H, Lång K, Nygård JF, Ursin G, Hofvind S. Artificial Intelligence Evaluation of 122 969 Mammography Examinations from a Population-based Screening

- Program. *Radiology*. 2022;303(3):502–511. DOI: 10.1148/radiol.212381.
38. Eisemann N, Bunk S, Mukama T, Baltus H, Elsner SA, Gomille T, et al. Nationwide real-world implementation of AI for cancer detection in population-based mammography screening. *Nat Med*. 2025;31(3):917–924. doi:10.1038/s41591-024-03408-6.
 39. Yoon JH, Han K, Suh HJ, Youk JH, Lee SE, Kim EK. Artificial intelligence-based computer-assisted detection/diagnosis (AI-CAD) for screening mammography: Outcomes of AI-CAD in the mammographic interpretation workflow. *Eur J Radiol Open*. 2023;11:100509. doi:10.1016/j.ejro.2023.100509.
 40. Subelack J, Morant R, Blum M, Gräwingholt A, Vogel J, Geissler A, Ehlig D. Retrospective evaluation of interval breast cancer screening mammograms by radiologists and AI. *Eur Radiol*. 2026;36(2):824–836. doi:10.1007/s00330-025-11833-5.
 41. Dembrower K, Crippa A, Colón E, Eklund M, Strand F; ScreenTrustCAD Trial Consortium. Artificial intelligence for breast cancer detection in screening mammography in Sweden: a prospective, population-based, paired-reader, non-inferiority study. *Lancet Digit Health*. 2023;5(10):e703–e711. doi:10.1016/S2589-7500(23)00153-X.
 42. Koch HW, Larsen M, Bartsch H, Martiniussen MA, Styr BM, Fagerheim S, Haldorsen IHS, Hofvind S. How do AI markings on screening mammograms correspond to cancer location? An informed review of 270 breast cancer cases in BreastScreen Norway. *Eur Radiol*. 2024;34(9):5744–5753. doi:10.1007/s00330-024-10662-2.
 43. Ng AY, Oberije CJG, Ambrózy É, Szabó E, Serfőző O, Karpati E, et al. Prospective implementation of AI-assisted screen reading to improve early detection of breast cancer. *Nat Med*. 2023;29(12):3044–3049. doi:10.1038/s41591-023-02625-9.
 44. Friedewald SM, Sieniek M, Jansen S, Mahvar F, Kohlberger T, Schacht DV, et al. Triaging mammography with artificial intelligence: an implementation study. *Breast Cancer Res Treat*. 2025;211(1):1–10. doi:10.1007/s10549-025-07616-7.
 45. Oberije CJG, Currie R, Leaver A, Redman A, Teh W, Sharma N, et al. Assessing artificial intelligence in breast screening with stratified results on 306 839 mammograms across geographic regions, age, breast density and ethnicity: A Retrospective Investigation Evaluating Screening (ARIES) study. *BMJ Health Care Inform*. 2025;32(1):e101318. doi:10.1136/bmjhci-2024-101318.
 46. Hernström V, Josefsson V, Sartor H, Schmidt D, Larsson AM, Hofvind S, et al. Screening performance and characteristics of breast cancer detected in the Mammography Screening with Artificial Intelligence trial (MASAI): a randomised, controlled, parallel-group, non-inferiority, single-blinded, screening accuracy study. *Lancet Digit Health*. 2025;7(3):e175–e183. doi:10.1016/S2589-7500(24)00267-X.
 47. Lauritzen AD, Lillholm M, Lynge E, Nielsen M, Karssemeijer N, Vejborg I. Early Indicators of the Impact of Using AI in Mammography Screening for Breast Cancer. *Radiology*. 2024;311(3):e232479. doi:10.1148/radiol.232479.
 48. Lehnen T, Polenske D, Wichtmann BD, Lehnen NC. AI software as a third reader in breast cancer screening—a prospective diagnostic observational study. *Eur Radiol*. 2026;36(6):4478–4488. doi:10.1007/s00330-026-12359-0.
 49. Frazer HML, Peña-Solorzano CA, Kwok CF, Elliott MS, Chen Y, Wang C, et al. Comparison of AI-integrated pathways with human-AI interaction in population mammographic screening for breast cancer. *Nat Commun*. 2024;15(1):7525. doi:10.1038/s41467-024-51725-8.
 50. Marinovich ML, Wylie E, Lotter W, Lund H, Waddell A, Madeley C, et al. Artificial intelligence (AI) for breast cancer screening: BreastScreen population-based cohort study of cancer detection. *EBioMedicine*. 2023;90:104498. doi:10.1016/j.ebiom.2023.104498.
 51. Martiniussen MA, Larsen M, Hovda T, Kristiansen MU, Dahl FA, Eikvil L, et al. Performance of Two Deep Learning-based AI Models for Breast Cancer Detection and Localization on Screening Mammograms from BreastScreen Norway. *Radiol Artif Intell*. 2025;7(3):e240039. doi:10.1148/ryai.240039.
 52. Marinovich ML, Lotter W, Waddell A, Houssami N. Simulated arbitration of discordance between radiologists and artificial intelligence interpretation of breast cancer screening mammograms. *J Med Screen*. 2025;32(1):48–52. doi:10.1177/09691413241262960.
 53. Verboom SD, Kroes J, Pires S, Broeders MJM, Sechopoulos I. AI Should Read Mammograms Only When Confident: A Hybrid Breast Cancer Screening Reading Strategy. *Radiology*. 2025;316(2):e242594. doi:10.1148/radiol.242594.
 54. Larsen M, Lee CI, Bergan MB, Holen ÅS, Lund-Hanssen H, Hoff SR, et al. Performance across different versions of an artificial intelligence model for screen-reading of mammograms. *Eur Radiol*. 2026;36(6):4422–4433. doi:10.1007/s00330-025-12240-6.
 55. Sandler Rahat H, Friehmann T, Shemesh MD, Tamir S, Atar E, Shochat T, et al. Early Results of Using AI in Mammography Screening for Breast Cancer. *J Clin Med*. 2025;14(21):7886. doi:10.3390/jcm14217886.

Exposição ocupacional na preparação e administração de radiofármacos nas terapêuticas com radionuclídeos: revisão da literatura.

Occupational exposure in the preparation and administration of radiopharmaceuticals for radionuclide therapies: literature review.

Diogo Francisco Marcão Guerra ¹, ORCID: 0009-0004-5885-0486

Tiago Xavier Silva ¹, ORCID: 0009-0007-3151-1611

Susana Catarina Monteiro Valente ^{1,2}, ORCID: 0000-0002-2460-2191

Maria João Furtado Raminhas Carapinha ¹, ORCID: 0000-0002-3343-6500

¹ ESSL- Escola Superior de Saúde de Lisboa. Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal

² Serviço de Medicina Nuclear, Hospital Lusíadas Lisboa. Lisboa, Portugal

Autor(a) para Correspondência:

Susana Catarina Monteiro Valente

susana.valente@essl.ipl.pt

Informação Editorial:

Tipologia: Revisão Sistemática

Data de receção: 11 maio 2026

Data de aprovação: 05 agosto 2026

RESUMO

Introdução: A Medicina Nuclear tem registado uma expansão significativa no âmbito das terapêuticas com radionuclídeos, aumentando o potencial de exposição ocupacional (ExpOcup) dos profissionais envolvidos na preparação e administração de radiofármacos terapêuticos. O objetivo é compilar e sistematizar a evidência disponível sobre a ExpOcup à radiação dos profissionais de saúde em terapêuticas com radionuclídeos, identificando os principais fatores influenciadores e estratégias de proteção radiológica.

Metodologia: Foi realizada uma revisão da literatura, de acordo com a metodologia PRISMA, na base de dados PubMed, que incluiu artigos publicados nos últimos 10 anos, até 28/02/2026. Foram considerados estudos sobre terapêuticas com radiofármacos marcados com [¹⁷⁷Lu] ou [¹³¹I], ExpOcup, dosimetria e métodos de administração.

Resultados: Foram incluídos 5 estudos. A ExpOcup demonstrou variar em função do radionuclídeo utilizado, da atividade administrada, do método de administração e das práticas de radioproteção

adotadas. Os resultados evidenciaram que procedimentos com maior manipulação direta do radiofármaco ou maior proximidade ao doente tendem a estar associados a maior exposição, sobretudo ao nível das extremidades. A utilização de barreiras, aventais de chumbo, sistemas automatizados ou métodos que reduzam o contacto direto com o radiofármaco revelou-se relevante para diminuir a ExpOcup.

Conclusão: A ExpOcup em terapêuticas com radionuclídeos depende de múltiplos fatores técnicos e operacionais. A escolha do método de administração, a otimização dos procedimentos e o cumprimento rigoroso dos princípios de proteção radiológica são fundamentais para reduzir a dose recebida pelos profissionais. Contudo, a heterogeneidade metodológica dos estudos limita a comparação direta dos resultados, evidenciando a necessidade de investigação adicional.

PALAVRAS-CHAVE

Teranóstica; [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE; [^{131}I]-MIBG; Exposição Ocupacional; Dosimetria; Terapêutica com Radionuclídeos; Revisão Sistemática

ABSTRACT

Introduction: Nuclear Medicine has undergone significant growth in the field of radionuclide therapies, increasing the potential occupational exposure (OcupExp) of professionals involved in the preparation and administration of therapeutic radiopharmaceuticals. The aim is to compile and systematize the available evidence on occupational radiation exposure of healthcare professionals in radionuclide therapies, identifying the main influencing factors and radiation protection strategies.

Methodology: A literature review, according to the PRISMA methodology, was conducted using the PubMed database, including articles published in the last 10 years, up to 28/02/2026. Studies addressing therapies with radiopharmaceuticals labelled with [^{177}Lu] or [^{131}I], OcupExp, dosimetry and administration methods were considered.

Results: Five studies were included. OcupExp varied according to the radionuclide used, administered activity, administration method and radiation protection practices adopted. The results showed that procedures involving greater direct handling of the radiopharmaceutical or closer proximity to the patient tend to be associated with higher exposure, particularly to the extremities. The use of shielding, lead aprons, automated systems or methods that reduce direct contact with the radiopharmaceutical proved relevant in reducing occupational exposure.

Conclusion: OcupExp in radionuclide therapies depends on multiple technical and operational factors. The choice of administration method, optimisation of procedures and strict compliance with radiation protection principles are essential to reduce the dose received by professionals. However, the methodological heterogeneity of the studies limits direct comparison of results, highlighting the need for further investigation.

KEYWORDS

Theranostic; [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE; [^{131}I]-MIBG; Occupational Radiation Exposure; Dosimetry; Radionuclide Therapy; Systematic Review

INTRODUÇÃO

A Medicina Nuclear (MN) é uma área em constante evolução que, para além do seu papel consolidado no diagnóstico com radiofármacos (RF) tem apresentado progressos significativos no âmbito da terapêutica com RF, principalmente, e com destaque na abordagem teranóstica que integra diagnóstico e terapêutica através da utilização do mesmo alvo molecular (1,2).

A abordagem teranóstica permite uma estratégia terapêutica personalizada baseada na expressão de recetores ou vias metabólicas específicas (2). Esta abordagem encontra-se amplamente demonstrada em tumores neuroendócrinos (TNE), através de pares teranósticos, nomeadamente pares perfeitos, como metaiodobenzilguanidina marcada com Iodo-123 (^{123}I)-MIBG) para fins diagnósticos e marcada com Iodo-131 (^{131}I)-MIBG) para aplicação terapêutica, e pares imperfeitos, como Gálio-68-DOTA-TATE/TOC/NOC (^{68}Ga)-DOTA-TATE/TOC/NOC) para diagnóstico e de Lutécio-177-DOTA-TATE (^{177}Lu)Lu-DOTA-TATE) para terapêutica direcionada aos recetores da somatostatina. De igual forma, no cancro da próstata metastático, no qual o par [^{68}Ga] / [^{177}Lu] conjugado ao ligando do antigénio específico da membrana prostática (PSMA, do inglês *Prostate Specific Membrane Antigen*), tem evidenciado resultados clínicos relevantes (1).

Vários estudos (1,3–6) documentam um crescimento significativo, entre 2011 e 2021, na aplicação clínica destas terapias, evidencia-se como exemplo o Reino Unido que teve um aumento de 231% no número de procedimentos terapêuticos com RF administrados.

Ao integrar diagnóstico e terapêutica através do mesmo alvo molecular, a teranóstica em MN tem contribuído de forma determinante para a

expansão da aplicação clínica destas abordagens terapêuticas, permitindo a estimativa da toxicidade potencial e a monitorização da resposta à terapêutica (7). O efeito terapêutico resulta da emissão de partículas Beta menos (β^-), Alfa (α) ou de eletrões Auger, cuja interação nos tecidos alvo causa danos no ácido desoxirribonucleico (ADN) (8). Por outro lado, os RF terapêuticos com emissão de radiação gama (γ), permitem aquisição de imagem para seguimento terapêutico, bem como para fins de dosimetria clínica (8). A terapia alvo proporciona a deposição de radiação ionizante de alta energia e baixa penetração no tumor, garantindo um efeito citotóxico dirigido e preservando os tecidos saudáveis circundantes (9,10). Prevê-se que o desenvolvimento da teranóstica continue a acentuar-se, uma vez que grande parte dos RF terapêuticos em investigação ainda se encontra em fase de ensaios clínicos. Neste contexto, tem existido um foco crescente nas terapias alfa dirigidas, nomeadamente com RF marcados com Chumbo-212 (^{212}Pb) e Actínio-225 (^{225}Ac), devido ao seu elevado potencial citotóxico. As partículas α apresentam elevada transferência linear de energia e curto alcance tecidual, permitindo induzir dano irreparável no ADN das células tumorais, com menor irradiação dos tecidos saudáveis adjacentes. Esta característica torna estas terapêuticas particularmente relevantes em doença metastática, micrometástases ou tumores resistentes a terapias β (11–14).

O [^{131}I] e o [^{177}Lu], são, atualmente, os principais radionuclídeos utilizados na terapêutica em Portugal, no contexto da teranóstica. A Tabela 1 apresenta as principais características físicas destes radionuclídeos, relevantes para a sua aplicação clínica.

Tabela 1- Principais características físicas de radionuclídeos utilizados em MN em Portugal (15)

Radionuclídeo	Tempo de semi-vida física ($T_{1/2}$)	Dcaimento principal	Energia da emissão β (máx.)	Energia da emissão γ (principal)	Eletrões Auger por decaimento
^{131}I	8,02 dias	β^- com emissão γ associada	≈ 606 keV	364 keV ($\approx 82\%$)	Insignificante
^{177}Lu	6,65 dias	β^- com emissão γ associada	≈ 497 keV	113 keV (6,4%), 208 keV (11%)	1,12 eletrões Energia <25 keV

A atividade administrada em terapêuticas com radionuclídeos é significativamente superior comparativamente às usadas em diagnóstico. Consequentemente, a exposição ocupacional pode ser mais elevada quando se utilizam radionuclídeos com emissão γ associada, sobretudo quando apresentam picos energéticos superiores aos habitualmente usados em diagnóstico. Adicionalmente, em caso de contaminação, a maior atividade manipulada e a emissão de radiação β^- ou α traduz-se numa maior probabilidade do risco de exposição a radiações ionizantes para os profissionais (16). Neste contexto, os profissionais devem assegurar a aplicação rigorosa de proteção radiológica com o propósito de manter a dose de exposição abaixo dos limites legalmente estabelecidos (7, 16). Face ao crescimento do número das terapêuticas com radionuclídeos e consequente aumento do potencial de exposição ocupacional, torna-se essencial compreender os riscos associados aos principais RF usados em Portugal e as medidas de proteção radiológica aplicáveis. Assim, justifica-se a necessidade de revisão de evidência disponível, de forma a apoiar a otimização das práticas e a proteção radiológica dos profissionais.

Define-se como objetivo compilar, analisar criticamente e sistematizar a informação disponível sobre a exposição ocupacional à radiação dos profissionais de saúde no âmbito das terapêuticas com radionuclídeos. Adicionalmente, procura identificar os principais fatores que influenciam essa exposição, bem como as medidas e estratégias de proteção radiológica reportadas na literatura para a mitigação da exposição ocupacional.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente revisão sistemática foi conduzida em conformidade com as diretrizes metodológicas estabelecidas pela *checklist Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)*. Foi realizada com recurso à base de dados *PubMed*, com o objetivo de identificar estudos relevantes sobre terapêutica com RF, dosimetria e exposição ocupacional em MN. A estratégia de pesquisa baseou-se na combinação de palavras-chave com recurso a operadores booleanos, dividida em quatro temas principais: teranóstica; dosimetria; exposição ocupacional a radiação ionizante; métodos de administração de RF. O período temporal das publicações nos últimos 10 anos, até 28/02/2026.

Referente ao domínio da dosimetria e exposição ocupacional, a chave de pesquisa foi: ("occupational exposure" OR "staff dose") AND (dosimetry OR "extremity dose" OR "finger dose" OR "annual doses") AND "nuclear medicine". Foram ainda realizadas pesquisas complementares com termos específicos como "[^{177}Lu]", "[^{131}I]", "alpha particles", "beta particles" e "auger electrons". No domínio dos métodos de administração, foi utilizada a seguinte estratégia: ("therapeutic radiopharmaceuticals" OR "radionuclide therapy") AND (infusion OR administration OR "delivery method") AND (gravity method OR infusion pump OR syringe).

Como critérios de inclusão foram considerados estudos científicos, artigos, relatórios sobre terapêuticas com RF marcados com [^{177}Lu] ou [^{131}I], exposição ocupacional, propriedades físicas de radionuclídeos e métodos de administração.

Foram selecionados apenas artigos em inglês, publicados nos últimos 10 anos. Os critérios de exclusão foram estudos, artigos e relatórios, apenas dirigidos à vertente diagnóstica de MN, publicações sem acesso ao texto integral e artigos de revisão.

A seleção final foi realizada por dois revisores, através da análise de títulos, resumo e texto integral.

Garantiram-se os princípios éticos de investigação.

RESULTADOS

A pesquisa realizada identificou um total de 213 artigos, sendo 205 no domínio da dosimetria e exposição ocupacional, 8 no domínio dos métodos de administração. Após a aplicação dos critérios de inclusão e de exclusão obteve-se uma amostra final de 5 artigos (Figura 1).

A Tabela 2 apresenta as características dos estudos selecionados, como: publicados entre 2018 e 2024, país onde decorreu o estudo, variáveis em estudo, radionuclídeo(s) estudado(s), parâmetros avaliados e principais resultados obtidos.

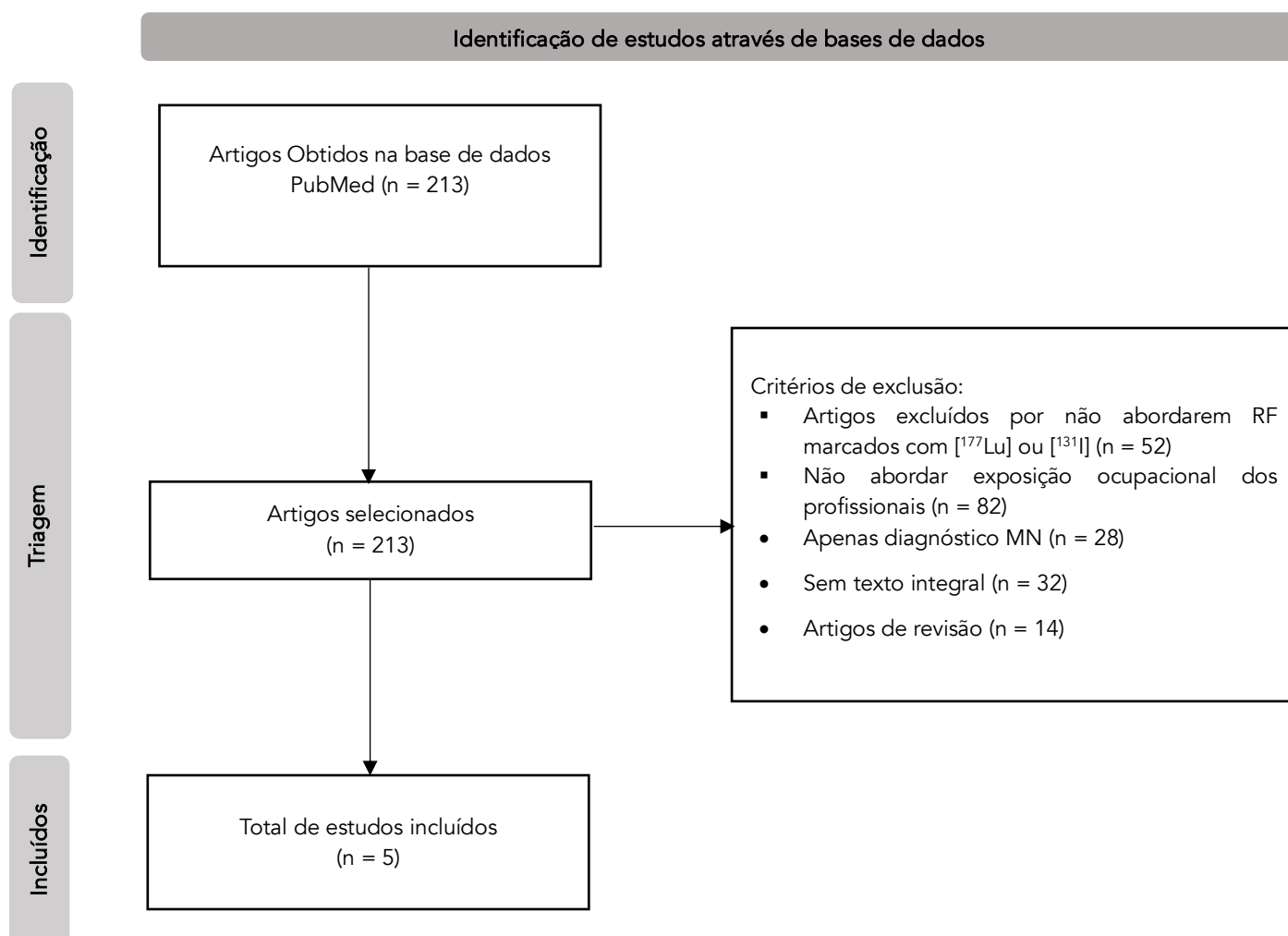


Figura 1 – Fluxograma representativo do método de pesquisa para a escolha dos artigos da revisão sistemática.

Tabela 2 – Caracterização dos estudos no domínio da dosimetria, da exposição ocupacional e métodos de administração

Autor (ano)	País	Variável em estudo	Radionuclídeo	Parâmetros avaliados	Principais resultados obtidos
Abuqbeith M et al. (2018) (17)	Alemanha	Comparação entre [¹⁷⁷ Lu]Lu-DOTA-TATE e [¹⁷⁷ Lu]Lu-PSMA-617 e a sua contribuição para a exposição ocupacional.	[¹⁷⁷ Lu]	Dose efetiva e dose equivalente de extremidades, no momento da administração do RF, comparação entre [¹⁷⁷ Lu]Lu-PSMA-617 e [¹⁷⁷ Lu]Lu-DOTA-TATE.	- Os profissionais envolvidos na preparação do RF apresentaram uma dose efetiva média de 4 µSv, tanto para o [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617 como para o [¹⁷⁷Lu]Lu-DOTA-TATE. Já a dose nas extremidades por doente registou valores de 31 e 33 µSv para estes RF, respetivamente. - Nos profissionais envolvidos na administração, a dose efetiva média de 6 e 5 µSv, para o [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617 e para o [¹⁷⁷Lu]Lu-DOTA-TATE, respetivamente. A dose nas extremidades, por doente, atingiu 3 µSv em ambos os RF. - A distância ao doente demonstrou exercer influência direta na exposição ocupacional em terapêuticas com [¹⁷⁷Lu]. Em particular, foram reportados valores de dose de $6,5 \pm 1,9 \mu\text{Sv}\cdot\text{GBq}^{-1}$ a 1 metro, diminuindo para $3,2 \pm 1,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{GBq}^{-1}$ a 2 metros, no caso do [¹⁷⁷Lu]Lu-DOTA-TATE; e de $7,1 \pm 1,9 \mu\text{Sv}\cdot\text{GBq}^{-1}$ para $3,6 \pm 0,9 \mu\text{Sv}\cdot\text{GBq}^{-1}$, respetivamente, no caso do [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617. - As doses do staff foram medidas com dosímetros termoluminescentes (TLD, do inglês <i>Thermoluminescent Dosimeters</i>).
Khalili N et al. (2022) (18)	Irão	Avaliação das doses anuais dos profissionais e qual a importância da proteção radiológica durante o manuseamento de RF.	[¹³¹ I]	Dose absorvida no momento de preparação e administração do RF com e sem avental de Pb.	- As doses médias anuais nos dedos, medidas com recurso a TLD, foram de $15,8 \text{ mGy}\cdot\text{ano}^{-1}$ e no cristalino $1,23 \text{ mGy}\cdot\text{ano}^{-1}$, valores significativamente superiores nos restantes órgãos avaliados. - Na tiroide, o tórax e as gónadas, as doses médias anuais foram de $0,6 \text{ mGy}\cdot\text{ano}^{-1}$, $0,63 \text{ mGy}\cdot\text{ano}^{-1}$ e $0,17 \text{ mGy}\cdot\text{ano}^{-1}$, respetivamente. Com a utilização de aventais de Pb, verificou-se uma redução destas doses para $0,3 \text{ mGy}\cdot\text{ano}^{-1}$ na tiroide, $0,46 \text{ mGy}\cdot\text{ano}^{-1}$, no tórax e $0,09 \text{ mGy}\cdot\text{ano}^{-1}$ nas gónadas. - O uso de aventais de chumbo (Pb) durante a preparação e administração reduziu a dose no tórax em 28%.
Riveira-Martin M et al. (2023) (10)	Espanha	Exposição radiológica dos profissionais durante a administração de [¹⁷⁷ Lu]Lu-DOTA-TATE.	[¹⁷⁷ Lu]	Dose efetiva no momento da administração de [¹⁷⁷ Lu]Lu-DOTA-TATE, com e sem avental de Pb. Variação da exposição ao longo do procedimento de administração.	- Dose efetiva normalizada por atividade administrada, medida por dosímetros de leitura direta variou entre 0,41 e $1,11 \mu\text{Sv}\cdot\text{GBq}^{-1}$. - Dose equivalente nas extremidades, normalizada, por atividade administrada medida com dosímetros TLD de anel variou entre 7,8 e $108,8 \mu\text{Sv}\cdot\text{GBq}^{-1}$. - Dose equivalente média estimada no cristalino, normalizada por atividade administrada, medida por TLD variou entre 1,76 [1,0 - 2,53] e 2,02 [1,84 - 2,20] $\mu\text{Sv}\cdot\text{GBq}^{-1}$, para diferentes profissionais. - Verificaram que, em dois profissionais avaliados, o uso de aventais de Pb reduziu a média da taxa da dose máxima e a dose acumulada em 71 e

69% num dos profissionais, e em 56% e 68% no outro, respetivamente.

- A medição da taxa de dose instantânea durante todo o período de administração do radiofármaco permitiu concluir que os maiores períodos de exposição coincidiram com o período do início da administração do RF, com taxas de $60 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ e com o final da injeção, no momento da desconexão dos sistemas de injeção, em que a taxa de dose instantânea variou entre os 15 e $50 \mu\text{Sv.h}^{-1}$.
- Adicionalmente, à monitorização de dose efetiva com TLD, foram usados dosímetros de leitura direta. A utilização destes permitiu a avaliação de variações ao longo do procedimento, observando-se valores mais elevados no início da infusão e no momento de desconexão dos sistemas.

Este aumento de exposição corresponde aos períodos em que os profissionais se encontram mais próximos do doente.

Struelens L et al. (2024) (19)	Bélgica, Suíça, Espanha, Itália, Países Baixos	Contribuição dos RF com $[^{68}\text{Ga}]$, $[^{177}\text{Lu}]$ e $[^{131}\text{I}]$ na exposição radiológica dos profissionais	$[^{177}\text{Lu}]$ e $[^{131}\text{I}]$	Percentagem de dose nas extremidades comparativamente a outros radionuclídeos	▪ Através de uma comparação entre dois profissionais de saúde que realizam administrações de $[^{177}\text{Lu}]$, e cuja atividade deste radioisótopo representa 3% da atividade anual administrada por ambos, demonstrou-se que a dose nas extremidades, medida por TLD de anel, representou 24% e 83% da sua dose total anual. As doses máximas médias em extremidades, normalizadas por atividade manipulada, foram de $30 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$ e $260 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$ para o $[^{177}\text{Lu}]$ e $[^{131}\text{I}]$, respetivamente. ▪ As doses corporais totais médias permaneceram abaixo de $60 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$ para os dois isótopos e abaixo de $200 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$ para a dose no cristalino. ▪ A variação da exposição ocupacional depende do radionuclídeo usado e da tarefa realizada, podendo sobre esta última incidir a diferente formação académica existente em cada país.
Donzé C et al. (2024) (20)	França	Comparação da exposição ocupacional na administração de $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-DOTA-TATE}$ com diferentes métodos de administração	$[^{177}\text{Lu}]$	Dose efetiva dos profissionais de acordo como métodos de administração. Valores de exposição com e sem utilização de avental de Pb.	▪ Foi avaliada a exposição ocupacional associada à administração de $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-DOTA-TATE}$ utilizando dois métodos distintos: seringa infusora e bomba peristáltica. Os valores médios de exposição não evidenciaram diferenças estatisticamente significativas entre os métodos. ▪ No método com seringa infusora, registaram-se valores médios de $H_p(10)$ de $2,57 \pm 1,29 \mu\text{Sv}$ e de $H_p(0,07)$ de $2,66 \pm 1,51 \mu\text{Sv}$, no método com bomba peristáltica os valores médios foram de $H_p(10)$ de $3,01 \pm 1,87 \mu\text{Sv}$ e $H_p(0,07)$ de $3,30 \pm 2,08 \mu\text{Sv}$. ▪ Os profissionais utilizaram aventais de Pb com 0,5 mm de Pb e um escudo móvel com 20 mm de Pb, medidas que foram determinantes na redução da exposição ocupacional.

- Descrevem os incidentes associados a cada método, evidenciando que a administração por seringa infusora se revelou mais suscetível a eventos adversos, incluindo contaminações major. Um dos incidentes ocorreu devido ao colapso do septo do frasco durante a dispensa do RF para a seringa infusora, resultando numa contaminação significativa. A descontaminação subsequente, bem como o custo associado à perda de RF, mostrou-se mais complexa, implicando acréscimo de exposição para os profissionais envolvidos na descontaminação.

DISCUSSÃO

A introdução da terapêutica com iodo radioativo na década de 1940 marcou não apenas o início das aplicações clínicas deste RF, mas também o estabelecimento de práticas que, ainda hoje, implicam a exposição ocupacional relevante para os profissionais envolvidos, considerando as características físicas do [^{131}I] (8)

Nos últimos anos o [^{177}Lu] tem vindo a ocupar maior destaque face às suas características físicas favoráveis. Comparativamente ao [^{131}I], apresenta menor energia de emissão β^- , resultando num menor alcance das partículas nos tecidos o que contribui para a menor toxicidade nos tecidos saudáveis. Adicionalmente, a emissão de fótons γ do [^{177}Lu] apresenta menor energia e menor abundância relativa, reduzindo o potencial de exposição externa e permitindo simultaneamente a aquisição de imagem para seguimento terapêutico e dosimetria clínica (21, 22)

Verifica-se (Tabela 2) que os estudos incluídos nesta revisão são notoriamente heterogêneos, tanto nas variáveis analisadas como nos parâmetros considerados. Observa-se ainda que, em alguns estudos, parâmetros como a dose efetiva, determinada por dosimetria com TLD, são normalizados por doente ou por atividade administrada. Noutros estudos, procederam à conversão de dose efetiva em dose absorvida, como no estudo de Khalili *et al.* (18).

Considerando os resultados, dos estudos realizados nos diferentes países (Tabela 2) em que decorreram os estudos, verificou-se que os valores

de exposição ocupacional descritos não ultrapassam os valores limite regulamentados, quer de corpo inteiro, quer de extremidades (10, 17-20)

Os resultados desta revisão, apenas incluiu um número limitado de estudos relativos ao [^{131}I], entre o qual o trabalho conduzido por Khalili *et al.* (18), no qual procuraram estimar a exposição ocupacional. Foi avaliada a dose absorvida recebida pelos profissionais durante a preparação e administração de RF, considerando a eficácia do uso de aventais de Pb. Para avaliar a redução da exposição assegurada pelo avental, foram colocados TLD na região torácica, sobre e sob o avental de Pb, permitindo comparar a dose recebida com e sem a atenuação pelo equipamento de proteção. Verificou-se que a utilização do avental durante a preparação e administração de [^{131}I] resultou numa redução de 28% da dose na região torácica.

Estes resultados são relevantes, contudo, e tal como mencionado pelos autores, o uso de aventais Pb em MN permanece controversa, devido à produção de raios X característicos em materiais de elevado número atómico e à elevada capacidade de penetração dos raios γ . Neste contexto, uma das limitações deste estudo prende-se com não ter sido avaliada a eventual contribuição da radiação de *Bremsstrahlung*, resultante da perda de energia cinética de partículas carregadas, na exposição ocupacional associada ao uso aventais de Pb (23). O estudo não menciona que tipo de terapêuticas são realizadas com este radionuclídeo. A sua

aplicação terapêutica pode ser realizada de acordo com diferentes indicações e abordagens. Por exemplo, o $[^{131}\text{I}]$ -Iodeto de sódio é habitualmente administrado por via oral, já o $[^{131}\text{I}]$ -MIBG é administrado por via endovenosa, habitualmente com recurso a seringa infusora (24–26). As etapas de verificação de atividade, preparação e administração do RF são diferentes, podendo contribuir de forma distinta para a exposição ocupacional do profissional.

Os restantes estudos identificados referem-se ao $[^{177}\text{Lu}]$, entre estes, Donzé C et al. (20) e Riveira-Martin M et al. (10) avaliaram o impacto da utilização de aventais de Pb na exposição ocupacional durante a administração de $[^{177}\text{Lu}]$ Lu-DOTA-TATE. Também neste caso, se coloca a questão anteriormente mencionada, embora os aventais de Pb promovam a atenuação dos fotões γ , podem aumentar a radiação dispersa e de *Bremsstrahlung*, contribuindo para o aumento da exposição ocupacional, como referido por He X. et al. (27). Neste contexto, a sua eficácia na redução da exposição pode ser limitada.

Donzé C et al. (20) avaliaram, igualmente, a exposição ocupacional associada à administração de $[^{177}\text{Lu}]$ Lu-DOTA-TATE, utilizando dois métodos diferentes, os resultados demonstraram ausência de diferenças estatísticas significativas. O método de administração por seringa infusora apresentou valores médios de exposição ligeiramente inferiores aos da bomba peristáltica, contudo tais diferenças são pouco relevantes quando considerados os incidentes associados. De facto, a maior suscetibilidade da seringa infusora a incidentes, como contaminações, pode originar fontes adicionais de exposição, nomeadamente durante os procedimentos de descontaminação. Um dos incidentes descritos neste trabalho envolveu o colapso do septo do frasco durante a dispensa do RF para a seringa, resultando na sua perda e numa contaminação significativa. Neste contexto, embora os níveis médios de exposição sejam semelhantes entre os métodos, a bomba peristáltica poderá constituir uma opção operacionalmente mais segura, a escolha do método de administração deve considerar não só

os valores médios de dose, mas também o risco de eventos adversos e as implicações para a segurança radiológica.

Riveira-Martin M et al. (10), usaram dosímetros de leitura direta no seu estudo, como complemento aos TLD, com o objetivo caracterizar a variação da exposição ao longo de todo o processo de administração do RF. Os resultados demonstraram que a exposição ocupacional não é uniforme, apresentando valores mais elevados em momentos críticos, nomeadamente no início da administração ($\approx 60 \mu\text{Sv.h}^{-1}$) e na fase de desconexão do sistema ($15 - 50 \mu\text{Sv.h}^{-1}$). Estes picos refletem períodos de maior proximidade do profissional ao doente e ao sistema de administração, confirmando a influência direta da distância na exposição ocupacional. Assim, estas etapas constituem os pontos críticos para a otimização da proteção radiológica, devendo ser privilegiadas estratégias como o aumento da distância, a utilização de dispositivos de extensão para a manipulação, a diminuição do tempo de contacto com a fonte e o reforço de barreiras de proteção. Adicionalmente, destacam a importância de uma avaliação dinâmica da exposição, que permita identificar os momentos de maior exposição e, com isso a identificação e implementação de medidas de proteção mais adequadas.

De acordo com o estudo de Abuqbeith M et al. (17), a exposição ocupacional associada à preparação e administração de RF marcados com $[^{177}\text{Lu}]$, apresenta diferenças entre as várias etapas do procedimento. Durante a preparação, os autores observaram que os profissionais envolvidos na preparação do RF apresentaram uma dose efetiva média de $4 \mu\text{Sv}$, tanto para o $[^{177}\text{Lu}]$ Lu-PSMA-617 como para o $[^{177}\text{Lu}]$ Lu-DOTA-TATE. Já a dose nas extremidades registou valores de 31 e $33 \mu\text{Sv}$ por doente para estes RF, respetivamente. Comparando com os profissionais envolvidos na administração a dose efetiva média foi ligeiramente maior de 6 e $5 \mu\text{Sv}$, para o $[^{177}\text{Lu}]$ Lu-PSMA-617 e para o $[^{177}\text{Lu}]$ Lu-DOTA-TATE, respetivamente. O valor da dose nas extremidades por doente foi de $3 \mu\text{Sv}$ para ambos

os RF. Os autores não descrevem qual foi o método de administração dos RF usados e por isso apenas se consegue identificar os momentos em que os profissionais são mais expostos. Os autores (17) avaliaram ainda a influência da distância aos doentes na exposição ocupacional, no qual verificaram, como seria de esperar, uma redução na dose com o aumento da distância. Usando 1 metro e 2 metros como referência, para o $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-DOTA-TATE}$, os valores diminuíram de $6,5 \pm 1,9 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$ a 1 metro para $3,2 \pm 1,1 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$ a 2 metros, no $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-PSMA-617}$ diminuíram de $7,1 \pm 1,9 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$ para $3,6 \pm 0,9 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$, imediatamente após a administração. Struelens L et al. (18) conduziram um estudo dosimétrico prospetivo, multicêntrico, com o objetivo de avaliar a exposição ocupacional associada à manipulação de RF marcados com $[^{177}\text{Lu}]$ e $[^{131}\text{I}]$ durante a prática clínica, incluíram também os RF marcados com $[^{68}\text{Ga}]$, embora estes não sejam alvo da presente revisão. Os autores (18) recorreram a um conjunto adicional de múltiplos dosímetros, para além dos utilizados pelos profissionais, os quais eram selecionados em função do radionuclídeo em uso e das tarefas desempenhadas. A monitorização teve em consideração as diferentes etapas do procedimento — preparação, dispensa e administração do RF — bem como a atividade manipulada. Esta abordagem permitiu uma avaliação mais precisa da contribuição da exposição ocupacional associada a cada radionuclídeo e ao tipo de atividade realizada. Este estudo multicêntrico, que envolveu seis hospitais de diferentes países, evidenciou uma variabilidade significativa na dose das extremidades entre instituições para o mesmo radionuclídeo. Esta variabilidade foi, em grande parte, explicada pelas diferenças de tarefas específicas realizadas. Por exemplo, os resultados demonstraram que a utilização de sistemas automatizados de síntese e dispensa contribui para uma redução significativa da exposição. Adicionalmente, os autores (18) destacaram a variabilidade na formação académica dos profissionais, contudo, o reduzido número de

participantes por categoria profissional não permitiu estabelecer conclusões robustas quanto ao impacto nos níveis de dose observados. Com base na administração de $[^{177}\text{Lu}]$, os autores (18) verificaram que a dose nas extremidades foi entre 7 e 25 vezes superior à associada a outros radionuclídeos. Esta estimativa, contudo, baseia-se apenas em dois hospitais, cuja atividade é predominantemente centrada em Tecnécio-99 metastável ($[^{99\text{m}}\text{Tc}]$) e Flúor-18 ($[^{18}\text{F}]$). Nos profissionais que preparam/dispensam $[^{177}\text{Lu}]$, a manipulação representa 40 - 90% da atividade total, mas apenas 5 - 25% da dose nas extremidades provém dessas preparações, indicando que o $[^{177}\text{Lu}]$ contribui proporcionalmente menos para a dose nas extremidades do que outros radionuclídeos. Os resultados obtidos corroboram os de Kollard et al. (9), na qual a dose nas extremidades durante a preparação e administração de $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-DOTA-TATE}$ varia entre 1 e $44 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$.

Relativamente ao $[^{131}\text{I}]$, Struelens L et al. (18) referem que a avaliação da exposição ocupacional incidiu exclusivamente na administração de cápsulas, por via oral. No que se refere à dose nas extremidades, os valores variaram entre 20 e $743 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$, sendo que os autores destacam que estes resultados estão em concordância com os intervalos descritos na literatura (50 - $7040 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$), com uma dose média máxima de aproximadamente $260 \mu\text{Sv.GBq}^{-1}$.

A exposição ocupacional em MN é influenciada por múltiplos fatores, incluindo as propriedades físicas dos radionuclídeos, modos de preparação e protocolos de administração utilizados. A escolha do método de administração influencia significativamente a exposição ocupacional, sendo que manipulação direta dos RF está associada a doses mais elevadas, particularmente nas extremidades. A rotação de tarefas e a experiência dos profissionais contribuem para a redução do tempo de exposição e, também, devem ser consideradas no planeamento.

Importa ainda salientar que dados disponíveis, nesta revisão bibliográfica, relativamente aos valores dosimétricos associados a estas terapias,

bem como a heterogeneidade metodológica entre estudos, incluindo diferenças nos protocolos, nas amostras e na utilização de equipamentos de proteção, como os aventais de Pb, constituíram um desafio à comparação direta dos resultados e à generalização das conclusões.

CONCLUSÃO

A expansão das terapias com RF em MN trouxe novos desafios ao nível da exposição ocupacional, evidenciando que a exposição ocupacional varia de acordo com o radionuclídeo, método de administração, intervenção na manipulação do RF e das medidas de radioproteção.

Esta revisão evidencia que, em terapias com [¹³¹I], a administração de [¹³¹I] MIBG envolve maior exposição ocupacional do que o [¹³¹I] NaI, sobretudo devido à via de administração, ao maior tempo de duração da administração e à necessidade de maior manipulação do RF.

No caso do [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617 e do [¹⁷⁷Lu]Lu-DOTA-TATE [¹⁷⁷Lu], não se observa variabilidade significativa, entre ambos, na exposição ocupacional. A escolha do método de administração, não altera de forma relevante a dose recebida, apesar de o método que usa seringa infusora apresenta maior vulnerabilidade a incidentes e maior manipulação pré-administração.

A exposição ocupacional não é uniforme ao longo das diferentes etapas, o que reforça a importância de, a par da redução do tempo e aumento da distância, assegurar o uso de barreiras físicas, como biombo de Pb, para minimizar a exposição ocupacional. No caso dos aventais de Pb, apesar de reduzirem a exposição a radiação γ , permanece ausência de estudos que quantifiquem o contributo de radiação de *Bremsstrahlung* na exposição ocupacional.

Face à crescente utilização de terapêuticas com radionuclídeos, evidencia-se a necessidade de desenvolver estudos adicionais que contribuam para consolidar a evidência científica e apoiar a implementação de estratégias eficazes de proteção radiológica, assegurando

simultaneamente a segurança ocupacional dos profissionais e a qualidade dos cuidados prestados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rojas B, McGowan DR, Gear J, Smith AL, Scott C, Craig AJ, et al. Nearly double the patients and dramatic changes over 14 years of UK MRT: Internal Dosimetry Users Group survey results from 2007 to 2021. *Nucl Med Commun.* 2024 Jan;45(1):16–23. doi:10.1097/MNM.0000000000001780
2. Yordanova A, Eppard E, Kürpig S, Bundschuh R, Schönberger S, Gonzalez-Carmona M, et al. Theranostics in nuclear medicine practice. *Onco Targets Ther.* 2017 Oct 3;Volume 10:4821–8. doi:10.2147/OTT.S140671
3. Rojas B, Hooker C, McGowan DR, Guy MJ. Five years of molecular radiotherapy growth in the UK. *Nucl Med Commun.* 2015 Aug 11;36(8):761–5. doi:10.1097/MNM.0000000000000306
4. Rojas B, Hooker C, McGowan DR, Guy MJ, Tipping J. Eight years of growth and change in UK molecular radiotherapy with implications for the future. *Nucl Med Commun.* 2017 Mar;38(3):201–4. doi:10.1097/MNM.0000000000000642 PubMed PMID: 28067689.
5. Rojas B, McGowan DR, Guy MJ, Tipping J, Aldridge M, Gear J. Eighty per cent more patients in 10 years of UK molecular radiotherapy. *Nucl Med Commun.* 2019 Jul 1;40(7):657–61. doi:10.1097/MNM.0000000000001020 PubMed PMID: 31058745.
6. White BE, Rous B, Chandrakumaran K, Wong K, Bouvier C, Van Hemelrijck M, et al. Incidence and survival of neuroendocrine neoplasia in England 1995–2018: A retrospective, population-based study. *The Lancet Regional Health - Europe.* 2022 Dec 1;23:100510. doi:10.1016/j.lanepe.2022.100510 PubMed PMID: 36176500.
7. Yordanova A, Eppard E, Kürpig S, Bundschuh R, Schönberger S, Gonzalez-Carmona M, et al. Theranostics in nuclear medicine practice. *Onco Targets Ther.* 2017 Oct 3;Volume 10:4821–8. doi:10.2147/OTT.S140671
8. Ehrhardt Jr JD, Güleç S. A Review of the History of Radioactive Iodine Theranostics: The Origin of Nuclear Ontology. *Mol Imaging Radionucl Ther.* 2020 Oct 1;29(3):88–97. doi:10.4274/mirt.galenos.2020.83703 PubMed PMID: 33094571.
9. Kollaard R, Zorz A, Dabin J, Covens P, Cooke J, Crabbé M, et al. Review of extremity dosimetry in nuclear medicine. *Journal of Radiological Protection.* 2021 Dec 1;41(4):R60–87. doi:10.1088/1361-6498/ac31a2 PubMed PMID: 34670207.
10. Riveira-Martin M, Struelens L, Muñoz Iglesias J, Schoonjans W, Tabuenca O, Nogueiras JM, et al. Radiation exposure assessment of nuclear medicine staff

- administering [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE with active and passive dosimetry. *EJNMMI Phys.* 2023 Nov 14;10(1):70. doi:10.1186/s40658-023-00592-1 PubMed PMID: 37962683.
11. Luhung A, Hasanah A, Ramdhani D. Radiopharmaceutical: An Update and Comparison of Preclinical Investigation Result of Alpha and Beta Emitter Radioisotope. *Drug Des Devel Ther.* 2026 Feb;Volume 20:1–21. doi:10.2147/DDDT.S570831
 12. Duan H, Iagaru A, Aparici CM. Radiotheranostics - Precision Medicine in Nuclear Medicine and Molecular Imaging. *Nanotheranostics.* 2022;6(1):103–17. doi:10.7150/ntno.64141 PubMed PMID: 34976584.
 13. Dash A, Knapp FF, Pillai M. Targeted Radionuclide Therapy - An Overview. *Curr Radiopharm.* 2013 Oct 31;6(3):152–80. doi:10.2174/18744710113066660023 PubMed PMID: 24059327.
 14. Khazaei Monfared Y, Heidari P, Klempner SJ, Mahmood U, Parikh AR, Hong TS, et al. DNA Damage by Radiopharmaceuticals and Mechanisms of Cellular Repair. *Pharmaceutics.* 2023 Dec 1;15(12):2761. doi:10.3390/PHARMACEUTICS15122761/S1
 15. IAEA. General issues in therapeutic nuclear medicine I International Atomic Energy Agency [Internet]. 2026 [cited 2025 Nov 2]. Available from: <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/nuclear-medicine/therapeutic-nuclear-medicine/general-issues>
 16. Stokke C, Kvassheim M, Blakkisrud J. Radionuclides for Targeted Therapy: Physical Properties. *Molecules.* 2022 Sep 1;27(17):5429. doi:10.3390/MOLECULES27175429/S1 PubMed PMID: 36080198.
 17. Abuqbeith M, Demir M, Uslu-Beşli L, Yeyin N, Sönmezoğlu K. Blood clearance and occupational exposure for ^{177}Lu -DOTATATE compared to ^{177}Lu -PSMA radionuclide therapy. *Radiat Environ Biophys.* 2018 Mar 17;57(1):55–61. doi:10.1007/s00411-017-0721-6 PubMed PMID: 29149420.
 18. Khalili N, Zakariaee S, Gharebaghi E, Salehi Y, Changizi V. Evaluation of annual staff doses and radiation shielding efficiencies of thyroid shield and lead apron during preparation and administration of ^{131}I , ^{81}Kr , and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Labeled radiopharmaceuticals. *J Med Signals Sens.* 2022 Jan 1;12(1):90. doi:10.4103/jmss.JMSS_45_20
 19. Struelens L, Aalbersberg E, Beels L, Cherbuin N, D'Asseler Y, De Monte F, et al. How much do ^{68}Ga -, ^{177}Lu - and ^{131}I -based radiopharmaceuticals contribute to the global radiation exposure of nuclear medicine staff? *EJNMMI Phys.* 2024 Nov 14;11(1):95. doi:10.1186/s40658-024-00695-3 PubMed PMID: 39540964.
 20. Donzé C, Rubira L, Santoro L, Viarasakd M, Kotzki PO, Deshayes E, et al. ^{177}Lu -Dotatate administration using an infusion pump or a peristaltic pump: comparison of two methods. *European Journal of Hospital Pharmacy.* 2024 May 1;31(3):207–11. doi:10.1136/ejhpharm-2022-003489 PubMed PMID: 36100369.
 21. Dash A, Pillai MRA, Knapp FF. Production of ^{177}Lu for Targeted Radionuclide Therapy: Available Options. *Nucl Med Mol Imaging.* 2015 Jun 17;49(2):85–107. doi:10.1007/s13139-014-0315-z
 22. Ku A, Facca VJ, Cai Z, Reilly RM. Auger electrons for cancer therapy – a review. *EJNMMI Radiopharm Chem.* 2019 Dec 11;4(1):27. doi:10.1186/s41181-019-0075-2
 23. Jødal L. Beta emitters and radiation protection. *Acta Oncol (Madr).* 2009 Jan 8;48(2):308–13. doi:10.1080/02841860802245163
 24. Luster M, Clarke SE, Dietlein M, Lassmann M, Lind P, Oyen WJG, et al. Guidelines for radioiodine therapy of differentiated thyroid cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2008 Oct 1;35(10):1941–59. doi:10.1007/s00259-008-0883-1
 25. Giammarile F, Chiti A, Lassmann M, Brans B, Flux G. EANM procedure guidelines for ^{131}I -meta-iodobenzylguanidine (^{131}I -mIBG) therapy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2008 May 15;35(5):1039–47. doi:10.1007/s00259-008-0715-3
 26. Giammarile F, Chiti A, Lassmann M, Brans B, Flux G. EANM procedure guidelines for ^{131}I -meta-iodobenzylguanidine (^{131}I -mIBG) therapy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2008 May 15;35(5):1039–47. doi:10.1007/s00259-008-0715-3 PubMed PMID: 18274745.
 27. He X, Zhao R, Rong L, Yao K, Chen S, Wei B. Answers to if the Lead Aprons are Really Helpful in Nuclear Medicine from the Perspective of Spectroscopy. *Radiat Prot Dosimetry.* 2016 Sep 9. doi:10.1093/rpd/ncw255

A Ressonância Magnética na Avaliação de Trombos Cardíacos – Caso Clínico

Magnetic Resonance Imaging in the Evaluation of Cardiac Thrombi – A Clinical Case.

Bárbara Alexandre Lopes Barraca Mascarenhas ¹, ORCID: 0000-0002-2283-1038
Daniel Augusto Vieira de Sousa ^{1,2}, ORCID: 0000-0002-5919-8176

¹ Unidade Local de Saúde da Região de Aveiro – Serviço de Imagiologia, Aveiro, Portugal

² Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

Autor(a) para Correspondência:

Bárbara Mascarenhas
barbarabarraca@gmail.com

Informação Editorial:

Tipologia: Caso Clínico
Data de receção: 30 abril 2026
Data de aprovação: 27 julho 2026

RESUMO

A Ressonância Magnética Cardíaca (RMC), devido à sua elevada resolução espacial e capacidade de caracterização tecidual, tem assumido um papel fundamental na deteção e caracterização de trombos intracardíacos, permitindo uma avaliação mais precisa da sua composição (recente/organizado). O diagnóstico correto destes trombos é essencial para a adequada orientação terapêutica e para a prevenção de eventos tromboembólicos.

O presente caso clínico retrata o caso de um paciente do sexo masculino, de 61 anos, com enfarte agudo do miocárdio complicado por choque cardiogénico e subsequente suspeita de trombo apical. O diagnóstico foi feito através de RMC, que permitiu identificar e caracterizar a lesão através de um protocolo multiparamétrico, incluindo sequências cine-SSFP (*Steady-State Free Precession*), realce tardio após gadolínio e T1 *mapping*.

A RMC revelou uma massa apical hipointensa, sem captação de contraste nas sequências de realce tardio, compatível com trombo ventricular esquerdo. Os valores reduzidos de T1 sugeriram tratar-se de um trombo recente com algumas características de organização. Com base nestes achados, foi instituída terapêutica anticoagulante, com regressão significativa do trombo após três meses de seguimento.

O presente caso clínico evidencia o papel determinante da RMC na avaliação de complicações pós enfarte, permitindo não apenas o diagnóstico preciso de trombos intracavitários, mas também a sua caracterização tecidual com impacto na orientação terapêutica.

PALAVRAS-CHAVE

Ressonância magnética cardíaca; Trombo; T1 mapping; Realce tardio; Caso clínico

ABSTRACT

Cardiac Magnetic Resonance Imaging (CMRI), due to its high spatial resolution and ability to characterize tissue, has taken on a key role in the detection and characterization of intracardiac thrombi, allowing for a more accurate assessment of their composition (fresh/organized). Correct diagnosis of thrombi is essential for appropriate therapeutic management and for the prevention of thromboembolic events.

This clinical case refers to a 61-year-old male patient with acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock and subsequent suspicion of an apical thrombus. The diagnosis was made via CMRI, which allowed for the identification and characterization of the lesion using a multiparametric protocol, including cine-SSFP (Steady-State Free Precession) sequences, late gadolinium enhancement (LGE), and T1 mapping.

CMRI revealed a hypointense apical mass without contrast enhancement on late gadolinium enhancement sequences, consistent with a left ventricular thrombus. The reduced T1 values suggested a recent thrombus with some signs of organization. Based on these findings, anticoagulant therapy was initiated, resulting in significant regression of the thrombus after three months of follow-up.

This clinical case highlights the decisive role of CMRI in the evaluation of post-infarction complications, allowing not only the accurate diagnosis of intracavitary thrombi but also their tissue characterization, which impacts treatment decisions.

KEYWORDS

Cardiac magnetic resonance imaging; Thrombus; T1 mapping; Late gadolinium enhancement; Clinical Case

INTRODUÇÃO

A formação de trombos intracardíacos representa uma complicação conhecida do enfarte agudo do miocárdio, particularmente quando existe envolvimento extenso do ventrículo esquerdo (1). Esta condição está associada a um risco aumentado de eventos tromboembólicos

sistêmicos e a um prognóstico clínico desfavorável (1,2).

A identificação precoce e precisa destas formações é essencial para orientar a terapêutica anticoagulante e reduzir o risco de complicações (1,3). Neste contexto, a Ressonância Magnética Cardíaca (RMC) tem vindo a afirmar-se como uma técnica de imagem não invasiva com elevada

acuidade diagnóstica e excelente capacidade de caracterização tecidual, permitindo diferenciar trombos de outras massas intracardíacas (2,3,4).

As sequências de realce tardio após gadolínio (*late gadolinium enhancement* – LGE) desempenham um papel fundamental na distinção entre trombos intracavitários e tecido miocárdico patológico (3,4). Paralelamente, a técnica de T1 *mapping* fornece informação quantitativa que permite diferenciar trombos recentes (ou agudos) de trombos organizados (também designados de crônicos) através da análise dos tempos de relaxação T1 (4): trombos recentes apresentam geralmente tempos de relaxação T1 inferiores, relacionados com a presença de produtos de degradação da hemoglobina, enquanto trombos organizados tendem a apresentar valores progressivamente superiores, refletindo a organização fibrótica da lesão.

O desenvolvimento de protocolos multiparamétricos de RMC tem vindo a consolidar esta técnica como uma ferramenta fundamental na abordagem diagnóstica e prognóstica das complicações estruturais pós enfarte, oferecendo simultaneamente elevada precisão diagnóstica e informação adicional sobre risco de embolização e evolução clínica (4).

HISTÓRIA CLÍNICA

Doente do sexo masculino, 61 anos, ex-fumador, previamente autónomo e sem medicação habitual, recorreu ao serviço de urgência por dor torácica súbita localizada no hemitórax esquerdo, descrita como tipo pontada e com agravamento à inspiração profunda, associada a náuseas e sudorese. À admissão encontrava-se hemodinamicamente estável, consciente e orientado, sem sinais de dificuldade respiratória.

O eletrocardiograma revelou “supradesnivelamento do segmento ST nas derivações anteriores, compatível com síndrome coronária aguda com elevação do segmento ST da parede anterior (STEMI – anterior)”. A gasometria arterial demonstrou alcalose respiratória e hipoxemia ligeira, sinais compatíveis com resposta fisiológica ao evento isquémico. O ecocardiograma transtorácico evidenciou “acinésia dos segmentos médios das paredes anterior, anterosseptal e inferosseptal, bem como dos segmentos apicais, associada a disfunção ventricular esquerda ligeira a moderada”. O doente foi submetido a angioplastia coronária primária, tendo sido identificada oclusão da artéria descendente anterior média, tratada com implantação de stent farmacológico.

Posteriormente, foi realizada RMC com o objetivo de avaliar a extensão do enfarte, quantificação da função ventricular e deteção de eventuais complicações estruturais associadas. Durante o internamento, a evolução clínica foi complicada por choque cardiogénico, pericardite epistenocárdica e episódios de taquicardia ventricular sustentada, tendo sido indicada a implantação de cardiodesfibrilhador implantável para prevenção secundária de arritmias ventriculares malignas. Todos os dados clínicos e imagiológicos apresentados foram devidamente anonimizados, garantindo a confidencialidade e a proteção da identidade do doente.

MÉTODOS DIAGNÓSTICOS

Previamente à realização da RMC, o doente foi submetido em contexto de urgência a ecocardiograma transtorácico e coronariografia diagnóstica com angioplastia primária. O ecocardiograma transtorácico evidenciou “acinésia dos segmentos médios das paredes

anterior, anterosseptal e inferosseptal, bem como dos segmentos apicais, associada a disfunção ventricular esquerda ligeira a moderada", achados compatíveis com enfarte agudo do miocárdio. Foi ainda identificada uma massa apical de dimensões consideráveis (Figura 1A). A coronariografia demonstrou "oclusão da artéria descendente anterior média". Em contexto de internamento, foi realizada RMC em equipamento de 1,5 Tesla, utilizando um protocolo multiparamétrico que incluiu sequências cine-SSFP (*Steady-State Free Precession*), T1 e T2 *mapping* e sequências de LGE. As imagens foram adquiridas em planos de eixo curto e eixos longos do ventrículo esquerdo. A análise quantitativa incluiu avaliação da fração de ejeção ventricular esquerda, volumes ventriculares telediastólico e telesistólico, bem como análise segmentar da contratilidade miocárdica. As sequências cine-SSFP evidenciaram "acinésia apical e hipocinesia dos segmentos médios da parede anterior, compatíveis com enfarte no território da artéria descendente anterior". Observou-se adicionalmente uma "estrutura ovalada aderente

ao ápex do ventrículo esquerdo, hipointensa em todas as sequências e sem movimento síncrono com o miocárdio, sugestiva de trombo mural". Nas sequências de LGE verificou-se ausência de captação de contraste na referida estrutura, achado compatível com trombo apical (Figura 2). Estas sequências demonstraram ainda realce transmural nos segmentos médio-apicais anterior e anterosseptal, compatível com necrose miocárdica. Os valores de T1 da massa apical encontravam-se reduzidos em comparação com o miocárdio adjacente, sugerindo trombo recente. Estes valores situavam-se no limite superior do intervalo descrito para trombos recentes, podendo sugerir fase inicial de organização trombótica, sem evidência de hemorragia intratrombo (Figura 3). Com base nestes achados, foi instituída terapêutica anticoagulante com antagonista da vitamina K, mantendo-se vigilância imagiológica seriada por ecocardiografia. Após três meses, observou-se regressão significativa do trombo e melhoria da função ventricular esquerda, com aumento da fração de ejeção de 35% para 45% (Figura 1B).

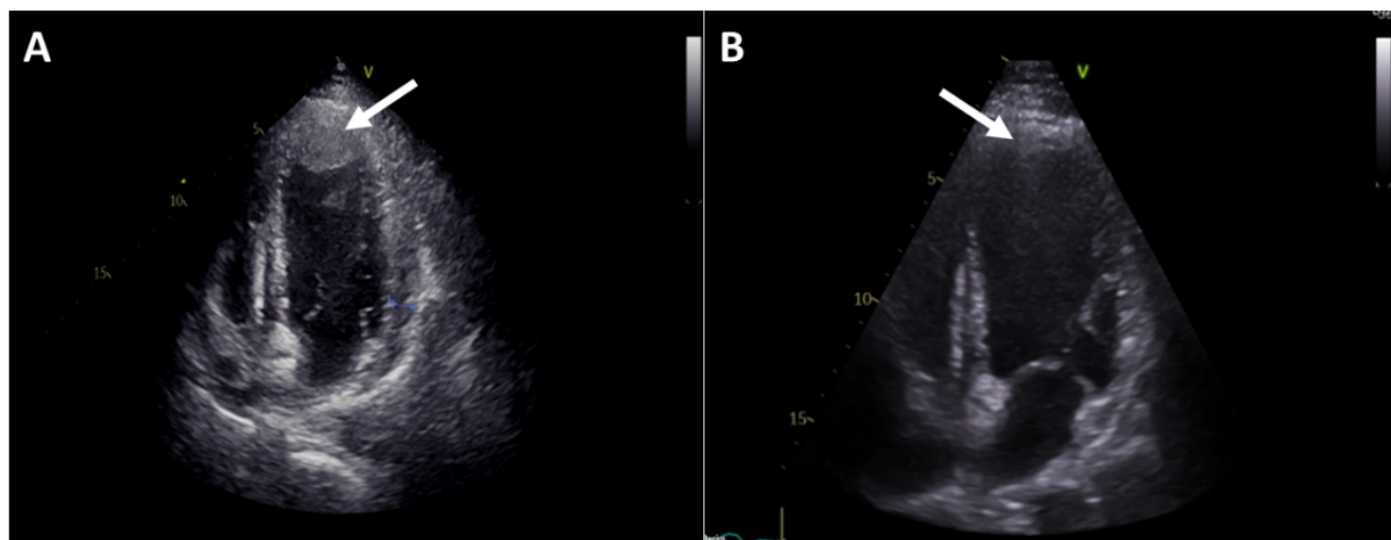


Figura 1 - Ecocardiograma transtorácico (ETT) em vista apical de quatro câmaras evidenciando trombo apical do ventrículo esquerdo (seta). (A) Exame inicial demonstrando trombo apical de maiores dimensões. (B) Ecocardiograma de seguimento após três meses de terapêutica anticoagulante, evidenciando redução significativa do tamanho do trombo.

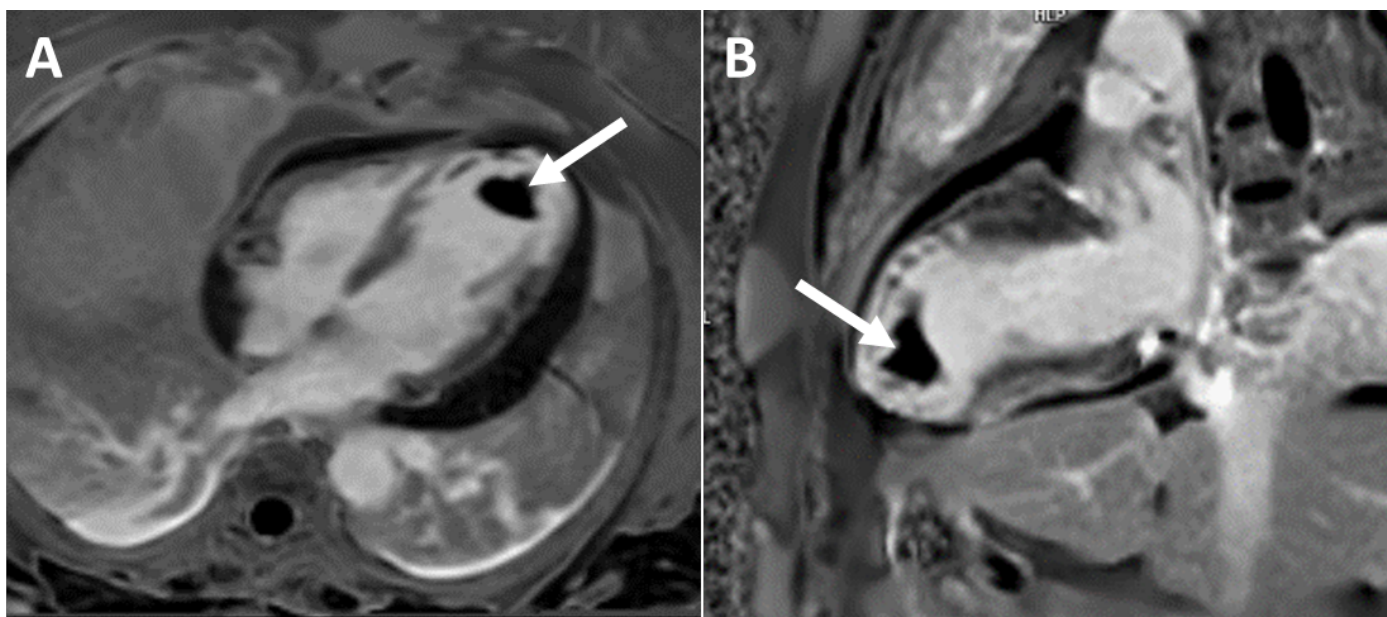


Figura 2 - Imagens de RMC. Imagens de LGE em eixos de quatro (A) e duas (B) câmaras evidenciando trombo apical (seta) sem captação de contraste, distinguindo-se nitidamente da necrose miocárdica adjacente, aspecto característico de trombo avascular no contexto de enfarte anterior extenso

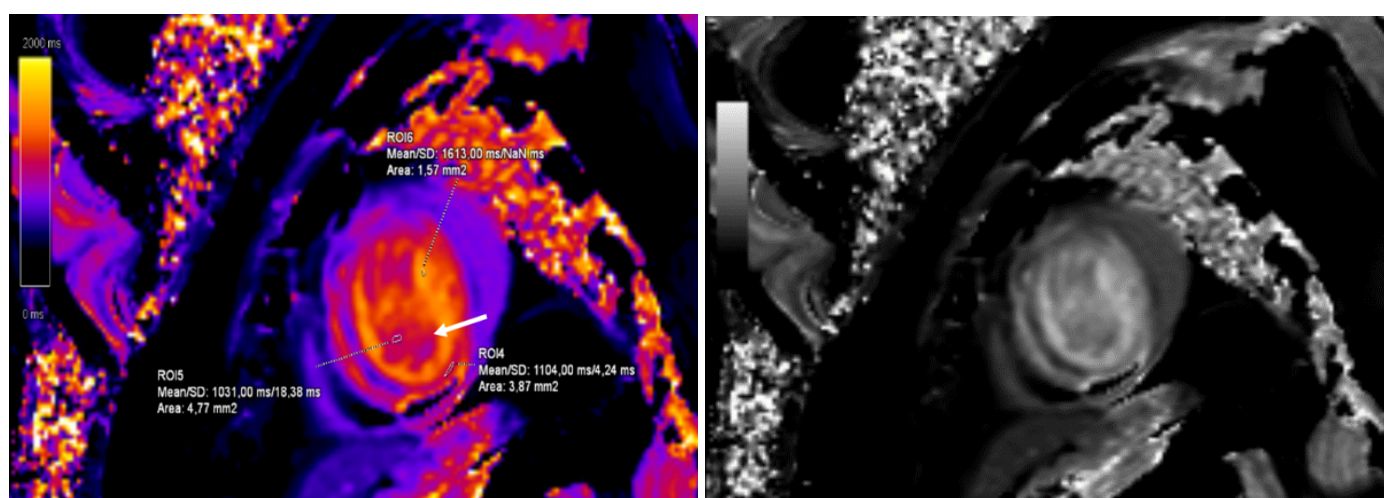


Figura 3 - Imagem de T1 mapping em eixo curto, demonstrando a região correspondente ao trombo apical (seta). As regiões de interesse (ROI's) demonstram diferenças nos valores de T1: sangue com valores elevados (ROI 5: 1613ms), miocárdio com valores intermédios (ROI 4: 1104 ms) e trombo recente com valores reduzidos (ROI 3: 1031ms).

DISCUSSÃO

A formação de trombos ventriculares esquerdos é uma complicação comum do enfarte agudo do miocárdio, especialmente nos casos que afetam o território da artéria descendente anterior, apresentando um elevado risco de embolização sistêmica (1,2).

No presente caso, o doente apresentou um enfarte anterior extenso do tipo STEMI com acinesia dos segmentos médio-apicais e disfunção ventricular esquerda, criando uma base fisiopatológica importante para a estase sanguínea intracavitária. A evolução clínica complicada por choque cardiogénico reforça a

gravidade de lesão miocárdica e o risco acrescido de complicações tromboembólicas (1,2).

A RMC assumiu um papel central na avaliação integrada deste doente, permitindo não só a quantificação da função ventricular e a caracterização da extensão do enfarte, mas também a identificação e caracterização tecidual da lesão apical. As sequências cine-SSFP evidenciaram alterações segmentares compatíveis com necrose no território da artéria descendente anterior e permitiram identificar uma estrutura aderente ao ápex do ventrículo esquerdo, sem mobilidade síncrona com o miocárdio, sugestiva de trombo mural (1,3).

A diferenciação entre trombo e outras massas intracardíacas constitui um desafio diagnóstico relevante na prática clínica. Neste contexto, o LGE desempenha um papel determinante, uma vez que os trombos, por serem estruturas avasculares, não apresentam captação de contraste, ao contrário das lesões neoplásicas, habitualmente vascularizadas e com padrão de realce variável (1,2). No caso descrito, a ausência de realce da massa apical confirmou a sua natureza avascular, reforçando o diagnóstico de trombo.

Para além da avaliação qualitativa, a técnica de T1 *mapping* surge como uma ferramenta quantitativa de elevado valor na caracterização tecidual. Os valores de T1 refletem alterações na composição de um trombo ao longo da sua evolução, podendo fornecer informação sobre o seu grau de organização. No estudo de Abi Khalil *et al.*, realizado num equipamento de 3 T, os trombos recentes, definidos por um intervalo inferior a três meses entre o evento coronário e a RMC, apresentaram um valor médio de T1 de 1098 ± 61 ms, enquanto os trombos antigos apresentaram um valor médio de 1316 ± 75 ms (4). Estes resultados sugerem um aumento do T1 com a evolução e organização fibrótica do trombo.

Contudo, os valores absolutos de T1 dependem da intensidade do campo magnético, do fabricante, da sequência e do protocolo de aquisição (4).

Tabela 1 – Valores de referência T1 *mapping* descritos na literatura (2 – 4).

	Valores literatura	Caso clínico – 1,5 T
Sangue	1551-1933 ms	1613 ms
Miocárdio	929 – 1100 ms	1104 ms
Trombo recente (agudo)	734 – 1098 ms	1031 ms
Trombo organizado (crónico)	1062-1316 ms	-

No presente caso clínico, a RMC, realizada num equipamento de 1,5 T, demonstrou um valor de T1 de 1031 ms no trombo, inferior ao do miocárdio adjacente (1104 ms) e ao do sangue ventricular (1613 ms). Este comportamento é qualitativamente concordante com o descrito por Abi Khalil *et al.* para trombos recentes, embora não seja possível efetuar uma comparação direta dos valores absolutos, uma vez que esse estudo foi realizado num equipamento de 3 T (4). O resultado foi, assim, interpretado em conjunto com a ausência de realce após contraste, a morfologia da massa, o contexto clínico e a evolução durante a terapêutica anticoagulante. Este achado evidencia o potencial do T1 *mapping* como ferramenta complementar na caracterização dos trombos. Contudo, os valores absolutos de T1 podem variar de acordo com o campo magnético, o fabricante, os parâmetros técnicos e a sequência utilizada, devendo ser interpretados com base em valores de referência específicos de cada equipamento e protocolo (4).

Do ponto de vista clínico, a identificação do trombo teve impacto direto na abordagem

terapêutica, conduzindo à introdução de anticoagulação e vigilância imagiológica seriada. A regressão do trombo após três meses, associada à melhoria da função ventricular esquerda, reforça a importância do diagnóstico precoce e de uma abordagem orientada por imagem de elevada precisão.

A integração de sequências cine-SSFP, LGE e técnicas paramétricas como o T1 *mapping*, permitiu uma caracterização tecidual mais detalhada, contribuindo para uma abordagem diagnóstica mais reprodutível e fiável (1, 3-4). Os valores de T1 obtidos foram compatíveis com os intervalos descritos na literatura, reforçando a utilidade desta técnica na avaliação de trombos e na sua estratificação evolutiva (2,4).

A evolução favorável após terapêutica evidencia a importância do diagnóstico precoce e do seguimento imagiológico adequado.

CONCLUSÃO

No presente caso, a RMC foi determinante para a avaliação de um paciente com enfarte agudo do miocárdio do tipo STEMI, para confirmação e caracterização de um trombo apical do ventrículo esquerdo, complicação do enfarte, permitindo simultaneamente avaliar a extensão da lesão miocárdica e as alterações funcionais decorrentes do enfarte. A integração da informação obtida através das sequências cine-SSFP, LGE e T1 *mapping* forneceu uma caracterização abrangente do miocárdio e da massa intracavitária, contribuindo de forma decisiva para a definição da estratégia terapêutica e para o planeamento do seguimento clínico. Este caso reforça o papel

da RMC como modalidade de referência na avaliação das complicações mecânicas e trombóticas pós enfarte. A sua capacidade de combinar avaliação funcional, morfológica e tecidual numa única técnica permite uma caracterização mais precisa das massas intracardíacas e uma melhor estratificação do risco. A incorporação de técnicas avançadas de caracterização tecidual, como o T1 *mapping*, pode aumentar a confiança diagnóstica e apoiar decisões terapêuticas mais individualizadas, com potencial impacto no prognóstico dos doentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chang P, Xiao J, Hu Z, Kwan AC, Fan Z. Imaging of left heart intracardiac thrombus: clinical needs, current imaging, and emerging cardiac magnetic resonance techniques. *Therapeutic Advances in Cardiovascular Disease*. SAGE Publications Ltd; 2022. doi:10.1177/17539447221107737 PubMed PMID: 35762763.
2. Chaosuwannakit N, Makarawate P. Left Ventricular Thrombi: Insights from Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *Tomography*. 2021 May 12;7(2):180-8. doi:10.3390/tomography7020016 PubMed PMID: 34065998.
3. Phuah Y, Tan YX, Zaghloul S, Sim S, Wong J, Usmani S, et al. A systematic review and meta-analysis of transthoracic echocardiogram vs. cardiac magnetic resonance imaging for the detection of left ventricular thrombus. *European Heart Journal - Imaging Methods and Practice*. 2023 Sep 8;1(2). doi:10.1093/ehjimp/qyad041
4. Abi Khalil S, Willoteaux S, Biere L, Barraud L, Leou T. MRI evaluation by T1 mapping of the post-myocardial infarction left ventricular thrombus. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023 Dec 1;54(1). doi:10.1186/s43055-023-01162-2.

Síndrome de Mazabraud no Contexto de McCune-Albright e o Contributo da Ressonância Magnética: Caso Clínico

Mazabraud Syndrome in the Context of McCune-Albright and Contribution of Magnetic Resonance Imaging – A Clinical Case.

Diogo Filipe de Lagoa Freitas ¹, ORCID: 0009-0005-2587-1149
Helena Marina Rocha Teixeira ^{1,2}, ORCID: 0009-0008-7373-4247

¹ Serviço de Imagiologia, Hospital CUF Porto, Porto, Portugal

Autor(a) para Correspondência:

Diogo Filipe de Lagoa Freitas
diogo16freitas@gmail.com

Informação Editorial:

Tipologia: Caso Clínico
Data de receção: 29 abril 2026
Data de aprovação: 30 julho 2026

RESUMO

A Síndrome de Mazabraud (SM) é uma condição rara caracterizada pela associação entre displasia fibrosa e mixomas intramusculares, podendo ocorrer no contexto da Síndrome de McCune-Albright (SMA), uma doença genética causada por mutações pós-zigóticas do gene *GNAS1* (gene humano *Guanine nucleotide-binding protein, alpha stimulating activity polypeptide 1*). Apresenta-se o caso de uma doente do sexo feminino, com diagnóstico prévio de SMA, com história de múltiplas intervenções cirúrgicas por envolvimento craniofacial e antecedentes de sarcoma mandibular de baixo grau. A reavaliação imagiológica por ressonância magnética (RM) evidenciou displasia fibrosa poliostótica envolvendo ossos longos e estruturas craniofaciais, associada à presença de múltiplos nódulos intramusculares com características típicas de mixomas, nomeadamente hipossinal em T1 e hipersinal em T2. Os achados imagiológicos permitiram estabelecer o diagnóstico de SM no contexto da doença de base. Destaca-se o papel da RM na deteção, caracterização e monitorização das lesões, bem como na exclusão de sinais sugestivos de transformação maligna. Este caso demonstra o papel da RM na correlação clínico-imagiológica da SA e SMA, reforçando a necessidade de vigilância contínua para deteção precoce de degeneração maligna.

PALAVRAS-CHAVE

Síndrome de Mazabraud; Síndrome de McCune-Albright; Displasia Fibrosa; Mixoma Intramuscular, Ressonância Magnética; Caso clínico

ABSTRACT

Mazabraud Syndrome (MS) is a rare condition characterized by the association of fibrous dysplasia and intramuscular myxomas and may occur in the context of McCune-Albright Syndrome (MAS), a genetic disorder caused by postzygotic mutations in the GNAS1 gene. We present the case of a female patient with a prior diagnosis of MAS, with a history of multiple surgical interventions due to craniofacial involvement and a previous low-grade mandibular sarcoma. Recent imaging reassessment with magnetic resonance (MRI) imaging revealed polyostotic fibrous dysplasia involving long bones and craniofacial structures, associated with multiple intramuscular nodules showing typical features of myxomas, namely low signal intensity on T1-weighted images and marked hyperintensity on T2-weighted images. The imaging findings allowed the diagnosis of MS in the context of the underlying condition. MRI played a central role in the detection, characterization, and follow-up of the lesions, as well as in excluding features suggestive of malignant transformation. This case demonstrates the role of MRI in the clinical-imaging correlation of MS and MAS, reinforcing the need for continuous surveillance for the early detection of malignant degeneration.

KEYWORDS

Mazabraud Syndrome; McCune-Albright Syndrome; Fibrous Dysplasia; Intramuscular Myxoma; Magnetic Resonance Imaging; Clinical Case

INTRODUÇÃO

A Síndrome de Mazabraud (SM) é uma condição benigna extremamente rara, caracterizada pela associação de displasia fibrosa (uma anomalia do desenvolvimento ósseo onde o osso normal é substituído por tecido fibro-ósseo) e mixomas intramusculares (tumores benignos de tecidos moles com origem mesenquimal) (1, 2).

Esta entidade foi descrita inicialmente por Henschen em 1926 e, mais tarde, detalhada por Mazabraud em 1957. A sua patogénese está frequentemente ligada a uma mutação pós-zigótica no gene GNAS1 (gene humano *Guanine nucleotide-binding protein, alpha stimulating*

activity polypeptide 1), a qual também é responsável pela Síndrome de McCune-Albright (SMA), uma variante mais complexa que associa a displasia fibrosa a manchas "café-au-lait" e disfunções endócrinas (como a puberdade precoce) (3, 4).

Do ponto de vista epidemiológico, a SM apresenta uma prevalência superior no sexo feminino, numa proporção aproximada de 3:1, sendo diagnosticada habitualmente entre a quinta e a sexta décadas de vida. A displasia fibrosa manifesta-se tipicamente na sua forma poliostótica, afetando múltiplos ossos, com especial incidência no fémur e na bacia, surgindo os mixomas geralmente nas proximidades dos

segmentos ósseos mais afetados. Embora muitos pacientes permaneçam assintomáticos durante longos períodos, a progressão da doença pode causar dor óssea, deformidades esqueléticas, fraturas patológicas ou o surgimento de massas de tecidos moles indolores e de crescimento lento (1,3)

A SM é uma entidade clínica de extrema raridade, com uma presença tão restrita na literatura médica mundial que muitos estudos estimam a existência de menos de 100 a 200 casos documentados até hoje (3).

O diagnóstico da SM assenta na correlação clínico-radiológica. A Ressonância Magnética (RM) é considerada o *gold-standard* para a avaliação dos mixomas, apresentando-se tipicamente como lesões com hipossinal em ponderação T1 e hipersinal marcado em ponderação T2. Na radiografia convencional e na tomografia computadorizada (TC), a displasia fibrosa exibe o clássico aspeto em "vidro despolido" (*ground-glass*) (2).

Embora os mixomas e a displasia fibrosa sejam individualmente benignos, o reconhecimento da síndrome é crucial devido ao risco aumentado de transformação maligna da displasia fibrosa para osteossarcoma ou fibrossarcoma, o que exige um acompanhamento clínico e imagiológico rigoroso a longo prazo (3).

HISTÓRIA CLÍNICA

Paciente do sexo feminino, 38 anos, apresenta um quadro clínico complexo de base genética, com o diagnóstico de SMA associado à SM. A paciente, depois de informada relativamente aos objetivos do presente trabalho, deu o seu consentimento para a utilização dos dados.

O seu percurso clínico é marcado por múltiplas intervenções cirúrgicas, com particular relevância

para a área da neurocirurgia. Aos 22 anos, e posteriormente por volta dos 32, a paciente foi submetida a procedimentos para o tratamento de lesões frontais direitas, tendo realizado uma cranioplastia com placa de titânio e descompressão do teto da órbita direita. Além das manifestações cranianas, a paciente possui um antecedente oncológico de sarcoma de baixo grau na mandíbula direita, o que reforçou a necessidade de vigilância apertada quanto à degeneração maligna das lesões displásicas.

Em termos de evolução, exames de imagem realizados entre 2025 e 2026 revelam a progressão da doença em várias localizações. A RM revelou alterações extensas do padrão de sinal medular ósseo compatíveis com displasia fibrosa polioestótica, envolvendo o úmero esquerdo (Fig. 1) e ambos os fémures (Fig. 2), associadas a múltiplos nódulos intramusculares compatíveis com mixomas no braço esquerdo e coxa direita.

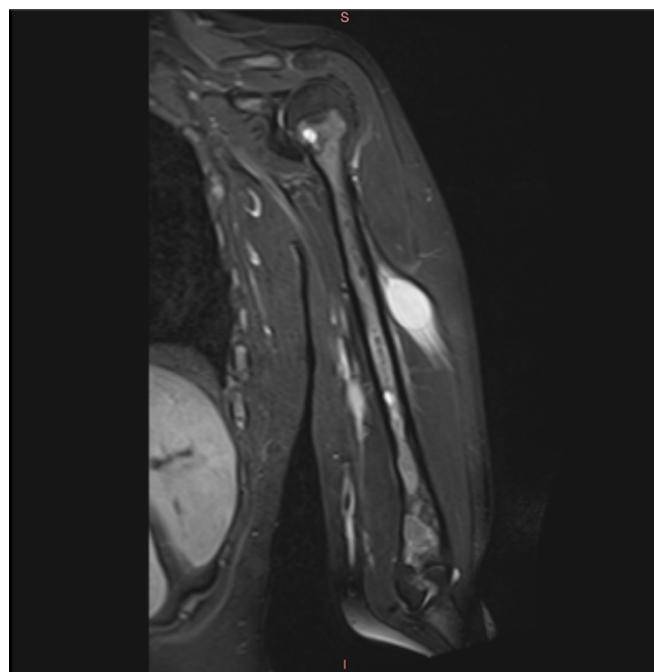


Figura 1 – Imagem de RM, ponderada em T2 STIR no plano coronal, úmero esquerdo. Alteração do padrão de sinal medular ósseo de toda a extensão do úmero, desde a metáfise proximal à metáfise distal, com alteração do padrão

de sinal medular ósseo multifocal. Múltiplos nódulos dispersos, em particular na metade inferior do braço esquerdo, abrangendo, tanto o compartimento dos flexores como extensores, com dimensões variáveis, o maior com 4,2cm.

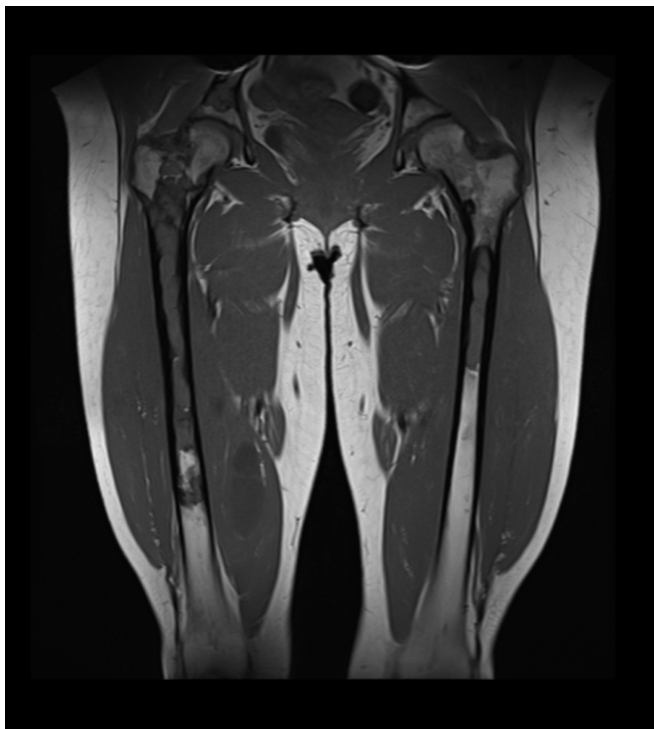


Figura 2 – Imagem de RM, ponderada em T1 no plano coronal, coxa direita e esquerda. Extensa alteração do padrão de sinal medular ósseo do segmento metadiáfisário proximal de ambos os fêmures, que é mais extensa à direita com características compatíveis com manifestação de displasia fibrosa. Múltiplos nódulos na dependência dos músculos da coxa direita, nomeadamente na dependência dos componentes do quadrícipite, ou seja, tanto no vasto intermédio como lateral e medial.

O conjunto de achados imagiológicos é compatível com SM, caracterizada pela associação entre displasia fibrosa e mixomas intramusculares, no contexto da SMA. A nível craniofacial, a RM evidenciou um espessamento ósseo difuso e assimétrico, com aumento da área de displasia na região parietal direita, embora sem compromisso endocraniano imediato (Fig. 3).

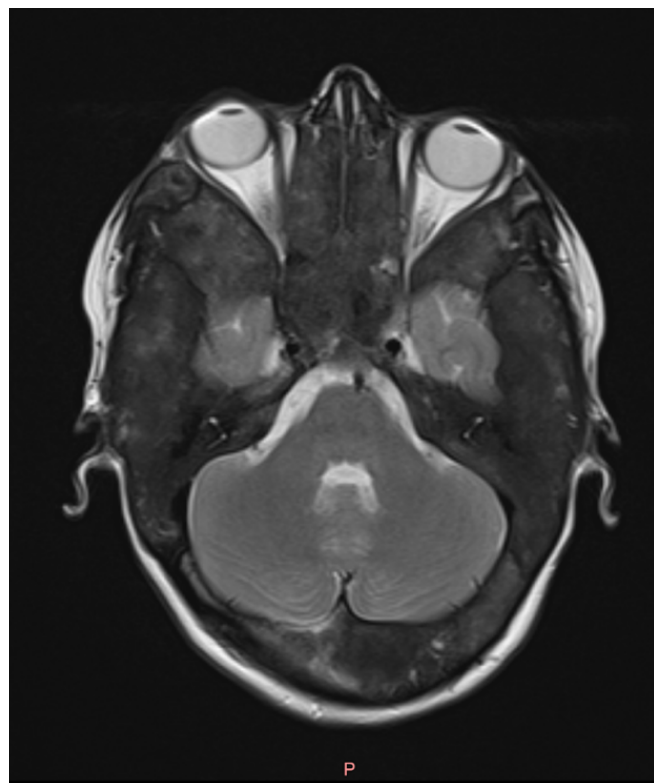


Figura 3 – Imagem de RM obtida no plano axial do crânio em ponderação T2. Marcado espessamento ósseo das paredes orbitárias e das restantes estruturas da base do crânio e da calote craniana, com consequente redução da amplitude das órbitas, associado à displasia fibrosa.

MÉTODOS DIAGNÓSTICOS

A RM assume um papel central na avaliação imagiológica da SM, sendo fundamental tanto para o diagnóstico como para a caracterização das lesões e o seguimento evolutivo da doença.

A RM é particularmente relevante na avaliação das lesões de partes moles, permitindo a identificação e caracterização dos mixomas intramusculares, que podem ser múltiplos e, por vezes, clinicamente subestimados. Para além disso, possibilita uma análise detalhada da extensão das lesões, bem como da sua relação com estruturas adjacentes, nomeadamente músculos, feixes neurovasculares e planos fasciais. Embora a TC seja superior na avaliação do envolvimento ósseo, a RM complementa o estudo da displasia fibrosa ao evidenciar alterações da medula óssea e

eventuais repercussões nas partes moles, sendo também útil na detecção de complicações. Adicionalmente, a RM desempenha um papel importante na vigilância, permitindo controlar a estabilidade ou progressão das lesões e identificar sinais sugestivos de transformação maligna, ainda que rara (3,4)

Foram realizados três protocolos de RM num equipamento Siemens Magnetom Aera 1.5T, incluindo estudo crânio-encefálico, de ambas as coxas e do úmero esquerdo. O protocolo crânio-encefálico integrou sequências ponderadas em 3D FLAIR (*Fluid-Attenuated Inversion Recovery*), T1, DP/T2, DWI (*Diffusion-Weighted Imaging* ou Imagem Ponderada por Difusão) e T2* em plano axial, T2 nos planos coronal e sagital, bem como STIR (*Short Tau Inversion Recovery*) coronal dirigido à região das órbitas. O estudo das coxas foi realizado com sequências ponderadas em T1 e STIR em plano coronal bilateral, T2 sagital bilateral, aquisição axial unilateral dirigido à coxa direita em T1, T2 e STIR, bem como T2 Dixon e DWI axial bilateral e sequências T1 com supressão de gordura após administração de gadolínio nos planos axial, coronal e sagital. A avaliação do úmero esquerdo incluiu sequências T1, T2 e STIR nos planos coronal, sagital e axial, complementadas por sequências ponderadas em T1 com supressão de gordura pós-contraste nos planos axial, sagital e coronal.

No que respeita às características imagiológicas, os mixomas intramusculares apresentam tipicamente sinal hipointenso a iso-hipointenso nas sequências ponderadas em T1, refletindo o seu baixo conteúdo lipídico e elevado componente mucóide (Fig. 2). Nas sequências ponderadas em T2, evidenciam-se como lesões marcadamente hiperintensas, devido ao elevado teor de água, constituindo esta uma das características mais sugestivas do diagnóstico. As

sequências com supressão de gordura, como o STIR, aumentam o contraste entre a lesão e os tecidos adjacentes, permitindo uma melhor detecção de lesões de menor dimensão e a avaliação de eventual edema associado (Fig. 1) (2-5)

Após administração de contraste paramagnético, observa-se habitualmente um padrão de realce periférico ou heterogéneo nos mixomas, traduzindo a sua escassa vascularização central, o que pode auxiliar na distinção relativamente a lesões malignas, geralmente mais vascularizadas e com padrões de realce mais exuberantes. As sequências DWI e os respetivos mapas ADC (*Coeficiente de Difusão Aparente*, do inglês *Apparent Diffusion Coefficient*) contribuem adicionalmente para o diagnóstico diferencial, uma vez que os mixomas tendem a não apresentar restrição significativa à difusão, ao contrário de tumores malignos de maior celularidade (3, 4)

Relativamente à displasia fibrosa, o sinal em RM é mais variável, dependendo da proporção de tecido fibroso, conteúdo mineral e eventual atividade da lesão, podendo apresentar intensidade de sinal baixa a intermédia em ponderação T1 e variável em ponderação T2 (Fig. 3). A integração dos achados imagiológicos, nomeadamente a presença de lesões musculares com sinal muito hiperintenso em ponderação T2 e padrão de realce característico, associadas a alterações ósseas compatíveis com displasia fibrosa, é altamente sugestiva da SM (4, 5).

DISCUSSÃO

A associação entre SM e SMA representa uma manifestação rara dentro do espectro das doenças relacionadas com mutações do gene *GNAS1*, documentada apenas em pequenos grupos e casos específicos (3,4). A literatura

sugere que a coexistência destas entidades poderá traduzir uma expressão fenotípica mais extensa da mutação pós-zigótica, com maior carga lesional e envolvimento multissistêmico (4). Comparativamente aos casos descritos, este apresenta várias particularidades relevantes. Em primeiro lugar, a extensão da displasia fibrosa polioestótica, com envolvimento dos ossos longos e do esqueleto craniofacial, está de acordo com os padrões mais severos descritos na SMA. Estudos prévios referem que o envolvimento craniofacial ocorre com frequência significativa nestes doentes, podendo associar-se a complicações funcionais importantes (1). No presente caso, apesar do espessamento ósseo exuberante na região orbitária e da necessidade de intervenções cirúrgicas prévias, não se observa compromisso endocraniano atual, o que sugere uma evolução relativamente controlada sob vigilância adequada.

A presença de múltiplos mixomas intramusculares, distribuídos preferencialmente nos compartimentos musculares adjacentes aos ossos afetados, está em consonância com a literatura, que descreve uma forte correlação topográfica entre as duas componentes da SM (2). No entanto, a multiplicidade e dimensão das lesões observadas neste caso reforçam a importância da avaliação sistemática por RM, uma vez que vários estudos indicam que os mixomas podem ser subdiagnosticados quando apenas avaliados clinicamente (2,5).

Do ponto de vista imagiológico, os achados descritos são altamente concordantes com os padrões clássicos reportados. Os mixomas apresentam sinal hipointenso em ponderação T1 e marcadamente hiperintenso em ponderação T2, refletindo o seu elevado conteúdo mucóide, com realce periférico após contraste, características amplamente documentadas como sugestivas de

benignidade (2,5). Adicionalmente, a ausência de restrição à difusão constitui um elemento diferenciador importante face a tumores malignos de partes moles, corroborando dados recentes que enfatizam o papel das sequências de difusão no diagnóstico diferencial (5).

Relativamente à displasia fibrosa, a variabilidade do sinal em RM descrita neste caso está em linha com a heterogeneidade histológica das lesões reportada na literatura (1). Embora a TC permaneça o método de eleição para a identificação do padrão em “vidro despolido”, a RM demonstra clara superioridade na avaliação da extensão medular e das repercussões nos tecidos moles, sendo particularmente útil em contexto de vigilância (1,2).

Um aspeto distintivo deste caso é o antecedente de sarcoma mandibular de baixo grau, o que levanta considerações importantes. Embora a transformação maligna da displasia fibrosa seja rara, estimada em menos de 1% dos casos, o risco parece aumentar em doentes com formas polioestóticas e em contexto sindrómico, como na SMA (1,4). Este antecedente reforça a necessidade de uma vigilância particularmente rigorosa, dado que a recorrência ou novas transformações malignas podem ocorrer.

Do ponto de vista terapêutico, a abordagem conservadora adotada está alinhada com as recomendações atuais, que privilegiam o controlo sintomático e o seguimento imagiológico regular (1,4). A ausência de critérios imagiológicos sugestivos de malignidade nas lesões atuais sustenta esta estratégia. No entanto, alguns autores defendem uma abordagem mais intervencionista em casos selecionados, nomeadamente na presença de crescimento progressivo dos mixomas ou sintomatologia compressiva (4,5).

Globalmente, este caso reforça vários conceitos descritos na literatura, nomeadamente a importância da correlação clínico-imagiológica no diagnóstico da SM, o papel central da RM na avaliação das lesões e a necessidade de vigilância prolongada. Simultaneamente, acrescenta valor pela sua complexidade clínica, extensão das lesões e antecedente oncológico, contribuindo para a melhor caracterização do espectro desta entidade rara.

CONCLUSÃO

A associação entre SM e SMA constitui uma entidade rara e clinicamente desafiante, cuja abordagem exige uma integração multidisciplinar e uma forte correlação clínico-imagiológica.

O presente caso evidencia uma forma extensa e complexa da doença, caracterizada por displasia fibrosa polioestótica, envolvimento craniofacial significativo e múltiplos mixomas intramusculares, com achados imagiológicos típicos que permitiram um diagnóstico consistente e diferencial. A RM assume um papel central não só na deteção e caracterização das lesões, como também na monitorização evolutiva e na identificação precoce de sinais de alarme.

Os antecedentes de transformação maligna reforçam a importância de uma vigilância rigorosa

e prolongada, particularmente em doentes com formas sindrómicas e carga lesional elevada. Apesar do carácter benigno das lesões na maioria dos casos, o potencial de complicações justifica uma abordagem cuidadosa e individualizada.

Este caso clínico contribui para a literatura ao ilustrar uma apresentação rara e complexa desta associação sindrómica, reforçando a importância do reconhecimento precoce e do papel determinante da imagiologia, nomeadamente da RM, na orientação diagnóstica e no seguimento clínico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DiCaprio MR, Enneking WF. Fibrous dysplasia: pathophysiology, evaluation, and treatment. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(8):1848–1864.
2. Steinbach LS, Disler DG, et al. Imaging findings in Mazabraud's syndrome: seven new cases. *Skeletal Radiology.* 2002;31(2):81–91.
3. Biazzo A, Di Bernardo A, Parafioriti A, Confalonieri N. Mazabraud syndrome associated with McCune-Albright syndrome. *Acta Biomed.* 2017;88(2):198–200.
4. Vescini F, Falchetti A, Tonelli V, et al. Mazabraud's syndrome: case report and literature review. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets.* 2019;19(7):1040–1046.
5. Li XM, Chen ZH, Wang KY, Chen JN, Yao ZN, Yao YH, et al. Mazabraud's syndrome in female patients: Two case reports. *World J Orthop.* 2024;15(6):593–601.

Investigação clínica em Medicina Nuclear: principais alterações e recomendações para a prática clínica

Clinical research in Nuclear Medicine: primary changes and recommendations for clinical practice

Daniela Felício da Fonseca Ribeiro^{1,2,3,4}, ORCID: 0000-0001-8137-5469

¹ Radiology Research Manager, King's College Hospital, Londres, Reino Unido

² Escola Superior de Saúde da Cruz Vermelha Portuguesa Alto Tâmega, Chaves, Portugal

³ Escola Superior de Saúde Dr. Lopes Dias, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, Portugal

⁴ European Federation of Radiographer Societies, Netherlands

Autor(a) para Correspondência:

Daniela Felício da Fonseca Ribeiro
dfonseca92@gmail.com

Informação Editorial:

Tipologia: Nota Técnica
Data de receção: 30 abril 2026
Data de aprovação: 05 agosto 2026

RESUMO

A Medicina Nuclear tem um papel cada vez mais importante na investigação clínica, particularmente em ensaios clínicos direcionados à avaliação da segurança e eficácia de fármacos na doença de Alzheimer. A presente nota técnica tem como objetivo sistematizar as alterações recentemente introduzidas pela atualização "R3" do guia de Good Clinical Practice (GCP), emitido pelo International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use (ICH), correlacionando-as com as práticas clínicas na área da Medicina Nuclear.

Neste contexto, o consentimento por representante legal, o assentimento do participante, a consideração pelo melhor interesse e a possibilidade de revogar o consentimento, surgem como diretrizes atualizadas para a obtenção do consentimento informado em participantes com capacidade de consentimento reduzida ou incapazes. A recomendação da criação de diagramas de fluxo de dados, a nível departamental, vem introduzir um maior foco no princípio da rastreabilidade dos dados, permitindo uma "reconstrução" dos elementos imagiológicos de um ensaio clínico. O enfoque na qualidade baseada no risco remete para a identificação e avaliação dos fatores de risco ao longo de todas as fases do ensaio clínico, permitindo uma

gestão adequada destes. De igual forma, a mudança de paradigma que introduz flexibilidade aos desenhos de estudo e a redução do impacto operacional das visitas do estudo, deve ser tida em consideração particularmente pelos profissionais que mais interagem com os voluntários, como os Técnicos de Medicina Nuclear.

A adoção das boas práticas clínicas e a introdução dos elementos relativos à atualização "R3" nos exames de Medicina Nuclear utilizados para ensaios clínicos, são cruciais para a obtenção de dados fiáveis e íntegros, como também para assegurar o bem-estar e a dignidade dos participantes.

PALAVRAS-CHAVE

Nota Técnica; Técnicos de Medicina Nuclear; Investigação clínica; Ensaios clínicos; Boas Práticas clínicas; Consentimento informado

ABSTRACT

Nuclear Medicine plays an increasingly important role in clinical research, particularly in clinical trials aimed at evaluating the safety and efficacy of medications in Alzheimer's disease. This technical note aims to systematise the changes recently introduced by the "R3" update of the Good Clinical Practice (GCP) guidelines, issued by the International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use (ICH), correlating them with clinical practices in the field of Nuclear Medicine. In this context, consent by a legal representative, participant assent, consideration for the best interests of the individual, and the possibility of revoking consent appear as updated guidelines for obtaining informed consent from participants with reduced capacity or incapable of providing consent. The recommendation to create data flow diagrams at a departmental level introduces a greater focus on the principle of data traceability, allowing for a "reconstruction" of the imaging elements of a clinical trial. The risk-based approach to quality focuses on identifying and assessing risk factors throughout all phases of the clinical trial, enabling their appropriate management. Similarly, the paradigm shift that introduces flexibility to study designs and the reduction of the operational impact of study visits should be considered particularly by professionals who interact most with volunteers, such as Nuclear Medicine Technologists.

The adoption of good clinical practices and the introduction of elements related to the "R3" update in Nuclear Medicine examinations used for clinical trials are crucial for obtaining reliable and complete data, and for ensuring the well-being and dignity of participants.

KEYWORDS

Technical note; Nuclear Medicine Technologists; Clinical Research; Clinical Trials; Good Clinical Practice; Informed consent

INTRODUÇÃO

Os ensaios clínicos, concebidos para avaliar a segurança e a eficácia de fármacos, terapêuticas e dispositivos médicos, dependem cada vez mais do suporte das técnicas de Medicina Nuclear para alcançar os objetivos da investigação clínica (1, 2). Um exemplo desta relação sinérgica é o desenvolvimento de fármacos destinados a atrasar a progressão da doença de Alzheimer. Frequentemente, estes ensaios clínicos incluem, na avaliação basal, a realização de um exame de *Positron Emission Tomography – Computed Tomography* (PET-CT) com um radiofármaco com captação nas placas de amiloide, seguida de um exame de PET-CT com um radiofármaco com captação nos neurofibrilamentos da proteína tau. Subsequentemente, o fármaco em investigação é administrado a doentes com diagnóstico de Alzheimer e ambos os exames de PET-CT são repetidos, periodicamente (3).

A investigação clínica é guiada pelos princípios éticos da Declaração de Helsínquia, que têm como objetivo proteger a vida, a dignidade, integridade, saúde e privacidade de voluntários saudáveis e doentes que participem em ensaios clínicos (4). Simultaneamente, a investigação clínica também é guiada pelas orientações indicadas pelo *International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use (ICH) Good Clinical Practice (GCP)* que asseguram a segurança dos doentes e voluntários e a integridade dos dados e resultados (5).

A atualização da ICH GCP E6(R3) introduz mudanças significativas na proteção de participantes vulneráveis, na governação e rastreabilidade dos dados, na gestão da qualidade baseada no risco e na flexibilização dos desenhos dos ensaios clínicos. Apesar da sua

aplicação transversal à investigação clínica, a implementação destas orientações na área da Medicina Nuclear apresenta especificidades associadas ao recurso a exames imagiológicos, sistemas digitais complexos e à proximidade dos Técnicos de Medicina Nuclear com os participantes. Neste contexto, torna-se fundamental interpretar estas alterações à luz da prática clínica diária, promovendo uma aplicação consistente e adequada às particularidades da área.

Esta nota técnica tem como objetivo apresentar recomendações práticas para a realização de exames de Medicina Nuclear em ensaios clínicos, à luz da atualização ICH GCP E6(R3) adotada pela *European Medicines Agency (EMA)* em julho de 2025 (5).

DESENVOLVIMENTO

Proteção, segurança e bem-estar de voluntários saudáveis e doentes

As orientações no guia de GCP salientam a necessidade de os protocolos de investigação clínica serem submetidos à revisão e aprovação por Comissões de Ética, de modo a garantir que os direitos dos participantes são salvaguardados. No contexto nacional, os protocolos de ensaios clínicos devem ser aprovados pelas seguintes entidades:

- **Comissão de Ética para a Investigação Clínica (CEIC):** responsável pela análise do consentimento informado, do protocolo de investigação, da proteção de dados e da dignidade dos participantes (6);
- **Autoridade Nacional do Medicamento e Produtos de Saúde (INFARMED):** responsável por avaliar os aspetos científicos e técnicos relativos à realização do ensaio clínico (7).

Adicionalmente, o GCP sublinha a importância de obter o consentimento informado, dos voluntários, antes da realização de quaisquer procedimentos ou atividades relacionadas com o estudo. Os participantes devem receber uma folha de informação do estudo, contendo os seus objetivos, uma descrição da investigação, os potenciais riscos e benefícios, bem como o direito de desistir a qualquer momento, sem prejuízo para si ou para os seus familiares. O consentimento informado e esclarecido deve ser obtido, por escrito, após o participante dispor de tempo suficiente para ler a folha de informação e esclarecer quaisquer dúvidas com a equipa de investigação.

A anterior diretriz (ICH GCP E6(R2)) baseava-se substancialmente em ensaios clínicos tradicionais realizados em centros de investigação e não abordava as tecnologias modernas atualmente disponíveis, as abordagens de investigação clínica descentralizadas, as fontes de dados complexas e os desenhos de estudo cada vez mais inovadores. A atualização ICH GCP E6(R3) foi incorporada e publicada em Diário da República sob a Lei n.º 9/2026, de 6 de Março, e assegura a execução, na ordem jurídica nacional, do Regulamento (UE) n.º 536/2014 [8]. Esta atualização vem, entre outros aspetos, criar condições claras e eficientes relativas ao consentimento informado e participação em ensaios clínicos de menores e de pessoas incapazes. Remetendo para o exemplo dos ensaios clínicos realizados com o suporte da Medicina Nuclear para a avaliação de fármacos na patologia da Doença de Alzheimer, as atualizações R3 reconhecem que a capacidade de consentir pode variar ao longo do tempo, dependendo do estado de consciência. As principais atualizações para estas diretrizes remetem-se para (5):

- **Consentimento por representante legal:** em que se reconhece que, quando um participante não tem capacidade de consentir, um representante legal pode fazê-lo.
- **Assentimento do participante:** mesmo em circunstâncias em que seja necessário um representante legal, o participante deve ser informado do estudo em que irá participar.
- **Melhor interesse e revogabilidade:** a inclusão destes participantes num estudo só deverá ser permitida se a investigação clínica for essencial para investigar a doença que afeta um grupo específico (sendo que o benefício será superior ao risco), e o consentimento (dado pelo participante ou representante legal) poderá ser revogado a qualquer momento.

Registo, processamento e armazenamento de dados

As orientações GCP referem a importância de recolher e registar dados com acurácia, armazená-los de forma segura e utilizar sistemas de gestão de dados para manter a integridade destes (5).

As palavras de origem inglesa *Attributable*, *Legible*, *Contemporaneous*, *Original* e *Accurate* originaram o acrónimo ALCOA, introduzido em 1990, que indica que a recolha de dados deve ser (9):

- **Atribuível**, permitindo saber quem adquiriu os dados.
- **Legível**, deve ser possível ler os dados independentemente de estes terem sido recolhidos em formato eletrónico ou terem sido escritos manualmente.
- **Contemporâneo**: a documentação dos dados deve ser feita ao mesmo tempo ou

num curto espaço de tempo após a atividade ter sido realizada.

- **Original:** o registo dos dados deve ser original ou representar uma cópia certificada.
- **Exato** (do Inglês *Accurate*): caso os dados documentados tenham sofrido alterações ou correções, estas devem ser documentadas, assinadas pelo interveniente que efetuou a correção.

Este acrónimo tem sofrido alterações sendo que, desde 2023, deve ser referido como ALCOA++ representando a adição de mais cinco princípios (9):

- **Completo:** todos os dados, independentemente de repetições ou análises subsequentes, devem ser registados.
- **Consistente:** todos os elementos, independentemente de serem os dados originais ou correções, devem ser datados.
- **Duradouro** (do Inglês *Enduring*): os dados devem ser registados em cadernos oficiais ou eletrónicos, e estar disponíveis para verificar.
- **Disponível** (do Inglês *Available*): o registo de dados deve estar disponível para revisão, auditoria ou inspeção, durante e após o término do estudo.
- **Rastreável** (do Inglês *Traceable*): todos os elementos devem ser rastreáveis durante o ciclo de vida do estudo (incluindo potenciais alterações), de forma a ser possível “reconstruir” o estudo.

A atualização ICH GCP E6(R3) veio introduzir um maior foco no princípio “Rastreável”, recomendando diagramas de fluxo de dados, que identifiquem todos os sistemas, integrações e

repositórios de dados que façam parte dos processos departamentais (5).

No exemplo acima mencionado da utilização de exames de PET-CT em ensaio clínicos da doença de Alzheimer, é aconselhável a criação de documentos com procedimentos operacionais (*Standard Operating Procedures* - SOP), que indiquem o fluxo de trabalho desde a administração do radiofármaco, à aquisição de imagem no tomógrafo, à anonimização dos identificadores pessoais presentes nos metadados DICOM e o armazenamento de imagens (com ou sem anonimização) no *Picture Archiving and Communication System* (PACS) ou *Vendor Neutral Archive* (VNA) (10).

Relativamente à anonimização das imagens, é importante obter à priori, o identificador do participante no ensaio clínico, o seu número de randomização e o número (ou estado) da visita que irá ser realizada. Esta informação será utilizada para substituir dados pessoais do doente nos metadados das imagens DICOM (11). Em contrapartida, a informação relativa a algoritmos de reconstrução, parâmetros de aquisição, hora de administração do radiofármaco e a hora de início da aquisição de imagem não deve ser anonimizada.

Qualidade Baseada no Risco

A garantia da qualidade sempre foi um dos pilares das *Good Clinical Practice* (GCP). Contudo, a implementação da revisão ICH GCP E6(R3) veio reforçar a importância da qualidade baseada no risco. Ao contrário do que sucedia na versão anterior da diretriz, em que predominavam abordagens retrospectivas, a ICH GCP E6(R3) preconiza a adoção de paradigmas *Quality by Design* (QbD), nos quais os fatores de risco são identificados, avaliados e geridos ao longo de todas as fases do ensaio clínico.

Numa perspetiva aplicada à Medicina Nuclear, fatores como os protocolos de aquisição, os parâmetros de reconstrução e os métodos de análise de imagem devem ser incluídos no plano de gestão da qualidade do estudo. Iniciativas como a *Quantitative Imaging Biomarker Alliance* (QIBA) e o programa de acreditação da *European Association of Nuclear Medicine Research Ltd.* (EARL) podem igualmente ser utilizadas para harmonizar os protocolos de PET, reduzindo a variabilidade das métricas semiquantitativas (como o *standardised uptake value*) e quantitativas (como o *binding potential*), reforçando assim a confiança, a robustez e a reprodutibilidade dos resultados (12, 13). Cada vez mais, a acreditação através destas iniciativas é considerada nos questionários de viabilidade e seleção de centros durante a fase de preparação de ensaios clínicos.

O desenvolvimento de radiofármacos assume igualmente um papel de destaque no contexto da qualidade baseada no risco. Na última década, em particular, assistiu-se ao surgimento de vários radiofármacos específicos para a imagiologia da deposição de placas amiloides (como o [^{18}F]florbetapir, [^{18}F]florbetaben e [^{18}F]flutemetamol), bem como de radiofármacos direcionados para a imagiologia dos neurofibrilamentos da proteína tau (como o [^{18}F]flortaucipir, [^{18}F]florquinital e [^{18}F]PI-2620) (14–18). Em ensaios clínicos cujo objetivo seja avaliar a segurança e a eficácia destes agentes, os radiofármacos são considerados medicamentos experimentais (*investigational medicinal products* – IMPs) e, consequentemente, os riscos específicos associados à sua utilização, bem como os potenciais efeitos adversos, devem ser contemplados no plano de gestão da qualidade do estudo e revistos periodicamente.

As atividades de gestão da qualidade devem ser adequadamente documentadas, de forma a demonstrar que os riscos identificados foram mitigados ou controlados. Do mesmo modo, eventuais desvios devem ser registados e investigados, podendo ser implementadas ações corretivas e preventivas (*corrective and preventive actions* – CAPAs), de modo a assegurar a segurança dos participantes, a integridade dos dados e a validade, robustez e reprodutibilidade dos biomarcadores imagiológicos.

Flexibilidade

A atualização ICH GCP E6(R3) promove flexibilidade no desenho de protocolo dos ensaios clínicos e das atividades de investigação, por forma a simplificar a participação dos voluntários. A revisão “R3” reconhece que os procedimentos do estudo devem ser cientificamente justificados, minimizando, ao mesmo tempo, o encargo desnecessário para os participantes e investigadores. Tem, também, ainda em consideração as perspetivas dos participantes e como o feedback destes pode guiar o desenvolvimento dos protocolos (5).

Este é um ponto de elevada importância para os Técnicos de Medicina Nuclear envolvidos na execução de ensaios clínicos dado que, na qualidade de profissionais de saúde, são frequentemente os principais interlocutores dos participantes. Por isso, a recolha de *feedback* relativa às atividades mais complexas ou de maior dificuldade para os voluntários, bem como sugestões por estes partilhadas, deve ser cuidadosamente registada e partilhada com os investigadores (19).

Os exames de Medicina Nuclear são procedimentos complexos que exigem uma organização logística significativa, implicando a coordenação da disponibilidade dos

radiofármacos, da operacionalidade dos equipamentos de aquisição de imagem e da agenda dos participantes. De acordo com as novas diretrizes, devem ser adotadas estratégias de agendamento flexíveis que permitam articular a realização dos exames de Medicina Nuclear com as restantes visitas clínicas previstas no estudo, de forma a minimizar o impacto na vida diária dos participantes.

De igual modo, a flexibilidade introduzida pela ICH GCP E6(R3) pode traduzir-se na adaptação dos horários dos exames, um aspeto particularmente relevante para participantes que dependem de cuidadores. Esta abordagem contribui também para reduzir os constrangimentos enfrentados por participantes com mobilidade reduzida ou que necessitem de percorrer longas distâncias para comparecer às visitas de estudo.

O agendamento personalizado, a coordenação com consultas clínicas de rotina e a disponibilização de apoio adicional aos participantes podem melhorar significativamente a experiência de participação no estudo, favorecer o recrutamento e a retenção de participantes e, simultaneamente, assegurar a adesão ao protocolo e a qualidade dos dados recolhidos.

CONCLUSÃO

A Medicina Nuclear e os técnicos de Medicina Nuclear têm, gradualmente, vindo a ter um papel mais importante na investigação clínica e em ensaios clínicos. A atualização ICH GCP E6(R3) veio reduzir a ambiguidade relativa ao consentimento informado e à realização de atividades de investigação que envolvam voluntários com capacidade de consentimento reduzida ou incapazes. Por outro lado, esta

atualização veio também enfatizar o princípio da rastreabilidade, assegurando a integridade dos dados e a qualidade dos próprios ensaios clínicos, introduzir flexibilidade no desenho dos estudos e reduzir o impacto operacional das visitas do estudo.

Uma compreensão completa das diretrizes de GCP e da atualização "R3" é importante para todos os Técnicos de Medicina Nuclear envolvidos em ensaios clínicos, dado que é um requisito para a realização de investigação clínica, assegurar o bem-estar dos participantes e a integridade dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IPO Lisboa 2026 Ensaios Clínicos. <https://www.ipolisboa.min-saude.pt/sobre-o-cancro/tratamento/ensaios-clinicos/>. Acedido 3 Abril 2026
2. Mulumba J, Duan R, Luo B, et al (2025) The role of neuroimaging in Alzheimer's disease: implications for the diagnosis, monitoring disease progression, and treatment. *Exploration of Neuroscience* 4:100675. <https://doi.org/10.37349/en.2025.100675>
3. Gentry C, Malek-Ahmadi M, Bolas S, Pena J (2024) PET Imaging in Alzheimer Disease: Pathology and Research Insights for Technologists. *J Nucl Med Technol* 52:306. <https://doi.org/10.2967/jnmt.124.268916>
4. The World Medical Association (2013) Declaração de Helsinque da Associação Médica Mundial. <https://www.wma.net/wp-content/uploads/2022/12/Declarac%CC%A7a%CC%83o-de-Helsi%CC%81nque-.pdf>. Acedido 3 Abril 2026
5. European Medicines Agency (2025) ICH E6 (R3) Guideline for good clinical practice (GCP). EMA/CHMP/ICH/135/1995EMA/CHMP/ICH/135/1995. https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/ich-e6-r3-guideline-good-clinical-practice-gcp-step-5_en.pdf. Acedido 3 Abril 2026
6. República Portuguesa CEIC. <https://www.ceic.pt/web/ceic/mapa-site>. Acedido 3 Abril 2026

7. República Portuguesa (2016) INFARMED - Autoridade Nacional do Medicamento e Produtos de Saúde. <https://www.infarmed.pt/>. Acedido 3 Abril 2026
8. Assembleia da República (2026) Lei n.º 9/2026, de 6 de março - Regula os ensaios clínicos de medicamentos para uso humano e altera a lei da investigação clínica. Diário da República. <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2026/03/04600/0000200013.pdf>. Acedido 3 Abril 2026
9. European Medicines Agency (2023) Guideline on computerised systems and electronic data in clinical trials. EMA/INS/GCP/112288/2023. https://www.ema.europa.eu/en/documents/regulatory-procedural-guideline/guideline-computerised-systems-and-electronic-data-clinical-trials_en.pdf. Acedido 3 Abril 2026
10. Gokulakrishnan D, Venkataraman S (2025) Ensuring data integrity: Best practices and strategies in pharmaceutical industry. *Intelligent Pharmacy* 3:296–303. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ipha.2024.09.010>
11. J BR, Sood A, Pattnaik T, et al (2025) Medical imaging privacy: A systematic scoping review of key parameters in dataset construction and data protection. *J Med Imaging Radiat Sci* 56:. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2025.101914>
12. Kinahan PE, Perlman ES, Sunderland JJ, et al (2020) The QIBA Profile for FDG PET/CT as an Imaging Biomarker Measuring Response to Cancer Therapy. *Radiology* 294:647–657. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019191882>
13. Kaalep A, Sera T, Oyen W, et al (2018) EANM/EARL FDG-PET/CT accreditation - summary results from the first 200 accredited imaging systems. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 45:412–422. <https://doi.org/10.1007/s00259-017-3853-7>
14. Doraiswamy PM, Sperling RA, Coleman RE, et al (2012) Amyloid- β assessed by florbetapir F 18 PET and 18-month cognitive decline. *Neurology* 79:1636–1644. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3182661f74>
15. Sabri O, Seibyl J, Rowe C, Barthel H (2015) Beta-amyloid imaging with florbetaben. *Clin Transl Imaging* 3:13–26. <https://doi.org/10.1007/s40336-015-0102-6>
16. Kallinen A, Kassiou M (2022) Tracer development for PET imaging of proteinopathies. *Nucl Med Biol* 114–115:115–127. <https://doi.org/10.1016/j.nucmedbio.2022.04.001>
17. Spano M, Roytman M, Aboian M, et al (2023) Brain PET Imaging. *PET Clin* 18:103–113. <https://doi.org/10.1016/j.cpet.2022.09.006>
18. Mueller A, Bullich S, Barret O, et al (2020) Tau PET imaging with 18F-PI-2620 in Patients with Alzheimer Disease and Healthy Controls: A First-in-Humans Study. *Journal of Nuclear Medicine* 61:911–919. <https://doi.org/10.2967/jnumed.119.236224>
19. Manning E, Herndon M, Frye W, et al (2020) Giving Voice to Clinical Study Participants: Development and Deployment of Sequential Patient Experience Surveys for Global Clinical Studies. *Ther Innov Regul Sci* 54:1001–1009. <https://doi.org/10.1007/s43441-020-00115-5>

RADIAÇÕES

REVISTA ATARP

Nº 19 . JULHO 2026

