

# Mapeamento Global da Pesquisa Sobre Inteligência Artificial Aplicada à Miocardite

*Global Mapping of Research on Artificial Intelligence Applied to Myocarditis*

Guilherme Cesar Fernandes de Oliveira da Costa,<sup>1</sup> Jose Gregorio Valero Rodriguez,<sup>1</sup> Giulia Fernandes de Oliveira da Costa,<sup>2</sup> Adriana Munford Lima Pimentel,<sup>3</sup> Evandro Tinoco Mesquita<sup>3</sup>

Universidade Federal Fluminense,<sup>1</sup> Niterói, RJ – Brasil

Faculdade de Ciências Médicas de Maricá – Faculdade de Medicina,<sup>2</sup> Maricá, RJ – Brasil

Universidade Federal Fluminense – Hospital Universitário Antônio Pedro,<sup>3</sup> Niterói, RJ – Brasil

## Resumo

**Fundamento:** A miocardite continua sendo um desafio diagnóstico, e o interesse no uso da inteligência artificial para apoiar a avaliação diagnóstica não invasiva cresceu rapidamente. Embora a literatura na interseção entre inteligência artificial e miocardite tenha se expandido substancialmente, ela permanece fragmentada e carece de uma síntese abrangente.

**Objetivos:** Mapear a produção científica global sobre a aplicação da inteligência artificial à miocardite, identificando os principais contribuintes, padrões de colaboração e tendências temáticas emergentes.

**Métodos:** Realizamos uma análise bibliométrica de artigos sobre inteligência artificial aplicada à miocardite indexados na Web of Science Core Collection. O pacote *bibliometrix* para R e o VOSviewer foram utilizados para realizar análises de redes bibliométricas e análises temáticas.

**Resultados:** Foram incluídos 47 artigos. A produção científica aumentou acentuadamente após 2021, coincidindo com a pandemia de covid-19, e atingiu seu pico em 2025. A China liderou em volume de publicações, enquanto o Reino Unido e a Alemanha alcançaram o maior impacto de citações. Nenhuma publicação teve origem na América Latina, no Caribe ou na África. As redes de colaboração internacional permanecem fragmentadas. As análises de palavras-chave e temáticas identificaram a integração do aprendizado profundo com a ressonância magnética cardiovascular como o principal tema motor, refletindo uma mudança em relação à tradicional biópsia endomiocárdica. Os autores mais citados eram predominantemente cientistas da computação e da ciência de dados.

**Conclusões:** A pesquisa na interseção entre inteligência artificial e miocardite constitui um campo emergente em processo de consolidação metodológica, com crescimento acelerado pela pandemia de covid-19. A ressonância magnética cardiovascular tornou-se a principal fonte de dados para aplicações baseadas em inteligência artificial. O principal desafio parece ser translacional, ressaltando a necessidade de uma colaboração mais estreita entre desenvolvedores de algoritmos e clínicos. A integração bem-sucedida desses modelos à prática clínica rotineira provavelmente dependerá da colaboração multidisciplinar e da validação em populações multicêntricas e diversas.

**Palavras-chave:** Miocardite; Inteligência Artificial; Aprendizado de Máquina; Aprendizagem Profunda.

## Abstract

**Background:** Myocarditis remains a diagnostic challenge, and interest in using artificial intelligence to support noninvasive diagnostic evaluation has grown rapidly. Although the literature at the intersection of artificial intelligence and myocarditis has expanded substantially, it remains fragmented and lacks comprehensive synthesis.

**Objectives:** To map the global scientific output on the application of artificial intelligence to myocarditis by identifying leading contributors, collaboration patterns, and emerging thematic trends.

**Methods:** We conducted a bibliometric analysis of articles on artificial intelligence applied to myocarditis indexed in the Web of Science Core Collection. The R package *bibliometrix* and VOSviewer were used to perform bibliometric network and thematic analyses.

**Correspondência:** Evandro Tinoco Mesquita •

Universidade Federal Fluminense – R. Des. Athayde Parreiras, 100. CEP 24070-090, Fátima, Niterói, RJ – Brasil

E-mail: etmesquita@gmail.com

Artigo recebido em 27/05/2026, revisado em 16/06/2026, aceito em 16/06/2026

Editor responsável pela revisão: Victor Issa

**DOI:** <https://doi.org/10.36660/abchf.20260016>

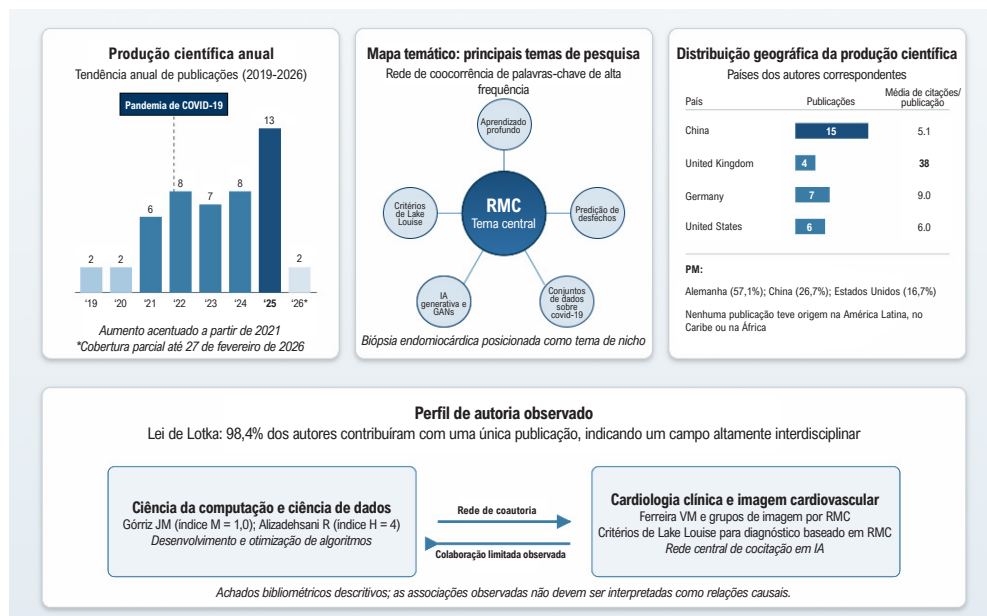
**Results:** A total of 47 articles were included. Scientific output increased markedly after 2021, coinciding with the COVID-19 pandemic, and peaked in 2025. China led in publication volume, whereas the United Kingdom and Germany achieved the greatest citation impact. No publications originated from Latin America, the Caribbean, or Africa. International collaboration networks remain fragmented. Keyword and thematic analyses identified the integration of deep learning with cardiovascular magnetic resonance imaging as the principal motor theme, reflecting a shift away from traditional endomyocardial biopsy. The most highly cited authors were primarily computer and data scientists.

**Conclusions:** Research at the intersection of artificial intelligence and myocarditis is an emerging field undergoing methodological consolidation, with growth accelerated by the COVID-19 pandemic. Cardiovascular magnetic resonance imaging has become the primary data source for artificial intelligence-based applications. The principal challenge appears to be translational, underscoring the need for stronger collaboration between algorithm developers and clinicians. The successful integration of these models into routine clinical practice will likely depend on multidisciplinary collaboration and validation across diverse, multicenter populations.

**Keywords:** Myocarditis; Artificial Intelligence; Machine Learning; Deep Learning.

Full texts in English - <https://www.abcheartfailure.org/>

**Figura Central:** Mapeamento Global da Pesquisa Sobre Inteligência Artificial Aplicada à Miocardite



ABC Heart Fail Cardiomyop. 2026; 6:e20260016

**Síntese bibliométrica descritiva de 47 publicações (2019-2026) indexadas na Web of Science Core Collection, ilustrando a produção científica anual, a estrutura temática do campo (centrada na RMC), a distribuição geográfica e o perfil interdisciplinar de autoria. IA: inteligência artificial; GAN: rede adversarial generativa; PM: publicação multinacional; RMC: ressonância magnética cardiovascular.**

## Introdução

A miocardite é caracterizada por inflamação difusa ou focal do miocárdio, resultante, mais comumente, de agentes infecciosos, reações imunomediadas ou processos inflamatórios crônicos.<sup>1</sup> Clinicamente, continua sendo um desafio diagnóstico devido à sua apresentação heterogênea e frequentemente inespecífica, variando de um curso assintomático à insuficiência cardíaca, arritmias e morte súbita.<sup>1</sup> Tradicionalmente, a biópsia endomiocárdica tem sido considerada o padrão-ouro diagnóstico; entretanto, os avanços na ressonância magnética cardiovascular e o refinamento dos critérios de Lake Louise transformaram a abordagem diagnóstica não invasiva.<sup>1</sup> Cenários clínicos

emergentes, particularmente a expansão da cardio-oncologia impulsionada pelo aumento da incidência de miocardite associada aos inibidores de *checkpoint* imunológico, intensificaram ainda mais a necessidade de ferramentas diagnósticas mais precisas e oportunas, capazes de apoiar a tomada de decisão clínica, ao mesmo tempo em que reduzem a dependência de procedimentos invasivos.<sup>2</sup>

A inteligência artificial, incluindo os subcampos do aprendizado de máquina e do aprendizado profundo, emerge como uma ferramenta promissora para o apoio diagnóstico.<sup>3</sup> A capacidade desses algoritmos de processar grandes volumes de dados, identificar padrões fenotípicos complexos e prever desfechos clínicos sugere que a

inteligência artificial pode impulsionar a medicina de precisão e contribuir para a evolução da cardiologia moderna.<sup>3</sup> Apesar do crescente interesse tecnológico, a pesquisa na interseção entre inteligência artificial e miocardite expandiu-se de forma fragmentada, com esforços limitados para caracterizar sistematicamente o campo, identificar as principais áreas de pesquisa, mapear redes de colaboração ou destacar tendências metodológicas emergentes.

A análise bibliométrica fornece uma estrutura metodológica robusta para mapear o panorama científico de um campo de pesquisa.<sup>4</sup> Diferentemente das revisões sistemáticas convencionais, as abordagens bibliométricas permitem a visualização da estrutura intelectual de um campo, a identificação de redes de coautoria, a avaliação da distribuição geográfica da produção científica e a análise da evolução temporal dos tópicos de pesquisa.<sup>4,5</sup>

Este estudo teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica da literatura científica global sobre a aplicação da inteligência artificial à miocardite. Especificamente, buscamos identificar os principais contribuintes (i.e., autores, países, instituições e periódicos), bem como os principais agrupamentos temáticos do campo, fornecendo, assim, uma referência abrangente para orientar pesquisas futuras e apoiar a integração das tecnologias de inteligência artificial à medicina cardiovascular personalizada (Figura Central).

## Métodos

### Fonte de dados

A Web of Science Core Collection foi selecionada como fonte de dados para esta análise bibliométrica devido à sua ampla cobertura de periódicos científicos indexados.<sup>6</sup> A seguinte *string* de busca avançada foi aplicada: (“myocarditis” OR “inflammatory cardiomyopathy”) AND (“artificial intelligence” OR “machine learning” OR “deep learning”). A busca foi realizada em 27 de fevereiro de 2026. Foram incluídos apenas artigos de pesquisa originais, sem restrições quanto ao ano de publicação.

Todos os registros elegíveis foram recuperados em uma única sessão de busca, resultando em 82 artigos. Dois revisores independentes realizaram a triagem manual dos títulos e resumos para excluir registros duplicados e estudos cujo foco principal não fosse a miocardite, seguindo recomendações padronizadas para pesquisas bibliométricas na literatura médica.<sup>7</sup> Esse processo de triagem resultou em um conjunto final de dados composto por 47 artigos para análise. Os registros bibliográficos foram exportados em formato de texto simples e salvos como arquivos download.txt para processamento subsequente.

### Análise bibliométrica

O processamento dos dados, as análises bibliométricas e as visualizações foram realizados utilizando o R (versão 4.5.2) e o VOSviewer (versão 1.6.20). O ambiente R, por meio do pacote *bibliometrix*, possibilitou análises bibliométricas abrangentes, incluindo extração de dados, construção de

redes e avaliação da produtividade científica e do impacto de países, instituições, periódicos, autores e referências cocitadas.<sup>5</sup> Os resultados foram apresentados por meio de mapas de redes bibliométricas e visualizações gráficas.

Também foram realizadas análises temporais para examinar a evolução das palavras-chave de alta frequência, fornecendo informações sobre o desenvolvimento dos tópicos de pesquisa e das tendências emergentes no campo. Além disso, o VOSviewer foi utilizado para construir e visualizar redes de cocitação e de coocorrência de palavras-chave.<sup>8</sup>

## Resultados

### Análise das publicações

Um total de 47 publicações, publicadas entre 2019 e 2026, foi incluído neste estudo. A distribuição temporal das publicações demonstra uma produção científica modesta até 2020, seguida por um crescimento sustentado a partir de 2021. O volume anual de publicações aumentou de dois artigos em 2019 para 13 em 2025, representando o maior nível de produção científica durante o período do estudo. O aparente declínio observado em 2026 reflete a cobertura parcial do ano de publicação, uma vez que a busca na literatura foi realizada em 27 de fevereiro de 2026.

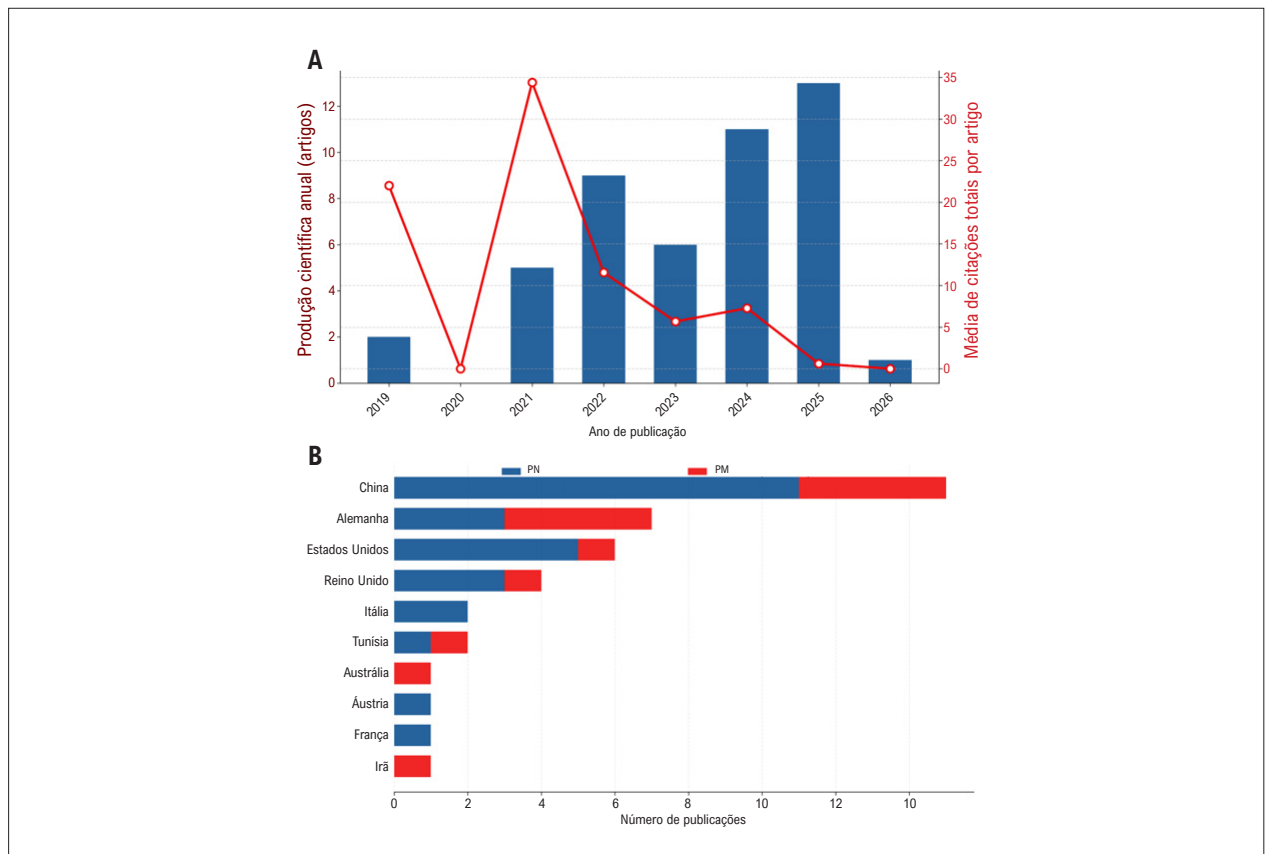
Os padrões de citação diferiram das tendências de publicação. O impacto científico, mensurado pelo número médio de citações por artigo por ano, atingiu seu pico em 2021, com 5,7 citações/ano. Posteriormente, a taxa média anual de citações diminuiu progressivamente, alcançando valores próximos de zero para os artigos publicados em 2025 e 2026, refletindo o tempo limitado disponível para que estudos recém-publicados acumulassem citações (Figura 1A).

### Análise dos países

A análise das afiliações dos autores correspondentes mostrou que a China foi o principal contribuinte ( $n = 15$  [31,9%]). A Alemanha ocupou a segunda posição ( $n = 7$  [14,9%]), seguida pelos Estados Unidos ( $n = 6$  [12,8%]) e pelo Reino Unido ( $n = 4$  [8,5%]).

Os padrões de colaboração internacional variaram consideravelmente entre os países mais produtivos. A Alemanha apresentou a maior proporção de publicações multinacionais (PM), com 57,1% de seus estudos (quatro de sete) envolvendo colaboração internacional. Em contraste, a produção científica da China foi predominantemente nacional, compreendendo 11 publicações nacionais e uma taxa de PM de 26,7%. Entre os principais países em número de publicações, os Estados Unidos apresentaram o menor nível de colaboração internacional, com cinco de suas seis publicações envolvendo apenas autores nacionais (taxa de PM: 16,7%) (Figura 1B).

Em termos de impacto científico, o Reino Unido ocupou a primeira posição, com 152 citações totais e uma média de 38 citações por artigo. A China ficou em segundo lugar em número total de citações (76), embora sua taxa média de citações tenha sido substancialmente menor (5,1 citações/artigo). A Alemanha acumulou 63 citações no



**Figura 1** – Produção científica e distribuição geográfica. A) Produção científica anual e média de citações totais por artigo. B) Produção científica por país, classificada em PNs e PMs. PN: publicação nacional; PM: publicação multinacional.

total, correspondendo a uma média de nove citações por publicação (Tabela 1).

Apesar de produzir menos publicações, a Suíça e a Austrália alcançaram elevado impacto de citações, com médias de 36 e 32 citações por artigo, respectivamente. Os Estados Unidos acumularam 36 citações totais, correspondendo a uma média de seis citações por publicação. De modo geral, a produção científica concentrou-se na China, na Europa e nos Estados Unidos.

#### Análise das afiliações

As instituições com maior produção científica são apresentadas na Tabela 1. A University of Bonn ocupou a primeira posição, com 11 publicações, representando aproximadamente 25% da amostra total, seguida pela Taipei Medical University (n = 10), University of London (n = 8) e Mayo Clinic (n = 7).

A colaboração interinstitucional foi caracterizada por redes de pesquisa compartimentalizadas, compostas por agrupamentos com interação limitada. O agrupamento laranja representa uma rede de colaboração euro-australiana envolvendo a Deakin University e a University of Granada, destacando a contribuição de grupos de pesquisa especializados em ciência da computação e processamento de sinais (Figura 2A).

A rede alemã, representada pelo agrupamento vermelho, caracteriza-se por uma intensa colaboração regional entre centros médicos, liderada pela Johannes Gutenberg University Mainz, University of Bonn e Hannover Medical School. O agrupamento verde representa o consórcio de pesquisa britânico, compreendendo fortes vínculos colaborativos entre a University of London, Imperial College London e King's College London.

#### Análise dos autores

A produtividade dos autores foi liderada por Alizadehsani R (n = 4), seguido por Górriz JM (n = 3). Em termos de impacto local, definido como o número de vezes que um documento dentro do conjunto de dados analisado foi citado por outros documentos do mesmo conjunto de dados, oito autores empataram com a maior pontuação, cada um com quatro citações locais: Alizadehsani R, Alkadhi H, Di Noto T, Gantert E, Manka R, Mannil M, Soda P e von Spiczak J.

A aplicação da Lei de Lotka demonstrou um desvio acentuado em relação à distribuição teórica clássica.<sup>9</sup> No geral, 98,4% dos autores contribuíram com apenas uma única publicação, enquanto apenas uma pequena proporção foi autora de dois ou mais artigos.

A rede de coautoria na pesquisa sobre inteligência artificial aplicada à miocardite foi fragmentada em oito agrupamentos

**Tabela 1 – Líderes globais em produtividade científica na pesquisa sobre inteligência artificial aplicada à miocardite**

| Classificação | Principais países (citações totais) | Principais instituições (total de artigos) | Periódicos mais citados (citações totais)          |
|---------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1             | Reino Unido (152)                   | University of Bonn (11)                    | Circulation (58)                                   |
| 2             | China (76)                          | Taipei Medical University (10)             | Journal of the American College of Cardiology (53) |
| 3             | Alemanha (63)                       | University of London (8)                   | Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance (42)  |
| 4             | Suíça (36)                          | Mayo Clinic (7)                            | Radiology (42)                                     |
| 5             | Estados Unidos (36)                 | Technical University of Munich (6)         | European Heart Journal (34)                        |
| 6             | Austrália (32)                      | Imperial College London (5)                | JACC: Cardiovascular Imaging (33)                  |
| 7             | Itália (16)                         | Deakin University (4)                      | Lecture Notes in Computer Science (33)             |
| 8             | Áustria (8)                         | Johannes Gutenberg University Mainz (4)    | European Radiology (25)                            |
| 9             | Irã (8)                             | Medical University of Innsbruck (4)        | Scientific Reports (22)                            |
| 10            | Coreia (4)                          | Okayama University (4)                     | arXiv (21)                                         |

*Nota: Os dados representam as 10 principais entidades em cada categoria com base nas publicações indexadas na Web of Science Core Collection (2019-2026). Os valores entre parênteses indicam o número total de citações para países e periódicos e o número total de artigos originais para as instituições.*

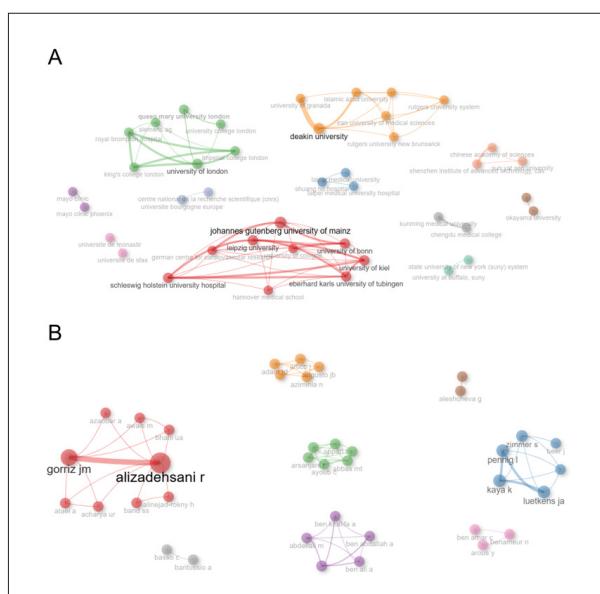
distintos, dois dos quais estavam centrados nos autores com maior impacto local. O maior agrupamento (vermelho) foi organizado em torno de Alizadehsani R e Górriz JM, enquanto o agrupamento azul compreendeu Kaya K, Luetkens JA, Pennig L e Zimmer S. A visualização da rede evidencia a presença de grupos colaborativos isolados, sem conexões externas, sendo a espessura das ligações representativa da frequência de coautoria direta (Figura 2B).

Indicadores adicionais de impacto científico local, incluindo o índice H e o índice M, caracterizaram ainda mais a influência dos autores no campo. Alizadehsani R alcançou o maior índice H ( $H = 4$ ), com quatro publicações recebendo pelo menos quatro citações cada. Górriz JM ocupou a segunda posição ( $H = 3$ ). Após ajuste pela idade acadêmica, Górriz JM obteve o maior índice M ( $M = 1,0$ ), seguido por Alizadehsani R ( $M = 0,8$ ). Três autores adicionais apresentaram desempenho comparável, cada um com índice H igual a 2 e índice M igual a 0,67: Kaya K, Luetkens JA e Pennig L (Figura 3).

### Análise dos periódicos

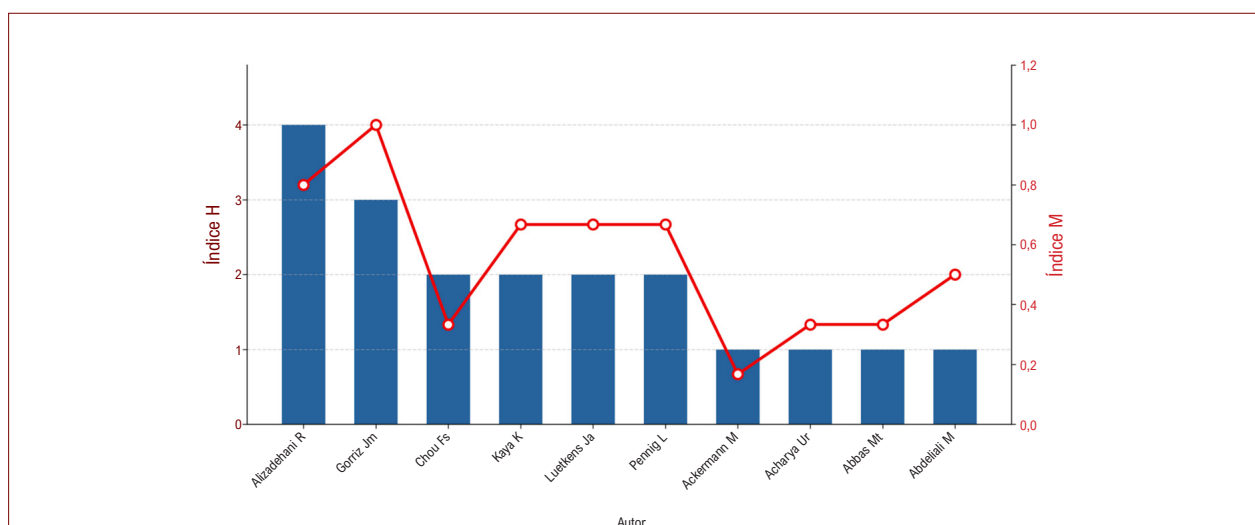
A distribuição da produção científica por periódico identificou o Journal of Clinical Medicine como o periódico mais produtivo, com quatro artigos publicados. Entretanto, a análise do impacto local de citações mostrou que o periódico Circulation ocupou a primeira posição em número total de citações ( $n = 58$ ), seguido pelo Journal of the American College of Cardiology ( $n = 53$ ), Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance ( $n = 42$ ) e Radiology ( $n = 42$ ) (Tabela 1).

A aplicação da Lei de Bradford caracterizou a dispersão das publicações e identificou os periódicos centrais deste campo de pesquisa.<sup>10</sup> A análise revelou um pequeno núcleo (Zona 1),



**Figura 2 – Redes de colaboração institucional e entre autores.** A) Rede de colaboração institucional. B) Rede de colaboração entre autores.

composto por quatro periódicos que concentraram o maior número de publicações sobre o tema, cada um contribuindo com dois artigos: i) CAAI Transactions on Intelligence Technology; ii) Diagnostics; iii) Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance; e iv) Quantitative Imaging in Medicine and Surgery.



**Figura 3 – Métricas de impacto dos autores.**

### Análise das citações globais

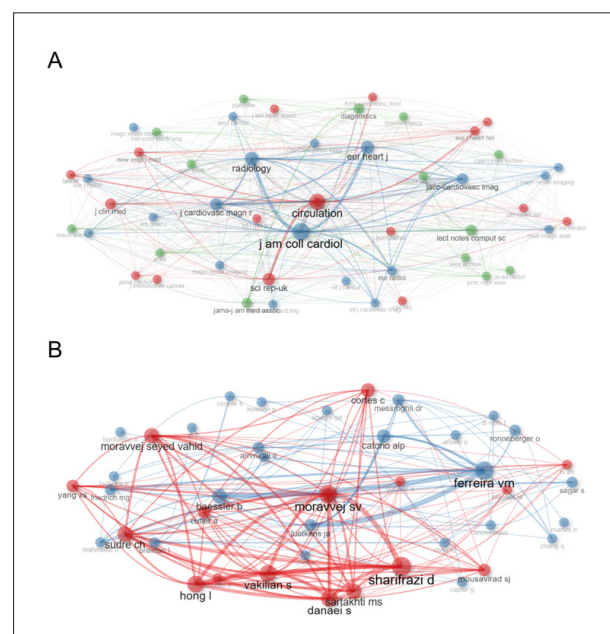
As contagens globais de citações fornecem um indicador da influência científica de um artigo na comunidade acadêmica em sentido amplo. A publicação mais citada do conjunto de dados ( $n = 116$ ) foi o estudo de primeira autoria de Joy C,<sup>11</sup> intitulado “Prospective Case-Control Study of Cardiovascular Abnormalities 6 Months Following Mild COVID-19 in Healthcare Workers,” publicado no Journal of the American College of Cardiology. O estudo investigou anormalidades cardiovasculares após infecção por SARS-CoV-2 utilizando abordagens analíticas baseadas em inteligência artificial.

O segundo artigo mais citado ( $n = 41$ ), intitulado “CNN-KCL: Automatic myocarditis diagnosis using convolutional neural network combined with k-means clustering”, teve Sharifrazi D como primeiro autor,<sup>12</sup> com Alizadehsani R como coautor. O estudo propôs uma estrutura baseada em aprendizado profundo para o diagnóstico automatizado da miocardite.

### Análise das referências cocitadas

A estrutura intelectual da pesquisa sobre inteligência artificial aplicada à miocardite foi mapeada por meio da análise de redes de cocitação em três níveis: i) periódicos; ii) autores; e iii) referências individuais.

A rede de cocitação de periódicos apresentou uma estrutura tripartite. O agrupamento vermelho representa a cardiologia clínica e compreende periódicos de alto impacto, incluindo Circulation, Journal of the American College of Cardiology e European Heart Journal. O agrupamento azul corresponde ao domínio da imagem cardiovascular, abrangendo periódicos especializados como Radiology, Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance e JACC: Cardiovascular Imaging. O agrupamento verde reflete a dimensão tecnológica e multidisciplinar do campo, integrando periódicos de ciência da computação e de pesquisa científica geral, com o periódico Lecture Notes in Computer Science ocupando posição de destaque (Figura 4A).



**Figura 4 – Redes de cocitação de periódicos e autores. A) Rede de cocitação de periódicos. B) Rede de cocitação de autores.**

A rede de cocitação de autores revelou duas principais frentes intelectuais na interseção entre inteligência artificial e miocardite. O agrupamento azul representa o domínio clínico e diagnóstico, centrado em Ferreira VM, cujo trabalho sobre ressonância magnética cardiovascular tornou-se um marco no diagnóstico da inflamação miocárdica (Figura 4B).<sup>13</sup>

O agrupamento vermelho representa o domínio algorítmico e metodológico, centrado em autores cujos trabalhos se concentram no desenvolvimento de modelos computacionais, incluindo Moravvej SV,<sup>14</sup> Vakilian S<sup>15</sup> e Hong L.<sup>16</sup> Esse agrupamento também inclui importantes cientistas da

computação, como Cortes C, codesevolvedor das máquinas de vetores de suporte (SVMs).<sup>17</sup> A rede demonstra uma forte conexão estrutural entre esses dois domínios, refletindo a frequente cocitação de autores das ciências médicas e computacionais.

No nível das referências, a rede de cocitação posiciona o artigo de Ferreira VM (2018) em seu centro, conectando múltiplos agrupamentos temáticos. Essa publicação seminal introduziu a atualização dos critérios de Lake Louise para o diagnóstico da miocardite por meio da ressonância magnética cardiovascular.<sup>13</sup> A rede também destaca contribuições metodológicas fundamentais, incluindo o trabalho de Cortes C,<sup>17</sup> que estabeleceu as bases teóricas das SVMs. Com base nesses estudos fundamentais, emergiu um conjunto denso e altamente interconectado de pesquisas aplicadas recentes, com contribuições notáveis de Moravvej SV (2021, 2022), Danaei S (2022), Sudre CH (2017) e Hong L (2023) (Figura 5).

### Análise de coocorrência

A estrutura conceitual do campo foi mapeada por meio da análise de coocorrência de palavras-chave, identificando termos que coocorreram frequentemente entre os artigos incluídos no conjunto de dados. Três palavras-chave de alta frequência (*myocarditis*, *diagnosis* e *artificial intelligence*) serviram como nós centrais dos principais agrupamentos temáticos (Figura 6).

O agrupamento vermelho está centrado em *myocarditis* e relaciona cenários clínicos desafiadores, incluindo miocardite fulminante e miocardite associada a inibidores de *checkpoint* imunológico, a abordagens computacionais avançadas, como redes adversariais generativas, aprendizado por reforço e técnicas de aumento de dados.

O agrupamento azul está organizado em torno de *diagnosis* e compreende termos relacionados ao desenvolvimento de algoritmos, incluindo *deep learning*, *classification* e *prediction*, que estão fortemente associados à ressonância magnética cardiovascular. Os agrupamentos verde e roxo conectam *artificial intelligence* e *machine learning* a diagnósticos diferenciais e biomarcadores de imagem, incluindo sarcoidose cardíaca, miocardite viral e realce tardio pelo gadolínio.

Os agrupamentos laranja e marrom sugerem a influência substancial da pandemia de covid-19 sobre a evolução da literatura. O agrupamento laranja está centrado em *COVID-19* e *SARS-CoV-2*, enquanto os agrupamentos marrom e roxo refletem a influência das recomendações de sociedades profissionais, representadas por termos como *position statement* e *working group*, destacando os esforços em andamento para padronizar o diagnóstico da miocardite. Quando a rede foi filtrada para reter apenas as associações mais fortes, a relação mais proeminente e densamente conectada foi observada entre os nós *diagnosis*, *cardiovascular magnetic resonance imaging* e *myocarditis*.

### Hotspots de pesquisa e tendências emergentes

A estrutura intelectual do campo e as frentes emergentes de pesquisa foram caracterizadas por meio de um mapa temático, que classifica os domínios de pesquisa em quatro quadrantes de acordo com a densidade (grau de desenvolvimento) e a centralidade (relevância dentro da rede de pesquisa).

O quadrante superior direito compreende os temas motores, caracterizados por elevada centralidade e elevada densidade, representando os tópicos mais influentes e bem desenvolvidos do campo. Os temas predominantes incluem *cardiovascular magnetic resonance*, *artificial intelligence*, *magnetic resonance imaging*, *outcomes* e *position statement* (Figura 7).

O quadrante inferior direito contém os temas básicos, que são altamente relevantes para o campo, mas apresentam menor grau de desenvolvimento interno. Esse quadrante inclui *deep learning*, *magnetic resonance imaging* e *strain*. Na interface com os temas motores encontram-se agrupamentos relacionados a *myocarditis*, *COVID-19*, *SARS-CoV-2*, *disease* e *fulminant myocarditis*.

O quadrante superior esquerdo contém os temas de nicho, que são altamente desenvolvidos, mas permanecem periféricos à rede geral de pesquisa. Entre eles estão *endomyocardial biopsy* e *inflammatory cardiomyopathy*. O quadrante inferior esquerdo compreende temas emergentes ou em declínio, cuja interpretação depende de sua evolução temporal. Essa região é dominada por termos amplos

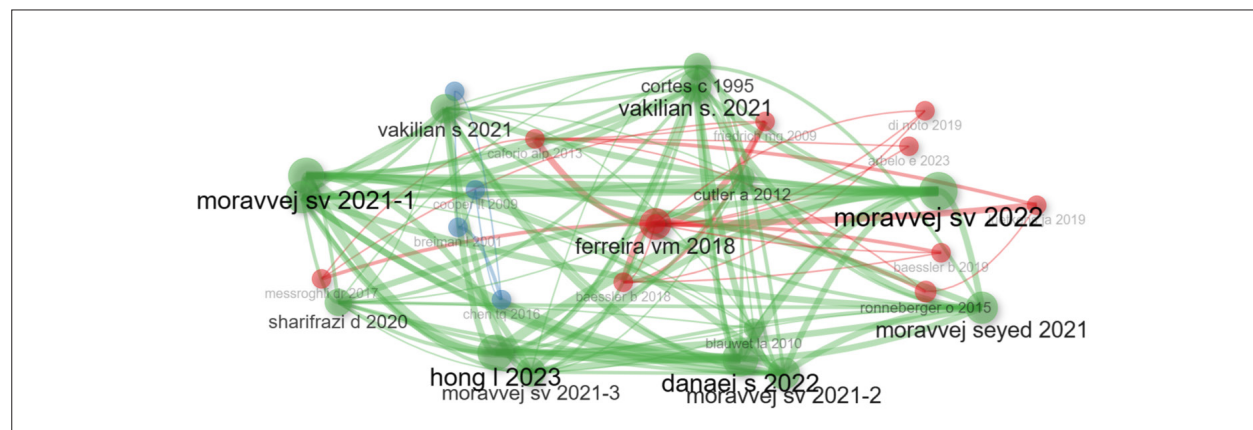


Figura 5 – Rede de cocitação de referências.

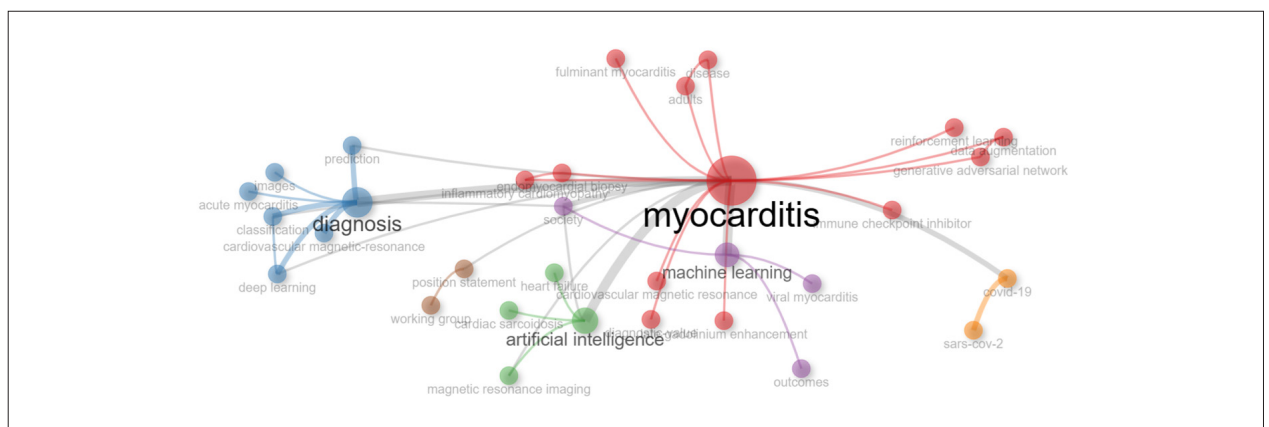


Figura 6 – Rede de coocorrência de palavras-chave.

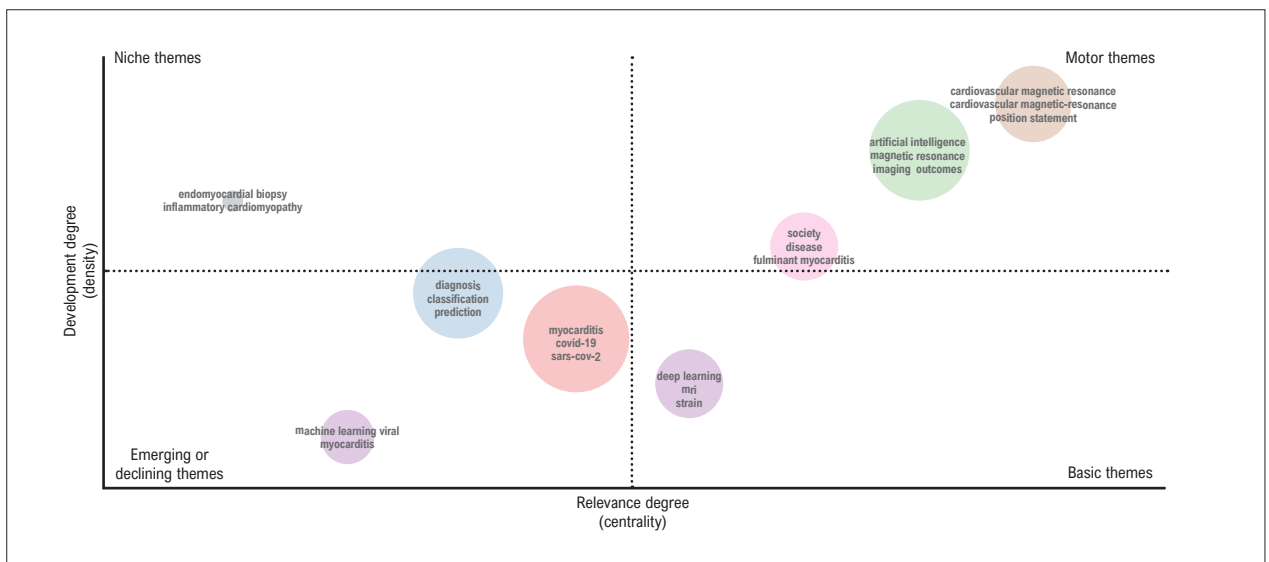


Figura 7 – Mapa temático das tendências de pesquisa e dos hotspots emergentes.

orientados à predição, incluindo *classification*, *prediction*, *diagnosis* e *machine learning*.

As análises temporais baseadas na frequência das palavras-chave e nos gráficos de tendências temáticas identificaram um claro ponto de inflexão em 2021, correspondente ao acentuado aumento da produção científica, impulsionado pelo rápido crescimento dos termos *myocarditis*, *diagnosis* e *artificial intelligence*. A partir de 2023, *deep learning* e *cardiovascular magnetic resonance* tornaram-se progressivamente mais proeminentes. Entre todas as palavras-chave, *machine learning* apresentou o período mais longo de uso sustentado ao longo do intervalo estudado.

## Discussão

Esta análise bibliométrica indica que a interseção entre inteligência artificial e miocardite representa um campo de pesquisa emergente e ainda relativamente imaturo. A produção científica aumentou acentuadamente após

2021, coincidindo com a pandemia de covid-19, que provavelmente atuou como um catalisador global para as pesquisas nessa área. O crescente interesse clínico na lesão miocárdica induzida por vírus, juntamente com a disponibilidade de grandes conjuntos de dados hospitalares gerados durante a pandemia, pode ter acelerado a adoção de algoritmos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo para estratificação de risco e apoio diagnóstico em pacientes com suspeita de miocardite.<sup>11,18</sup>

O recente declínio no número médio de citações por artigo não deve ser interpretado como evidência de redução da relevância científica. Uma explicação mais plausível é a latência de citações, uma limitação inerente às análises bibliométricas.<sup>19</sup> Artigos publicados nos últimos 24 meses tiveram tempo limitado para acumular citações. Assim, o pico de citações observado em 2021 provavelmente reflete a base metodológica sobre a qual as pesquisas subsequentes nesse campo foram desenvolvidas.

Apesar disso, a taxa atual de crescimento permanece modesta quando comparada ao campo mais amplo da cardiologia.<sup>20</sup> Esse achado sugere que as aplicações da inteligência artificial na miocardite ainda estão passando por um processo de consolidação metodológica. Espera-se que a expansão contínua da inteligência artificial na cardiologia ocorra nas próximas décadas, particularmente na imagem cardiovascular, área na qual se prevê que as abordagens baseadas em inteligência artificial desempenhem um papel cada vez mais proeminente.<sup>3,21</sup>

A análise das contribuições em nível de país revelou estratégias de pesquisa distintas entre as principais nações produtoras de conhecimento científico. A China respondeu pelo maior número de publicações, sugerindo uma forte ênfase nacional no desenvolvimento e na implementação de tecnologias diagnósticas baseadas em inteligência artificial. Em contraste, a rede de pesquisa europeia, liderada pelo Reino Unido e pela Alemanha, produziu menos publicações, mas alcançou impacto de citações substancialmente maior, com a maioria dos estudos mais citados originando-se desses países. Os Estados Unidos apresentaram um perfil de pesquisa predominantemente nacional, possivelmente refletindo maior dependência de conjuntos de dados institucionais e privados do que de consórcios internacionais de colaboração. Um achado notável foi a completa ausência de publicações provenientes da América Latina, do Caribe e da África. Esse desequilíbrio geográfico suscita importantes preocupações quanto à validade externa e à generalização dos modelos de inteligência artificial para miocardite, uma vez que os conjuntos de dados de treinamento e validação podem representar inadequadamente essas populações, aumentando, assim, o risco de viés algorítmico em sistemas de apoio à decisão clínica.<sup>22</sup>

A estrutura de autoria do campo também permanece altamente fragmentada. De acordo com a Lei de Lotka, 98,4% dos autores contribuíram com apenas uma única publicação sobre o tema, indicando um panorama de pesquisa caracterizado por contribuições isoladas, em vez de uma atividade contínua por parte de grupos de pesquisa dedicados.<sup>9</sup> O exame da formação acadêmica dos autores com maior impacto local destaca outra característica definidora do campo: sua acentuada interdisciplinaridade e o papel de liderança atualmente desempenhado por pesquisadores das áreas de engenharia, ciência da computação e outras disciplinas quantitativas no avanço da inteligência artificial aplicada à medicina.<sup>23</sup> Juan Manuel Górriz, que alcançou o maior índice M (1,0), possui formação em Física e Engenharia Eletrônica e é especialista em processamento estatístico de sinais para aplicações biomédicas.<sup>24</sup> Roohallah Alizadehsani, que liderou o campo tanto em número de publicações quanto em índice H, possui doutorado em Engenharia da Computação e concentra suas pesquisas no desenvolvimento de algoritmos de aprendizado de máquina para doenças cardiovasculares.<sup>25</sup>

Esse perfil sugere que o desenvolvimento metodológico e tecnológico dos modelos de inteligência artificial está atualmente avançando mais rapidamente do que sua validação clínica. O papel de destaque desempenhado por engenheiros e cientistas de dados indica que a pesquisa

tem se concentrado principalmente no desenvolvimento, treinamento e otimização de modelos computacionais capazes de processar conjuntos de dados complexos, particularmente dados de imagem cardiovascular e outros dados clínicos de alta dimensionalidade.<sup>26</sup>

Um padrão semelhante é observado nos principais periódicos do campo. A disseminação científica está concentrada em periódicos voltados à inovação em imagem cardiovascular e tecnologias diagnósticas, refletindo a dependência dos atuais modelos de inteligência artificial de biomarcadores derivados de exames de imagem para a detecção da miocardite. A translação dessas tecnologias para a prática clínica rotineira, entretanto, provavelmente exigirá maior ênfase na pesquisa translacional.<sup>3</sup> A superação da lacuna entre o desenvolvimento computacional e a implementação à beira do leito dependerá de equipes multidisciplinares, nas quais a expertise em desenvolvimento de algoritmos seja integrada à interpretação fisiopatológica e à rigorosa curadoria de dados realizada por cardiologistas e pesquisadores clínicos.

Essa evolução do paradigma diagnóstico também se reflete no mapa temático e nas redes de coocorrência de palavras-chave. Embora a biópsia endomiocárdica permaneça como o tradicional padrão-ouro diagnóstico, ela está posicionada em um agrupamento temático de nicho, enquanto as técnicas de imagem cardiovascular dominam os temas motores. As pesquisas atuais estão cada vez mais voltadas ao refinamento de algoritmos de aprendizado profundo e aprendizado de máquina para identificar padrões sutis em exames de imagem e melhorar o desempenho de abordagens diagnósticas não invasivas.<sup>3,13,21</sup>

Além de melhorar a acurácia diagnóstica, estudos recentes têm explorado o uso de inteligência artificial generativa e de técnicas de aumento de dados para enfrentar a limitada disponibilidade de dados referentes a apresentações clínicas raras ou subdiagnosticadas, incluindo miocardite fulminante e miocardite associada a inibidores de *checkpoint* imunológico.<sup>27,28</sup> Paralelamente, o destaque da palavra-chave *outcomes* entre os temas motores reflete o crescente interesse pela modelagem prognóstica e pela predição de eventos clínicos. Por fim, a coocorrência de termos relacionados à inteligência artificial com palavras-chave orientadas por diretrizes, como *position statement* e *working group*, sugere uma ênfase crescente no estabelecimento de estruturas padronizadas para a avaliação, validação e relato de aplicações de inteligência artificial em imagem cardiovascular.<sup>29</sup>

### Limitações

Diversas limitações deste estudo devem ser reconhecidas. Primeiramente, a extração dos dados foi restrita à Web of Science Core Collection; portanto, artigos relevantes indexados exclusivamente em bases de dados como Scopus, Embase ou PubMed podem não ter sido capturados. Ainda assim, a Web of Science foi selecionada por fornecer os metadados padronizados necessários para análises robustas de redes bibliométricas e de citações.<sup>6</sup>

Em segundo lugar, a estratégia de busca baseou-se em palavras-chave predefinidas. Consequentemente, estudos

que descrevem técnicas computacionais específicas (p.ex., *random forests* ou SVMs), sem incluir explicitamente os termos mais amplos *artificial intelligence* ou *machine learning* no título, resumo ou palavras-chave, podem ter sido excluídos.

Em terceiro lugar, as análises bibliométricas estão inerentemente sujeitas ao viés de latência de citações,<sup>19</sup> pelo qual artigos publicados recentemente dispõem de tempo insuficiente para acumular citações, independentemente de sua qualidade científica ou de seu impacto potencial. Essa limitação foi parcialmente abordada por meio da incorporação do índice M, que considera a natureza dependente do tempo da acumulação de citações.

Por fim, o número relativamente pequeno de publicações incluídas (n = 47) pode limitar a generalização dos achados. Entretanto, essa característica também reflete o estágio inicial de desenvolvimento da pesquisa em inteligência artificial aplicada à miocardite, destacando o surgimento de um campo de pesquisa especializado e ainda em expansão.

## Conclusão

Esta análise bibliométrica fornece uma visão abrangente do panorama científico global na interseção entre inteligência artificial e miocardite. O campo permanece em estágio inicial de desenvolvimento, caracteriza-se por marcadas disparidades geográficas e é atualmente impulsionado predominantemente por pesquisadores das áreas de engenharia e ciência da computação, em vez de cardiologistas clínicos. Sua expansão recente coincidiu com a pandemia de covid-19, enquanto a ressonância magnética cardiovascular emergiu como a principal fonte de dados que sustenta os modelos diagnósticos baseados em inteligência artificial.

A translação bem-sucedida dessas tecnologias para a prática clínica rotineira provavelmente dependerá da colaboração multidisciplinar e da validação rigorosa em populações diversas, particularmente em regiões que permanecem sub-representadas na literatura atual, como América Latina, Caribe e África. Embora este estudo tenha sido limitado a uma única base de dados bibliográfica e tenha incluído um número relativamente pequeno de publicações,

esses achados fornecem uma base valiosa para futuras investigações e contribuem para uma melhor compreensão da evolução, do estado atual e das perspectivas futuras desse campo em rápido desenvolvimento.

## Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa e Análise estatística: Costa GCFO, Rodriguez JGV, Costa GFO; Obtenção de dados: Costa GCFO, Costa GFO; Análise e interpretação dos dados, Redação do manuscrito e Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Costa GCFO, Rodriguez JGV, Costa GFO, Pimentel AML, Mesquita ET.

## Potencial Conflito de Interesse

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

## Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

## Vinculação Acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

## Aprovação Ética e Consentimento Informado

Este artigo não contém estudos com humanos ou animais realizados por nenhum dos autores.

## Uso de Inteligência Artificial

Os autores não utilizaram ferramentas de inteligência artificial no desenvolvimento deste trabalho.

## Disponibilidade de Dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo está disponível mediante solicitação ao autor correspondente.

## Referências

1. Tschöpe C, Ammirati E, Bozkurt B, Caforio ALP, Cooper LT, Felix SB, et al. Myocarditis and Inflammatory Cardiomyopathy: Current Evidence and Future Directions. *Nat Rev Cardiol*. 2021;18(3):169-93. doi: 10.1038/s41569-020-00435-x.
2. Jensen G, Wang X, Kuempel J, Palaskas N, Chen Z, Yu W, et al. Immune Checkpoint Inhibitor-Associated Myocarditis: A Historical and Comprehensive Review. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2025;328(4):H734-51. doi: 10.1152/ajpheart.00687.2024.
3. Rajpurkar P, Chen E, Banerjee O, Topol EJ. AI in Health and Medicine. *Nat Med*. 2022;28(1):31-8. doi: 10.1038/s41591-021-01614-0.
4. Donthu N, Kumar S, Mukherjee D, Pandey N, Lim WM. How to Conduct a Bibliometric Analysis: An Overview and Guidelines. *J Bus Res*. 2021;133:285-96. doi: 10.1016/j.jbusres.2021.04.070.
5. Aria M, Cuccurullo C. Bibliometrix: An R-Tool for Comprehensive Science Mapping Analysis. *J Informetr*. 2017;11(4):959-75. doi: 10.1016/j.joi.2017.08.007.
6. Birkle C, Pendlebury DA, Schnell J, Adams J. Web of Science as a Data Source for Research on Scientific and Scholarly Activity. *Quant Sci Stud*. 2020;1(1):363-76. doi: 10.1162/qss\_a\_00018.
7. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71.
8. van Eck NJ, Waltman L. Software Survey: VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. *Scientometrics*. 2010;84(2):523-38. doi: 10.1007/s11192-009-0146-3.

9. Lotka AJ. The Frequency Distribution of Scientific Productivity. *J Wash Acad Sci*. 1926;16:317-23.
10. Bradford SC. Sources of Information on Specific Subjects. *Engineering*. 1934;137:85-6.
11. Joy G, Artico J, Kurdi H, Seraphim A, Lau C, Thornton GD, et al. Prospective Case-Control Study of Cardiovascular Abnormalities 6 Months Following Mild COVID-19 in Healthcare Workers. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2021;14(11):2155-66. doi: 10.1016/j.jcmg.2021.04.011.
12. Sharifrazi D, Alizadehsani R, Joloudari JH, Band SS, Hussain S, Sani ZA, et al. CNN-KCL: Automatic Myocarditis Diagnosis Using Convolutional Neural Network Combined with k-Means Clustering. *Math Biosci Eng*. 2022;19(3):2381-402. doi: 10.3934/mbe.2022110.
13. Ferreira VM, Schulz-Menger J, Holmvang G, Kramer CM, Carbone I, Sechtem U, et al. Cardiovascular Magnetic Resonance in Nonischemic Myocardial Inflammation: Expert Recommendations. *J Am Coll Cardiol*. 2018;72(24):3158-76. doi: 10.1016/j.jacc.2018.09.072.
14. Moravvej SV, Alizadehsani R, Khanam S, Sobhaninia Z, Shoeibi A, Khozeimeh F, et al. RLMD-PA: A Reinforcement Learning-Based Myocarditis Diagnosis Combined with a Population-Based Algorithm for Pretraining Weights. *Contrast Media Mol Imaging*. 2022;2022:8733632. doi: 10.1155/2022/8733632.
15. Vakilian S, Moravvej SV, Fanian A. Using the Cuckoo Algorithm to Optimizing the Response Time and Energy Consumption Cost of Fog Nodes by Considering Collaboration in the Fog Layer. *Int Conf Internet Things Appl*. 2021;1-5. doi:10.1109/IoT52625.2021.9469722.
16. Hong L, Modirrousta MH, Nasirpour MH, Chagari MM, Mohammadi F, Moravvej SV, et al. GAN-LSTM-3D: An Efficient Method for Lung Tumour 3D Reconstruction Enhanced by Attention-Based LSTM. *CAAI Trans Intell Technol*. 2023;1-10. doi: 10.1049/cit2.12223.
17. Cortes C, Vapnik V. Support-Vector Networks. *Mach Learn*. 1995;20:273-97. doi: 10.1007/BF00994018.
18. Krittanawong C, Virk HUH, Bangalore S, Wang Z, Johnson KW, Pinotti R, et al. Machine Learning Prediction in Cardiovascular Diseases: A Meta-Analysis. *Sci Rep*. 2020;10(1):16057. doi: 10.1038/s41598-020-72685-1.
19. Wang D, Song C, Barabási AL. Quantifying Long-Term Scientific Impact. *Science*. 2013;342(6154):127-32. doi: 10.1126/science.1237825.
20. Zhang Y, Xie J, Fu E, Cai W, Xu W. Artificial Intelligence in Cardiology: A Bibliometric Study. *Am J Transl Res*. 2024;16(3):1029-35. doi: 10.62347/HSFE6936.
21. Lim LJ, Tison GH, Delling FN. Artificial Intelligence in Cardiovascular Imaging. *Methodist Debaque Cardiovasc J*. 2020;16(2):138-45. doi: 10.14797/mdcj-16-2-138.
22. Celi LA, Cellini J, Charpignon ML, Dee EC, Dernoncourt F, Eber R, et al. Sources of Bias in Artificial Intelligence that Perpetuate Healthcare Disparities-A Global Review. *PLOS Digit Health*. 2022;1(3):e0000022. doi: 10.1371/journal.pdig.0000022.
23. Topol EJ. High-Performance Medicine: The Convergence of Human and Artificial Intelligence. *Nat Med*. 2019;25(1):44-56. doi: 10.1038/s41591-018-0300-7.
24. Górriz JM, Ramírez J, Ortíz A, Martínez-Murcia FJ, Segovia F, Suckling J, et al. Artificial Intelligence within the Interplay between Natural and Artificial Computation: Advances in Data Science, Trends and Applications. *Neurocomputing*. 2020;410:237-70. doi: 10.1016/j.neucom.2020.05.078.
25. Alizadehsani R, Abdar M, Roshanzamir M, Khosravi A, Kebria PM, Khozeimeh F, et al. Machine Learning-Based Coronary Artery Disease Diagnosis: A Comprehensive Review. *Comput Biol Med*. 2019;111:103346. doi: 10.1016/j.combiomed.2019.103346.
26. Morales MA, Manning WJ, Nezafat R. Present and Future Innovations in AI and Cardiac MRI. *Radiology*. 2024;310(1):e231269. doi: 10.1148/radiol.231269.
27. Echefu G, Shah R, Sanchez Z, Rickards J, Brown SA. Artificial Intelligence: Applications in Cardio-Oncology and Potential Impact on Racial Disparities. *Am Heart J Plus*. 2024;48:100479. doi: 10.1016/j.ahjo.2024.100479.
28. Chen RJ, Lu MY, Chen TY, Williamson DFK, Mahmood F. Synthetic Data in Machine Learning for Medicine and Healthcare. *Nat Biomed Eng*. 2021;5(6):493-7. doi: 10.1038/s41551-021-00751-8.
29. Sengupta PP, Shrestha S, Berthon B, Messas E, Donal E, Tison GH, et al. Proposed Requirements for Cardiovascular Imaging-Related Machine Learning Evaluation (PRIME): A Checklist: Reviewed by the American College of Cardiology Healthcare Innovation Council. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020;13(9):2017-35. doi: 10.1016/j.jcmg.2020.07.015.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença de atribuição pelo Creative Commons