O PAPEL DA RESSONÂNCIA MAGNÉTICA T2* NO DIAGNÓSTICO PRECOCE DA SOBRECARGA DE FERRO CARDÍACA EM PACIENTES TALASSÊMICOS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

GEOVANNA MARCELO BROLEZI[1]

[1] Estudante de Biomedicina do Centro Universitário Amparense (UNIFIA).

ADRIANE LUISE NACIF BUSIZ LOPES[2]

[2] Biomédica e professora do curso de Biomedicina do Centro Universitário Amparense (UNIFIA).

RESUMO

A talassemia é um distúrbio genético caracterizado por defeitos na síntese da hemoglobina, cujo tratamento por transfusões contínuas resulta em sobrecarga de ferro progressiva. O acúmulo miocárdico desse mineral é a complicação mais severa, sendo responsável por óbitos devido à insuficiência cardíaca e arritmias. Embora exames laboratoriais como a ferritina sérica monitorem as reservas sistêmicas, eles sofrem interferências inflamatórias e não refletem diretamente o depósito cardíaco. O objetivo deste trabalho foi analisar o papel da ressonância magnética (RM) com técnica T2* no diagnóstico precoce da sobrecarga de ferro cardíaca em pacientes talassêmicos. Para isso, realizou-se uma revisão integrativa da literatura por meio do levantamento de dados científicos e diretrizes do Ministério da Saúde. Os resultados indicam que a RM T2* consolida-se como um método não invasivo, capaz de detectar o acúmulo férrico antes da manifestação de sintomas clínicos. Valores de T2* inferiores a 20 milissegundos (ms) apontam deposição significativa, e índices abaixo de 10 ms alertam para alto risco de falência cardíaca, enquanto valores acima de 20 ms indicam baixo risco.

Palavras-chave: Talassemia; Sobrecarga de ferro; Imagem por ressonância magnética; Miocárdio.

ABSTRACT

Thalassemia is a genetic disorder characterized by defects in hemoglobin synthesis, whose continuous transfusion therapy results in progressive iron overload. Myocardial

accumulation of this mineral is the most severe complication, being responsible for deaths due to heart failure and arrhythmias. Although laboratory tests such as serum ferritin monitor systemic reserves, they are subject to inflammatory interferences and do not directly reflect cardiac deposition. The objective of this study was to analyze the role of magnetic resonance imaging (MRI) with the T2* technique in the early diagnosis of cardiac iron overload in thalassemic patients. To this end, an integrative literature review was conducted by gathering scientific data and guidelines from the Ministry of Health. The results indicate that T2* MRI establishes itself as the non-invasive gold-standard method, capable of detecting ferric accumulation before the manifestation of clinical symptoms. T2* values below 20 milliseconds (ms) point to significant deposition, and indices below 10 ms warn of a high risk of heart failure, while values above 20 ms indicate low risk.

Keywords: Thalassemia; Iron overload; Magnetic resonance imaging; Myocardium.

1 INTRODUÇÃO

A talassemia é uma doença hereditária caracterizada pela redução ou ausência da síntese de uma ou mais cadeias de globina que compõem a hemoglobina. Na talassemia beta, por exemplo, alterações genéticas herdadas dos pais, reduzem ou interrompem a produção da cadeia beta; a gravidade da doença varia conforme o tipo de alteração genética presente (Pinheiro *et al*., 2025).

Nas formas mais graves, é necessária a administração regular de sangue ou hemoderivados. Nesses casos, pode ocorrer evolução para problemas cardíacos em decorrência do excesso de ferro proveniente das transfusões ou da anemia associada a falta de transfusão. As transfusões frequentes favorecem o acúmulo de ferro no organismo e podem causar danos progressivos a órgãos vitais, como coração e fígado. Por isso, pode ser necessário o uso de medicamentos quelantes de ferro, além da realização periódica da ressonância magnética T2* (RM-T2*), método utilizado para avaliar os níveis de ferro acumulado nesses órgãos (Brasil, 2026).

A escolha do tema é justificada pela alta prevalência de complicações cardíacas em pacientes talassêmicos e pela necessidade de métodos diagnósticos precisos para guiar a terapia quelante de ferro. A ferritina sérica, embora amplamente utilizada, pode sofrer influência de processos inflamatórios, neoplasias, consumo excessivo de álcool, dentre outros. A RM T2* permite a intervenção precoce, permitindo a intervenção necessária. Para a Biomedicina, o tema evidencia a atuação do profissional em imagenologia, incluindo a operação do equipamento e o pós-processamento quantitativo, e na patologia clínica, correlacionando achados de imagem

com marcadores hematológicos. Tal estudo também reforça a importância da abordagem interdisciplinar no cuidado ao paciente talassêmico (Brasil, 2026; Conselho Federal de Biomedicina, 2013).

Diante da relevância da técnica para a conduta terapêutica e do papel do biomédico no processo, formula-se a seguinte questão: qual é a acurácia da Ressonância Magnética T2* na detecção e monitorização da sobrecarga de ferro miocárdica em pacientes com talassemia? Parte-se da hipótese de que a RM T2* permite identificar o depósito miocárdico de ferro antes da manifestação de alterações clínicas evidentes.

O objetivo geral é analisar o papel da ressonância magnética T2* na detecção e monitorização da sobrecarga de ferro miocárdica em pacientes com talassemia. Como objetivos específicos, busca-se descrever os fundamentos físicos e técnicos do método para quantificação de ferro; identificar os valores de referência de T2* cardíaco relacionados ao risco de disfunção miocárdica; comparar o método com outras formas de avaliação; e discutir suas limitações técnicas e perspectivas futuras.

2 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, de natureza qualitativa e descritiva. Buscou-se responder à importância da ressonância magnética cardíaca T2* na avaliação da sobrecarga de ferro em pacientes com talassemia. Para a seleção dos materiais, foram consultadas as bases de dados SciELO, PubMed e Google Acadêmico, além de publicações do Ministério da Saúde. A busca foi realizada utilizando-se os descritores: “Talassemia”, “Sobrecarga de ferro”, “Ressonância Magnética” e “T2*”. Foram estabelecidos como critérios de inclusão: artigos científicos originais, publicados no período de 2018 a 2026, disponíveis na íntegra, alinhados à temática da avaliação da acurácia da ressonância magnética T2* cardíaca em pacientes com talassemia. Como critérios de exclusão, adotaram-se: estudos publicados em anos anteriores a 2018.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Talassemia e sobrecarga de ferro

A talassemia se caracteriza pela redução ou ausência da síntese de uma ou mais cadeias de globina, alfa ou beta, que originam a hemoglobina, podendo resultar em anemia microcítica e hipocrômica. Classificação em major (mais grave), intermédia (intermediária) e menor (assintomática), dividida de acordo com a cadeia afetada, β—talassemia (cadeia beta afetada),

a mais comum, e α talassemia (cadeia alfa afetada) (Pinheiro *et al*., 2025; Assis, 2025; Teixeira, 2023).

As manifestações clínicas e a gravidade variam de acordo com o padrão genético do indivíduo. Podendo variar de casos assintomáticos a manifestações como fadiga, alterações de humor, maior suscetibilidade a infecções, atraso no desenvolvimento físico, dispneia, palidez acentuada e icterícia, perda de apetite e peso, além de poderem apresentar fraqueza, aumento do abdômen, alterações nos ossos, desproporção no crescimento dos membros e colúria (urina escura) (Carvalho *et al.*, 2025).

A necessidade contínua de transfusões associada à eritropoiese ineficaz culmina na sobrecarga gradual de ferro. Cada concentrado de hemácias fornece entre 200 mg e 250 mg de ferro, e o organismo humano não dispõe de vias fisiológicas para eliminar o excesso. O ferro acumula-se sob as formas de ferritina e hemossiderina nos tecidos, podendo exercer efeitos tóxicos. De forma paralela, a eritropoiese ineficaz e a secreção de eritroferrona reduzem a síntese de hepcidina, hormônio regulador da homeostase férrica, intensifica sua absorção intestinal e liberação de ferro pelos macrófagos, contribuindo para a sobrecarga (Gomes; Rezende; Oliveira, 2025; Carvalho *et al.*, 2025).

Por apresentar elevada reatividade química, o ferro pode alternar entre as formas ferrosa (Fe^{2+}) e férrica (Fe^{3+}), o que resulta na transferência de elétrons. Propriedade essa que contribui para processos essenciais ao organismo, como a atividade dos citocromos, a síntese de DNA, o metabolismo celular e o crescimento. Entretanto, essa mesma característica favorece a formação de radicais livres, que podem provocar danos às membranas celulares, às proteínas e aos ácidos nucleicos, além de desencadear processos de fibrose e morte celular (Chatzikalil *et al*., 2026).

Na talassemia beta maior, o excesso acumulado no músculo cardíaco pode causar lesões celulares diretas e prejudicar a função do órgão. Entre as consequências específicas estão as alterações do ritmo cardíaco, os distúrbios na condução dos impulsos elétricos e a evolução para quadros graves de insuficiência cardíaca (Carvalho *et al.*, 2025; Brasil, [202-?]).

3.2 Métodos laboratoriais e limitações

A avaliação da sobrecarga de ferro utiliza exames laboratoriais como o aumento na saturação da transferrina, indicador da sobrecarga e a ferritina sérica, importante e comumente utilizada, no entanto pode sofrer alterações relacionadas a diversas condições inflamatórias, hemólise, uso excessivo de álcool, neoplasias, dentre outras. Além de não medir diretamente a quantidade de ferro depositada no miocárdio, limitando assim sua especificidade por si só para

a confirmação da sobrecarga de ferro (Brasil, 2026; Gomes; Rezende; Oliveira, 2025; Chatzikalil *et al*., 2026).

3.3 Ressonância magnética e avaliação do depósito miocárdico

A ressonância magnética (RM) é uma técnica não invasiva, que representa um papel importante na quantificação do ferro tecidual utilizando sequências específicas validadas. Permite estimar a concentração de ferro em órgãos como fígado, pâncreas e coração, reduzindo a necessidade de procedimentos invasivos em determinadas avaliações. que torna importante a avaliar especificamente cada órgão de interesse. Entre as limitações do exame estão a claustrofobia e a presença de dispositivos metálicos ferromagnéticos. Marca-passos e CDIs exigem acompanhamento especializado e podem gerar artefatos nas imagens (Chatzikalil *et al*., 2026; Sociedade Brasileira de Cardiologia; Colégio Brasileiro de Radiologia, 2024).

A ressonância magnética cardíaca (RMC) é um exame importante na cardiologia, permitindo avaliar com precisão os volumes e as funções ventriculares, inclusive em cardiopatias congênitas. Para o diagnóstico preciso do ferro acumulado no miocárdio, a técnica T2* é considerada um método de referência para a avaliação não invasiva da sobrecarga férrica miocárdica. Permite a identificação precoce da sobrecarga, antes do aparecimento de sinais clínicos evidentes de disfunção cardíaca. O ferro altera o campo magnético local e acelera a perda do sinal nas imagens; assim, valores menores de T2* indicam maior concentração tecidual e maior risco de complicações. O Ministério da Saúde reforça a indicação da ressonância T2* para o monitoramento contínuo das reservas de ferro no coração e no fígado, permitindo o ajuste oportuno do tratamento (Gomes; Rezende; Oliveira, 2025; Ferreira, 2019; Brasil, 2026).

TABELA 1 - Uso dos mapas multiparamétricos na avaliação das miocardiopatias

Indicação	**Classe de recomendação**	**Nível de evidência**
T2* na avaliação quantitativa de depósito de ferro miocárdico	I	A

Fonte: Adaptado de Sociedade Brasileira de Cardiologia; Colégio Brasileiro de Radiologia (2024).

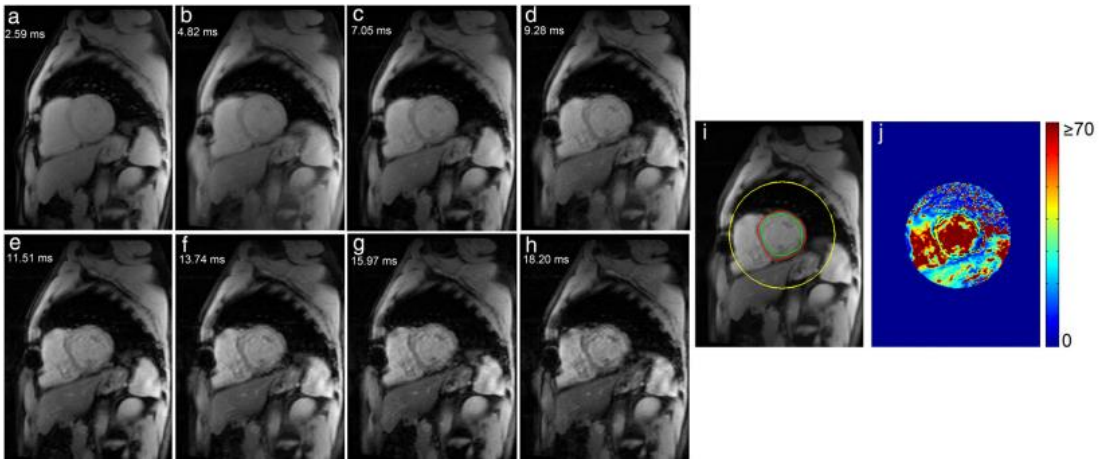
TABELA 2 – Utilização da ressonância magnética cardíaca no diagnóstico e manejo de portadores de sobrecarga de ferro miocárdico

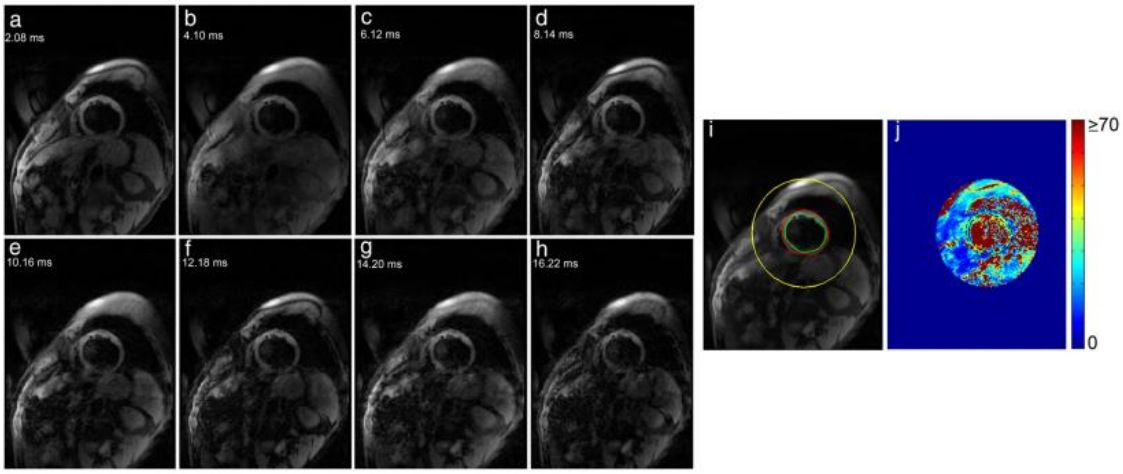
Indicação	Classe de recomendação	Nível de evidência
Cardiomiopatia siderótica, especialmente secundária à talassemia	I	A
Avaliação diagnóstoca de ferro hepático e miocárdico por técnica de T2* quantitativa	I	A
Seguimento evolutivo para monitorização terapêutica de sobrecarga de ferro por técnica de T2* quantitativa	I	A

Fonte: Adaptado de Sociedade Brasileira de Cardiologia; Colégio Brasileiro de Radiologia (2024).

A avaliação do T2* é realizada preferencialmente pela sequência MGE de eco de gradiente bright-blood (sangue brilhante), que permite adquirir múltiplas imagens com diferentes tempos de eco (TE) durante uma única apneia, associada à sincronização eletrocardiográfica. O tempo de aquisição depende da frequência cardíaca, sendo recomendado um atraso de aproximadamente 10 milissegundos após a onda R, no final da diástole, para reduzir artefatos de movimento cardíaco. O ângulo de inclinação (flip angle) geralmente varia entre 20° e 35°. Em pacientes com dificuldade para manter a apneia, pode-se aumentar o número de excitações ou utilizar a aquisição durante a respiração livre, alternativa ainda pouco empregada e que pode ser útil em casos de arritmia (Triadyaksa; Oudkerk; Sijens, 2020).

Figura 1 – Comparação das técnicas Bright-blood e Black-blood na aquisição de imagens de ressonância magnética cardíaca para avaliação do T2* miocárdico.



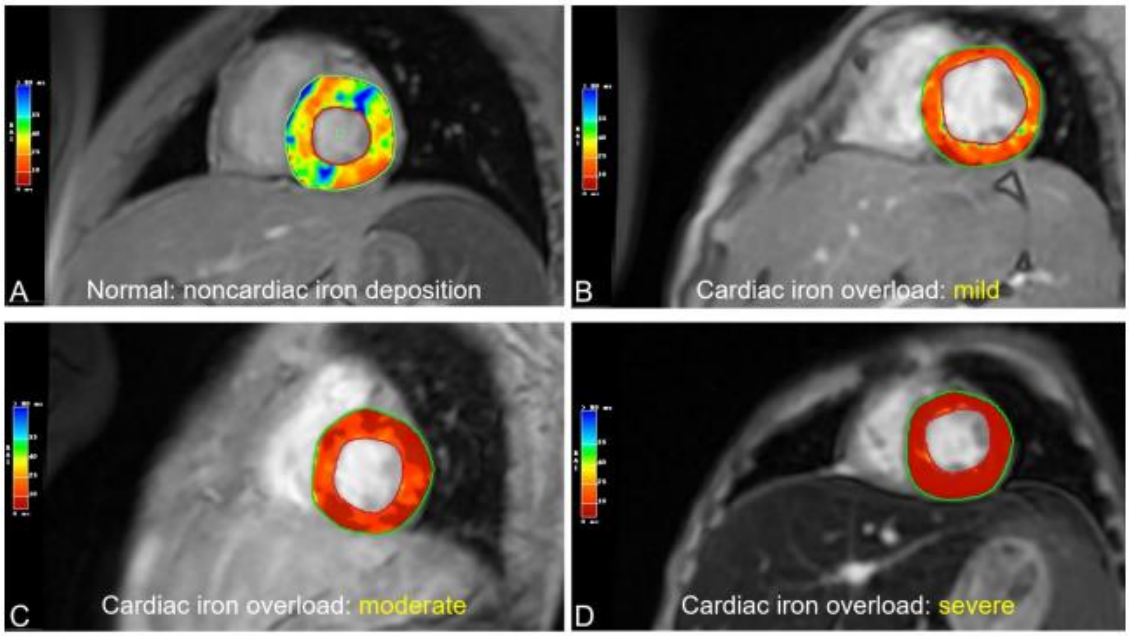


A: Imagens obtidas pela técnica Bright-blood. B: Imagens obtidas pela técnica Black-blood. As sequências de A a H representam diferentes tempos de eco; I demonstra a delimitação da região miocárdica e J apresenta o mapa colorido de T2*.

Fonte: Adaptado de Triadyaksa, Oudkerk e Sijens, 2020.

A medida do T2* permite quantificar em milissegundos o ferro no coração, convertido em concentração por meio de softwares específicos. O T2* cardíaco também auxilia no prognóstico e monitoramento da quelação, sendo recomendado a partir dos 7–10 anos, com repetição anual ou em intervalos de 6 a 24 meses dependendo do estado clinico do paciente. Em aparelhos de 1,5 T, amplamente utilizado, valores acima de 20 ms (menos de 1,16 mg/g) não indica sobrecarga de ferro cardíaca, baixo risco de insuficiência cardíaca (IC), entre valores entre 10 e 20 ms indicam sobrecarga de ferro leve a moderada, enquanto valores abaixo de 10 ms (acima de 2,7 mg/g) indicam sobrecarga de ferro grave e maior risco de IC e arritmias (Sociedade Brasileira de Cardiologia; Colégio Brasileiro de Radiologia, 2024; Triadyaksa; Oudkerk; Sijens, 2020).

Figura 2 – Classificação dos diferentes graus de sobrecarga de ferro miocárdica por ressonância magnética T2*



A: Miocárdio sem deposição significativa de ferro (T2* superior a 35 ms); B: sobrecarga de ferro leve (17,5 ms); C: sobrecarga moderada (11,4 ms); D: sobrecarga grave (6,3 ms).

Fonte: Zhang *et al.*, 2025.

Portanto, a associação entre exames laboratoriais, ressonância magnética e avaliação clínica contribui para o monitoramento da sobrecarga de ferro e para a orientação do tratamento. Enquanto a ferritina sérica permite acompanhar as variações das reservas de ferro, a ressonância magnética possibilita avaliar sua concentração em órgãos específicos, especialmente no fígado e no coração (Brasil, 2026; Gomes; Rezende; Oliveira, 2025).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo permitiu constatar que a sobrecarga de ferro secundária à terapia transfusional crônica é uma complicação crítica na talassemia, sendo o acúmulo miocárdico associado ao risco de insuficiência cardíaca e arritmias. Diante das limitações dos biomarcadores laboratoriais clássicos, como a ferritina sérica, que sofre interferências de estados inflamatórios, por exemplo, não refletindo com precisão os depósitos cardíacos, a ressonância magnética cardíaca com a técnica T2* constitui uma ferramenta relevante para a avaliação não invasiva. O monitoramento por T2* permite identificar a disposição de ferro e estratificar o risco de acordo com os valores obtidos, apoiando ajustes terapêuticos oportunos.

Contudo, a aplicabilidade prática do método ainda enfrenta barreiras, como custos elevados, disponibilidade limitada de equipamentos e necessidade de protocolos padronizados e profissionais capacitados. Portanto, para trabalhos futuros, sugere-se a realização de pesquisas

voltadas à avaliação de viabilidade econômica e estratégias de descentralização desse exame no Sistema Único de Saúde (SUS), visando ampliar o acesso à tecnologia.

REFERÊNCIAS

ASSIS, Isabella Macedo (org.). **Guia prático de hematologia clínica**: a série vermelha. São Paulo: Setor de Publicações – Centro Universitário São Camilo, 2025. 96 p. ISBN 978-85-87121-82-0. Disponível em: https://saocamilo-sp.br/wp-content/uploads/2025/07/GUIA-PRATICO-DE-HEMATOLOGIA-CLINICA-FINAL.pdf. Acesso em: 25 out. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HEMATOLOGIA, HEMOTERAPIA E TERAPIA CELULAR (ABHH). **Consenso sobre talassemia**. [S. l.]: ABHH, 2024. Disponível em: https://abhh.com.br/consenso/CONSENSO-TALASSEMIA5.pdf. Acesso em: 25 out. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas: Sobrecarga de Ferro**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2026. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/pcdt/s/sobrecarga-de-ferro. Acesso em: 12 out. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Talassemia**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, [202-?] Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/t/talassemia. Acesso em: 12 out. 2026.

CARVALHO, Klayver Raffael Avelino de *et al*. Educação em saúde sobre a talassemia: aspectos fisiopatológicos e genéticos, sinais e sintomas, métodos diagnósticos e abordagens terapêuticas. **JNT – Facit Business and Technology Journal**, [S. l.], v. 1, n. 62, p. 329-346, maio 2025. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.15476318. Disponível em: https://revistas.faculdadefacit.edu.br/index.php/JNT/article/view/3468/2325. Acesso em: 12 out. 2026.

CHATZIKALIL, E.; DELAPORTA, P.; BISTAS, K.; KATTAMIS, A. Iron Overload: Pathophysiology, Diagnosis and Monitoring. **International Journal of Laboratory Hematology**, v. 48, n. 4, p. 747-756, Aug. 2026. DOI: 10.1111/ijlh.70132. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/42083434/. Acesso em: 27 out. 2026.

CONSELHO FEDERAL DE BIOMEDICINA (CFBM). **Resolução nº 234, de 5 de dezembro de 2013**. Dispõe sobre as atribuições do biomédico habilitado na área de imagenologia, radiologia, biofísica, instrumentação médica que compõe o diagnóstico por imagem e terapia. Brasília, DF: CFBM, 2013. Disponível em: https://cfbm.gov.br/wp-content/uploads/2013/12/RESOLUCAO-CFBM-No-234-DE-05-DE-DEZEMBRO-DE-2013.pdf. Acesso em: 25 out. 2026.

FERREIRA, Vasco Manuel Dias Amélio Fernandes. **Sobrecarga de ferro na criança transfundida**. 2019. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina) – Faculdade de Medicina, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019. Disponível em: https://repositorio.ulisboa.pt/entities/publication/f3d17ef1-94ad-469a-b080-ff52c1b4ba47. Acesso em: 12 out. 2026.

GOMES, Hector Diego Porfirio; REZENDE, Gabriel de Oliveira; OLIVEIRA, Talita Brito de. Ferritina sérica e sobrecarga férrica na talassemia beta maior: revisão narrativa da literatura e implicações clínicas para o manejo transfusional. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 23, n. 12, p. 1-26, 2025. DOI: https://doi.org/10.55905/oelv23n12-016. Disponível em: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10636172.pdf. Acesso em: 12 out. 2026.

PINHEIRO, Alaíde Maria Rodrigues; ARCANJO, Ana Kélvia Araújo; PORTELA, Antonia Moemia Lúcia Rodrigues; OLIVEIRA, Deivide de Sousa; FROTA, Liana Amora Leite (org.). **Hematologia e hemoterapia para a graduação**. Campina Grande, PB: Amplla Editora, 2025. Disponível em: https://ampllaeditora.com.br/books/2025/03/HematologiaHemoterapiaGraduacao.pdf. Acesso em: 25 out. 2026. DOI: https://doi.org/10.51859/amplla.hhg642.1125-0.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARDIOLOGIA; COLÉGIO BRASILEIRO DE RADIOLOGIA. Diretriz de Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética Cardiovascular – 2024. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, Rio de Janeiro, v. 121, n. 9, e20240638, 2024. Disponível em: https://abccardiol.org/wp-content/uploads/2024/09/Diretriz_Ressonancia-e-Tomografia_portugues.x81990.pdf. Acesso em: 2 nov. 2026.

TEIXEIRA, Ana Carolina Zarpelon. **Talassemia: uma revisão**. São José do Rio Preto, SP: Academia de Ciência e Tecnologia, 2023. Disponível em: https://ciencianews.com.br/arquivos/ACET/IMAGENS/biblioteca-digital/hematologia/serie_vermelha/talassemias/2023-Talassemia%20%20-%20uma%20revis%C3%A3o%20-%20Ana%20Carolina%20Zarpelon%20Teixeira.pdf. Acesso em: 28 maio 2026.

TRIADYAKSA, P.; OUDKERK, M.; SIJENS, P. E. Cardiac T2 mapping: techniques and clinical applications. **Journal of Magnetic Resonance Imaging**, v. 52, n. 5, p. 1340-1351, nov. 2020. DOI: 10.1002/jmri.27023. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7687175/. Acesso em: 29 out. 2026.

ZHANG, S.; ZHAO, W.; SUN, L. *et al*. Evaluation of cardiac iron deposition and genotypic classification in pediatric beta-thalassemia major: the role of cardiac magnetic resonance. **BMC Medical Imaging**, v. 25, art. 31, 2025. DOI: https://doi.org/10.1186/s12880-025-01567-7. Acesso em: 2 nov. 2026.