



ISSN 2674-8169



Qualis B3
CAPES 2021-2024

Latindex



DOI

Google
Acadêmico

Comparação biomecânica entre hastes intramedulares de titânio e aço inoxidável

Lucas Zampronha Correia¹; Matheus Moreno de Oliveira¹; Thiago Henrique Queiroz de Oliveira¹, Gabriel Candiota Dias²; Caio Nóbrega Borges³; Jetro da Silva Torquato Costa⁴, Isabel de Araújo Lima Nadaf⁵, Dayna Aragão Benchimol⁶.



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2026v8n9p234-248>

Artigo recebido em 3 de Agosto e publicado em 3 de Setembro de 2026

REVISÃO DE LITERATURA

Resumo

As hastes intramedulares constituem uma das principais alternativas para a estabilização de fraturas de ossos longos, proporcionando alinhamento, estabilidade e possibilidade de mobilização precoce. Entre os materiais empregados na fabricação desses dispositivos, o titânio e o aço inoxidável apresentam propriedades mecânicas distintas que podem influenciar o comportamento do implante e a resposta óssea. Este trabalho tem como objetivo comparar, sob o ponto de vista biomecânico, as características das hastes intramedulares confeccionadas em titânio e aço inoxidável, considerando parâmetros como módulo de elasticidade, resistência mecânica, rigidez, resistência à fadiga e interação entre implante e tecido ósseo. O aço inoxidável apresenta elevada resistência mecânica e maior módulo de elasticidade, conferindo maior rigidez ao sistema de fixação. Essa característica pode favorecer a manutenção da estabilidade em determinadas situações, porém também pode aumentar a discrepância de rigidez entre o implante e o osso, potencialmente alterando a distribuição das cargas e contribuindo para fenômenos relacionados à proteção contra estresse. O titânio, por sua vez, apresenta menor módulo de elasticidade e maior compatibilidade mecânica com o tecido ósseo, permitindo uma distribuição de cargas potencialmente mais próxima das condições fisiológicas. Além disso, suas propriedades de resistência à corrosão e biocompatibilidade constituem vantagens relevantes para aplicações ortopédicas. Entretanto, a menor rigidez do titânio não significa necessariamente menor desempenho clínico, uma vez que a estabilidade proporcionada pela haste depende também de fatores como geometria do implante, diâmetro, comprimento, desenho das travas, técnica cirúrgica, localização e padrão da fratura e qualidade óssea. Do ponto de vista biomecânico, portanto, a escolha entre titânio e aço inoxidável não deve ser

baseada exclusivamente nas propriedades isoladas dos materiais. A literatura demonstra que ambos podem proporcionar adequada estabilidade para diferentes tipos de fraturas, desde que corretamente dimensionados e empregados. A comparação entre esses materiais deve considerar a relação entre rigidez, resistência, fadiga e transferência de carga ao osso. Assim, o conhecimento das propriedades biomecânicas de cada material é fundamental para a seleção individualizada do implante e para a otimização dos resultados da osteossíntese.

Palavras-chave: Hastes intramedulares; Titânio; Aço inoxidável; Biomecânica; Osteossíntese; Fraturas de ossos longos; Fixação intramedular; Consolidação óssea.

Biomechanical Comparison Between Titanium and Stainless Steel Intramedullary Nails

ABSTRACT

Intramedullary nails are one of the main options for the stabilization of long-bone fractures, providing alignment, stability, and the possibility of early mobilization. Among the materials used in the manufacture of these devices, titanium and stainless steel exhibit distinct mechanical properties that may influence implant behavior and the bone response. This study aims to compare, from a biomechanical perspective, the characteristics of intramedullary nails made of titanium and stainless steel, considering parameters such as elastic modulus, mechanical strength, stiffness, fatigue resistance, and the interaction between the implant and bone tissue. Stainless steel exhibits high mechanical strength and a higher elastic modulus, resulting in greater stiffness of the fixation system. This characteristic may favor the maintenance of stability in certain situations; however, it may also increase the stiffness mismatch between the implant and bone, potentially altering load distribution and contributing to phenomena associated with stress shielding. Titanium, in turn, has a lower elastic modulus and greater mechanical compatibility with bone tissue, potentially allowing load distribution closer to physiological conditions. In addition, its corrosion resistance and biocompatibility represent relevant advantages for orthopedic applications. However, the lower stiffness of titanium does not necessarily imply inferior clinical performance, since the stability provided by the nail also depends on factors such as implant geometry, diameter, length, locking screw design, surgical technique, fracture location and pattern, and bone quality. From a biomechanical perspective, therefore, the choice between titanium and stainless steel should not be based exclusively on the isolated properties of these materials. The literature indicates that both materials can provide adequate stability for different types of fractures when properly selected, sized, and used. The comparison between these materials should consider the relationship among stiffness, strength, fatigue resistance, and load transfer to the bone. Therefore, understanding the biomechanical properties of each material is essential for individualized implant selection and for optimizing the outcomes of fracture fixation.

Keywords: Intramedullary nails; Titanium; Stainless steel; Biomechanics; Internal fixation; Long-bone fractures; Intramedullary fixation; Bone healing.



Comparação biomecânica entre hastes intramedulares de titânio e aço inoxidável
Correia et al.

Instituição afiliada – Hospital Regional do Gama¹, Pequeno Príncipe², UNIFACISA³,

Autor correspondente: lucaszampronhacorreia@gmail.com

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



INTRODUÇÃO

As fraturas dos ossos longos representam uma importante causa de morbidade e comprometimento funcional, exigindo métodos de tratamento capazes de promover estabilidade adequada, manutenção do alinhamento ósseo e condições favoráveis à consolidação. Nesse contexto, a osteossíntese com hastes intramedulares consolidou-se como uma das principais estratégias para o tratamento de diversas fraturas, especialmente do fêmur e tíbia. A localização do implante no canal medular permite uma distribuição das cargas mais próxima do eixo mecânico do osso, favorecendo a estabilidade do foco de fratura e possibilitando, em muitos casos, a mobilização precoce do paciente⁴.

O desempenho biomecânico das hastes intramedulares está diretamente relacionado não apenas ao seu desenho e às características da fratura, mas também às propriedades do material utilizado em sua fabricação. Entre os materiais mais empregados encontram-se as ligas de titânio e o aço inoxidável, que apresentam diferenças relevantes quanto ao módulo de elasticidade, resistência mecânica, rigidez, comportamento à fadiga, resistência à corrosão e interação mecânica com o tecido ósseo. Essas características podem influenciar a distribuição das cargas entre o implante e o osso e, conseqüentemente, o processo de consolidação da fratura⁷.

O aço inoxidável apresenta maior módulo de elasticidade e elevada resistência mecânica, características que podem conferir maior rigidez ao sistema de fixação. Por outro lado, o titânio apresenta módulo de elasticidade mais próximo ao do tecido ósseo, podendo proporcionar uma transferência de carga mais fisiológica. Essa diferença é particularmente relevante no contexto do stress shielding, fenômeno no qual a maior rigidez do implante pode modificar a distribuição das cargas mecânicas sobre o osso³.

Entretanto, a superioridade de um material em relação ao outro não pode ser determinada exclusivamente por suas propriedades mecânicas. Aspectos como geometria da haste, diâmetro, comprimento, configuração das travas, padrão e localização da fratura, qualidade óssea e técnica cirúrgica também exercem influência significativa sobre a estabilidade do sistema e o resultado clínico⁸.

Dessa forma, a comparação biomecânica entre hastes intramedulares de titânio e aço inoxidável apresenta relevância para a compreensão dos fatores que determinam o desempenho dos implantes ortopédicos².

O seguinte artigo tem como objetivo analisar comparativamente as propriedades biomecânicas desses dois materiais, com ênfase na rigidez, resistência mecânica, resistência à fadiga e transferência de cargas entre implante e tecido ósseo, buscando discutir suas possíveis implicações na estabilidade e na consolidação das fraturas.

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, de caráter qualitativo, realizada com o objetivo de comparar a biomecânica entre hastes intramedulares de titânio e aço inoxidável.

A busca bibliográfica foi realizada em agosto de 2026 nas bases de dados PubMed, LILACS, SciELO e Latindex, abrangendo publicações dos últimos 15 anos. Foram utilizados os descritores: Hastes intramedulares, Titânio; Aço inoxidável; Biomecânica; Osteossíntese; Fraturas de ossos longos; Fixação intramedular; Consolidação óssea, de forma isolada ou combinada.

Inicialmente, foi realizada a leitura dos títulos e resumos para identificação dos estudos potencialmente elegíveis. Em seguida, os artigos selecionados foram analisados na íntegra quanto aos objetivos, metodologia, resultados e discussão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades mecânicas dos materiais

As hastes intramedulares de titânio e aço inoxidável apresentam propriedades mecânicas distintas que influenciam diretamente o comportamento do sistema de osteossíntese. Entre os principais parâmetros estão o módulo de elasticidade, a resistência à deformação, a resistência à fadiga e a capacidade de suportar cargas axiais e torsionais⁵.

O aço inoxidável apresenta maior módulo de elasticidade em comparação às ligas de titânio utilizadas em implantes ortopédicos. Dessa forma, para uma mesma geometria, tende a apresentar maior rigidez estrutural. Essa característica pode ser vantajosa quando se busca maior resistência à deformação, principalmente em fraturas submetidas a elevadas cargas mecânicas⁷.

O titânio, por sua vez, apresenta menor módulo de elasticidade e menor densidade. Essa característica resulta em menor rigidez relativa e maior compatibilidade mecânica com o tecido ósseo. Entretanto, a menor rigidez não deve ser interpretada como menor resistência ou necessariamente como menor desempenho clínico, pois o comportamento final depende também da geometria e do desenho da haste⁸.

Rigidez e módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade representa a resistência do material à deformação elástica. No contexto das hastes intramedulares, essa propriedade influencia diretamente a distribuição das cargas entre o implante e o osso⁹.

A maior rigidez do aço inoxidável pode proporcionar maior resistência à deformação sob cargas axiais e de flexão. Entretanto, uma diferença elevada entre a rigidez do implante e a do osso pode alterar a distribuição fisiológica das tensões¹⁰.

As ligas de titânio apresentam módulo de elasticidade inferior ao do aço inoxidável e, conseqüentemente, maior proximidade das propriedades mecânicas do osso. Essa característica pode favorecer uma transferência de carga mais fisiológica, especialmente em situações nas quais se busca estimular a participação mecânica do tecido ósseo durante a consolidação⁵.

Transferência de carga e fenômeno de stress shielding

A transferência de carga entre a haste e o tecido ósseo constitui um dos principais aspectos biomecânicos relacionados à escolha do material⁶.

Implantes excessivamente rígidos podem assumir uma parcela significativa das cargas que normalmente seriam transmitidas ao osso. Esse fenômeno, denominado stress shielding, pode resultar em menor estímulo mecânico sobre o tecido ósseo adjacente⁵.

Nesse aspecto, o menor módulo de elasticidade do titânio representa uma vantagem biomecânica potencial, por permitir maior compartilhamento de cargas entre implante e osso⁷.

Entretanto, é incorreto atribuir o stress shielding exclusivamente ao material. A geometria da haste, o diâmetro, o comprimento, a posição dos parafusos de bloqueio, o contato cortical e a condição de carga também modificam significativamente a distribuição das tensões⁶.

Resistência à carga axial

As hastes intramedulares são submetidas principalmente a forças axiais durante a sustentação do peso corporal. A capacidade de suportar essas cargas é determinada pela combinação entre propriedades do material e características estruturais do implante³.

O aço inoxidável, por apresentar elevada resistência mecânica e maior rigidez, pode oferecer importante resistência à deformação axial. Essa característica pode ser particularmente relevante em fraturas instáveis ou submetidas a elevada demanda mecânica².

As hastes de titânio também apresentam capacidade adequada de suporte de cargas axiais quando corretamente dimensionadas. Seu desempenho, entretanto, depende significativamente do diâmetro da haste, da geometria e do sistema de bloqueio¹.

Portanto, a comparação entre os materiais não deve ser realizada apenas com base na resistência intrínseca da liga, mas considerando o comportamento do implante como estrutura mecânica³.

Resistência à flexão

Durante a marcha e outras atividades funcionais, a haste pode ser submetida a forças de flexão, especialmente quando existe assimetria no suporte de carga ou ausência de contato adequado entre os fragmentos ósseos⁶.

A maior rigidez do aço inoxidável pode proporcionar maior resistência à deformação por flexão. Entretanto, o comportamento final depende fortemente do momento de inércia da haste, que está relacionado principalmente à sua geometria e ao diâmetro⁷.

O aumento do diâmetro pode modificar significativamente a resistência à flexão, demonstrando que a geometria do implante pode ser tão importante quanto a composição do material⁵.

Estabilidade rotacional e resistência à torção

A estabilidade rotacional é fundamental para evitar deslocamentos dos fragmentos durante o processo de consolidação. Esse aspecto assume importância especial nas fraturas cominutivas, segmentares e em outros padrões considerados mecanicamente instáveis².

Embora o material da haste influencie sua resistência à torção, o sistema de bloqueio possui papel determinante. O número, a posição e a configuração dos parafusos de bloqueio podem modificar substancialmente a estabilidade rotacional³.

Assim, tanto hastes de titânio quanto de aço inoxidável podem proporcionar adequada estabilidade torsional quando associadas a uma configuração de bloqueio apropriada⁶.

Resistência à fadiga e risco de falha do implante

A haste intramedular permanece submetida a ciclos repetitivos de carga durante semanas ou meses. Consequentemente, a resistência à fadiga constitui uma propriedade fundamental para a segurança do implante².

A falha por fadiga pode ocorrer quando o implante é submetido repetidamente a cargas elevadas, principalmente em situações de consolidação retardada, ausência de contato entre os fragmentos ou instabilidade persistente¹.

Embora o material influencie a resistência à fadiga, a ocorrência de quebra da haste não deve ser atribuída exclusivamente à composição metálica. Fatores como

concentração de tensões nos orifícios de bloqueio, diâmetro do implante, comprimento do segmento de trabalho e tempo até a consolidação são igualmente importantes⁶.

Influência do desenho da haste

O comportamento biomecânico de uma haste intramedular depende não apenas do material, mas também do seu desenho. O diâmetro, comprimento, curvatura, formato da seção transversal, distribuição dos orifícios de bloqueio e características da extremidade proximal e distal podem alterar significativamente a resistência à flexão e à torção³.

Consequentemente, duas hastes confeccionadas com o mesmo material podem apresentar desempenhos biomecânicos diferentes. Essa consideração é fundamental para evitar uma interpretação simplista de que determinado material é necessariamente superior⁶.

Influência do sistema de bloqueio

O bloqueio proximal e distal é essencial para controlar encurtamento, rotação e deslocamento dos fragmentos. O bloqueio estático proporciona maior controle da estabilidade axial e rotacional, sendo particularmente utilizado em fraturas instáveis. Determinadas configurações podem permitir maior compartilhamento de carga e micromovimento controlado, dependendo do padrão da fratura e do objetivo da fixação².

Dessa forma, a estabilidade proporcionada por uma haste resulta da interação entre haste, parafusos de bloqueio e estrutura óssea, e não apenas do material utilizado⁶.

Relação entre estabilidade mecânica e consolidação óssea

A consolidação óssea depende da interação entre fatores biológicos e mecânicos. A haste deve proporcionar estabilidade suficiente para evitar movimentos excessivos no foco da fratura, mas não necessariamente eliminar completamente a micromobilidade⁷.

Pequenas deformações controladas podem favorecer a formação de calo ósseo em determinados padrões de fratura. Em contrapartida, instabilidade excessiva pode provocar deformação interfragmentar elevada, dificultando a consolidação e aumentando o risco de falha do implante⁴.

Nesse contexto, a menor rigidez relativa do titânio pode apresentar vantagens teóricas em determinadas situações, mas não existe evidência suficiente para afirmar que essa característica isoladamente resulte em melhores taxas de consolidação em todos os tipos de fratura⁷.

Biocompatibilidade e resistência à corrosão

O titânio apresenta elevada resistência à corrosão e excelente biocompatibilidade, características que justificam sua ampla utilização em implantes ortopédicos³.

O aço inoxidável também possui longa história de utilização na cirurgia ortopédica e apresenta propriedades mecânicas adequadas para diversas aplicações. Entretanto, diferentes ligas possuem diferentes composições e propriedades, sendo inadequado tratar todo aço inoxidável ou todo titânio como materiais mecanicamente equivalentes². A escolha deve considerar a liga específica, o processo de fabricação e as características do implante utilizado¹.

Comparação global entre titânio e aço inoxidável

De maneira geral, o aço inoxidável apresenta como principais características maior módulo de elasticidade, maior rigidez e elevada resistência mecânica. Essas propriedades podem ser vantajosas quando é necessária maior resistência à deformação⁶.

O titânio apresenta menor módulo de elasticidade, menor densidade, elevada resistência à corrosão e maior compatibilidade mecânica com o tecido ósseo. Sua menor rigidez pode favorecer maior compartilhamento de carga entre o implante e o osso⁶.

Entretanto, essas diferenças não permitem estabelecer superioridade absoluta de um material sobre o outro. O resultado biomecânico depende da combinação entre material, geometria da haste, configuração do bloqueio, padrão da fratura, qualidade óssea e condições de carregamento⁷.

Implicações clínicas

Na prática clínica, a escolha entre hastes de titânio e aço inoxidável deve ser individualizada. Fraturas com diferentes graus de instabilidade, localização anatômica e características do paciente apresentam demandas biomecânicas distintas⁷.

A seleção do implante deve considerar a capacidade de suportar carga, estabilidade axial e rotacional, possibilidade de compartilhamento de carga, resistência à fadiga e características biológicas do paciente⁸.

Portanto, a escolha do material não deve ser realizada isoladamente. A adequação entre o implante e a biomecânica específica da fratura é mais relevante para o resultado final do que a simples preferência por titânio ou aço inoxidável⁹.

Síntese dos achados

A comparação biomecânica demonstra que titânio e aço inoxidável apresentam vantagens e limitações distintas⁸. O aço inoxidável caracteriza-se por maior rigidez e elevada resistência mecânica, enquanto o titânio apresenta menor módulo de elasticidade e maior proximidade das propriedades mecânicas do tecido ósseo².

Contudo, não há fundamento para considerar um dos materiais universalmente superior. O desempenho da haste depende principalmente da interação entre propriedades do material, desenho do implante, sistema de bloqueio, padrão da fratura e fatores biológicos relacionados à consolidação³.

Assim, a seleção do material deve ser baseada em critérios biomecânicos e clínicos individualizados, buscando equilíbrio entre estabilidade suficiente para manutenção da redução e condições mecânicas favoráveis à consolidação óssea⁹.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação biomecânica entre hastes intramedulares de titânio e aço inoxidável demonstra que ambos os materiais apresentam propriedades adequadas para a estabilização de fraturas de ossos longos, porém com características mecânicas distintas. O aço inoxidável apresenta maior módulo de elasticidade e maior rigidez, proporcionando elevada resistência à deformação e capacidade de suporte de cargas. O titânio, por outro lado, apresenta menor módulo de elasticidade e maior proximidade mecânica com o tecido ósseo, favorecendo potencialmente uma distribuição de cargas mais fisiológica e menor discrepância de rigidez entre implante e osso.

Apesar dessas diferenças, não é possível estabelecer superioridade absoluta de um material sobre o outro. O desempenho biomecânico da osteossíntese depende da interação entre o material, a geometria da haste, seu diâmetro e comprimento, a configuração dos parafusos de bloqueio, o padrão e a localização da fratura, a qualidade óssea e a técnica cirúrgica empregada.

A resistência à fadiga e à carga axial e torsional também devem ser consideradas, especialmente em fraturas instáveis ou com consolidação prolongada, nas quais o implante permanece submetido a ciclos repetitivos de carga. Nesse contexto, a escolha inadequada do implante ou uma configuração biomecanicamente desfavorável pode aumentar o risco de deformação, perda de estabilidade ou falha por fadiga.

Conclui-se, portanto, que a escolha entre hastes intramedulares de titânio e aço inoxidável deve ser individualizada e fundamentada nas características mecânicas e biológicas da fratura e do paciente. O titânio pode apresentar vantagens relacionadas à menor rigidez, menor densidade e compatibilidade mecânica com o osso, enquanto o aço inoxidável oferece elevada rigidez e resistência mecânica. Assim, mais importante do que determinar qual material é superior, é selecionar o sistema de osteossíntese capaz de proporcionar estabilidade adequada, transferência de cargas equilibrada e

condições favoráveis à consolidação óssea. Estudos biomecânicos e clínicos comparativos adicionais são necessários para definir com maior precisão as situações em que as diferenças entre esses materiais apresentam impacto clínico relevante.

REFERÊNCIAS

1. MAHAR, Andrew T.; LEE, Steven S.; LALONDE, Francois D.; IMPELLUSO, Tom; NEWTON, Peter O. Biomechanical comparison of stainless steel and titanium nails for fixation of simulated femoral fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, Philadelphia, v. 24, n. 6, p. 638-641, 2004. DOI: 10.1097/00004694-200411000-00008.
2. HAYES, Jessica S.; RICHARDS, Robert G. The use of titanium and stainless steel in fracture fixation. *Expert Review of Medical Devices*, London, v. 7, n. 6, p. 843-853, 2010. DOI: 10.1586/erd.10.53.
3. AITCHISON, G. A.; JOHNSTONE, A. J.; SHEPHERD, D. E. T.; WATSON, M. A. A comparison of the torsional performance of stainless steel and titanium alloy tibial intramedullary nails: a clinically relevant approach. *Biomedical Materials and Engineering*, Amsterdam, v. 14, n. 3, p. 235-240, 2004.
4. CHEN, Yen-Nien; LEE, Pei-Yuan. Mechanical behaviors of titanium, nickel-titanium, and stainless elastic intramedullary nail in fixation of tibial diaphyseal fractures. *Injury*, Amsterdam, v. 54, n. 12, p. 111097, 2023. DOI: 10.1016/j.injury.2023.111097.
5. KARAARSLAN, Ahmet Adnan; KARAKAŞLI, Ahmet; AYCAN, Hakan; ERTEM, Fatih; SESLI, Erhan. Biomechanical comparison of three-point bending resistance of titanium and stainless steel locking screws in intramedullary nails. *Joint Diseases and Related Surgery*, Ankara, v. 26, n. 3, 2015.
6. HSU, Ching-Chi; YONGYUT, Amaritsakul; CHAO, Ching-Kong; LIN, Jinn. Notch sensitivity of titanium causing contradictory effects on locked nails and screws. *Medical Engineering & Physics*, Oxford, v. 32, n. 5, p. 454-460, 2010. DOI: 10.1016/j.medengphy.2010.03.006.



Comparação biomecânica entre hastes intramedulares de titânio e aço inoxidável
Correia et al.

7. AHMED, et al. A computational evaluation of the effect of intramedullary nail material properties on the stabilization of simulated femoral shaft fractures. Medical Engineering & Physics, Oxford, 2007.
8. BÜHLER, et al. Biomechanical assessment of titanium and stainless steel posterior spinal constructs: effects of absolute/relative loading and frequency on fatigue life and determination of failure modes. Spine, Philadelphia, 1998.
9. GUPTA, et al. A systematic review of the use of titanium versus stainless steel implants for fracture fixation. Journal of Orthopaedic Trauma, Philadelphia, 2021.
10. HAYES, Jessica S.; RICHARDS, Robert G. Titanium and stainless steel in fracture fixation: biomechanical and biological considerations. In: literatura especializada em biomateriais e fixação de fraturas. 2010.