



ESTUDO COMPARATIVO DE BIOMATERIAIS NA OSTEOSSÍNTESE

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5168

Autores: MATHEUS ALVES RIBEIRO, JULIA CLABUNDE PEREIRA, JULYANA VIEIRA CORDEIRO, MARIANNA IAN RIBEIRO, EMILLY DA SILVA, MARCUS VINÍCIUS LISBOA MOTTA

Resumo: Este artigo tem como objetivo mostrar e analisar diferentes biomateriais, bem como suas aplicações em procedimentos de osteossíntese, avaliando suas propriedades, vantagens e desvantagens. A metodologia utilizada foi uma revisão bibliográfica de um artigo acadêmico. A análise ressalta os atributos necessários, como biocompatibilidade, características físicas e propriedades químicas, necessárias para a utilização eficaz de biomateriais em osteossíntese. Assim, o estudo destaca que o biomaterial deve ser projetado para simular o osso, observando critérios como padrão de fratura, qualidade óssea, idade do paciente, entre outros fatores, juntamente com uma avaliação da resposta biológica em contato com o organismo humano. Ele delinea os biomateriais predominantes atualmente empregados e mostra seu papel fundamental na estabilização de fraturas.

Palavras-chave: Biomateriais, Osteossíntese, Materiais Biocompatíveis.

ESTUDO COMPARATIVO DE BIOMATERIAIS NA OSTEOSSÍNTESE

1. INTRODUÇÃO

A educação em engenharia biomédica desempenha um papel crucial na inovação e aprimoramento de tecnologias médicas. Um campo de destaque é a osteossíntese, técnica utilizada para a fixação de fraturas ósseas. Ao estudar e desenvolver métodos avançados de osteossíntese, engenheiros biomédicos colaboram diretamente com profissionais de saúde para melhorar os resultados dos tratamentos, acelerar a recuperação dos pacientes e minimizar complicações. Incorporar essa especialização no currículo acadêmico prepara os futuros engenheiros para enfrentar desafios complexos na área da saúde, promovendo avanços significativos na medicina regenerativa e na qualidade de vida dos pacientes.

Problemas degenerativos, ósseos inflamatórios e articulares representam metade de todas as doenças crônicas em pessoas acima de 50 anos de idade em países desenvolvidos, afetando milhões de pessoas ao redor do mundo. Em muitos casos, é necessária intervenção cirúrgica, incluindo a substituição total da articulação em situações de desgaste excessivo da articulação natural. Além disso, fraturas ósseas, osteoporose, lombalgia, escoliose e outros problemas musculoesqueléticos frequentemente necessitam de dispositivos permanentes, temporários ou biodegradáveis para correção. Assim, os biomateriais ortopédicos devem ser implantados no corpo humano como componentes de dispositivos projetados para desempenhar funções biológicas específicas, substituindo ou reparando diferentes tecidos como osso, cartilagem, ligamentos e tendões, e orientando o reparo ósseo quando necessário. (LOH e SCHERMAN, 2012).

Um membro lesionado por fratura óssea torna-se inválido e incapaz de exercer sua função original. Esse restabelecimento pode ser alcançado pela osteossíntese, que por meio de intervenção cirúrgica e o uso de implantes, estabiliza os fragmentos da fratura. (MULLER et al, 1991).

A osteossíntese surge no final do século XIX, na Bélgica, através de Albin Lambotte, ele foi o primeiro a usar o termo em seu livro *L'intervention opératoire dans les fractures récentes et anciennes*. No livro, ressaltou a importância da intervenção para estabilizar as fraturas e obter melhores resultados. (MULLER et al, 1991).

A metodologia de estudo dos biomateriais na osteossíntese, especialmente no contexto acadêmico, deve ser meticulosamente planejada para garantir uma integração eficaz entre teoria e prática, proporcionando uma experiência de aprendizado completa e enriquecedora. Inicialmente, a abordagem teórica é fundamental para estabelecer uma base sólida de conhecimentos. As aulas introdutórias devem focar na definição e evolução dos biomateriais, abrangendo sua classificação em categorias como metálicos, cerâmicos, poliméricos e compósitos. É essencial que os alunos compreendam as propriedades específicas de cada tipo de biomaterial, como biocompatibilidade, biodegradabilidade, resistência mecânica e à corrosão. Essas características são cruciais para determinar a aplicabilidade dos materiais na osteossíntese, o que envolve a estabilização e a fixação de fraturas ósseas. Paralelamente, é importante explorar detalhadamente o conceito de osteossíntese, seus objetivos e a necessidade de estabilização óssea. Diferentes técnicas de osteossíntese, como o uso de placas, parafusos, hastas intramedulares e fixadores externos, devem ser comparadas, destacando suas aplicações práticas e limitações.

Na atualidade, existe uma grande variedade de materiais para a confecção de implantes, mas os metais são os mais utilizados. As normas internacionais da American Society for Testing and Materials (ASTM) e a International Organization for Standardization (ISO) descrevem sua composição, estrutura e propriedades. Devido às suas características mecânicas limitadas, outros materiais alternativos como polímeros e materiais à base de polímeros e/ou cerâmicas são utilizados quando não serão submetidos a carga ou em indicações específicas (cirurgia bucomaxilofacial, cirurgia da mão). Novos implantes compostos (polímeros reforçados com fibra) também estão disponíveis no mercado. Além das propriedades próprias do biomaterial, questões econômicas, logísticas e de fabricação apresentam grande peso na escolha do produto, devendo ser observadas e analisadas. (ALTMANN et al, 2009).

2. BIOMATERIAIS

2.1. Biomateriais e sua compatibilidade biológica

Os biomateriais, são componentes naturais ou artificiais, que desempenham um papel vital na medicina moderna. Seja para substituir partes do corpo ausentes ou danificadas, e assim, aprimorar funções corporais, esses materiais interagem de forma profunda com os sistemas biológicos. Definem-se biomateriais, segundo a Sociedade Europeia de Biomateriais, como substâncias formuladas com o objetivo de interagir harmoniosamente com o corpo humano, com finalidades médicas, incluindo restaurar, fortalecer, substituir ou aprimorar tecidos e órgãos do organismo. (Conferences of Chester (Reino Unido), 1986 a 1991).

Atualmente, o conceito de biocompatibilidade engloba não só a bionérgia, mas também a biofuncionalidade e a bioestabilidade. A busca por alta biocompatibilidade e propriedades funcionais é crucial na busca por novos biomateriais, cujo sucesso depende da natureza química e da interação com o corpo. As propriedades químicas, mecânicas e estruturais dos biomateriais, assim como sua interação com o ambiente biológico e os métodos de avaliação, desempenham um papel fundamental na determinação da biocompatibilidade. (SEFTON, 1986).

Inter relação entre resposta biológica e a natureza química em biomateriais

A relação fundamental entre a resposta biológica e a natureza química dos materiais é um ponto central na pesquisa biomédica. Enquanto a resposta determina aceitação ou rejeição dos biomateriais pelo organismo, a sua composição química desempenha um papel fundamental no processo de interação quanto ao retorno dado. Dessa forma, compreender a natureza química dos materiais influencia na performance da resposta para o avanço em terapias dessa área.

A biocompatibilidade se estrutura quanto às classificações à resposta biológica, sendo essas relacionadas a materiais Bioinertes, Bioativos e Biodegradáveis.

O primeiro refere-se à capacidade de materiais de terem pouca ou nenhuma resposta aos tecidos biológicos, proporcionando estabilidade e compatibilidade nos implantes médicos. (BRUCE, 1999).

Quanto aos Bioativos, promovem a formação de uma camada de apatita biologicamente ativa que facilita a adesão e a integração com o osso circundante, um exemplo são os biovidros e a hidroxiapatita. (KOHNN et al, 1992).

Por último, materiais biorreabsorvíveis são projetados para serem gradualmente decompostos e reabsorvidos pelo corpo, permitindo a regeneração natural do tecido, como o poliácido e o fosfato de tricálcico. (PRADO DA SILVA, 1999).

Uma vez que observadas as respostas, vale analisar também a composição química desses materiais sendo esses os principais: cerâmicos, metálicos, polímeros e compósitos. Os materiais cerâmicos usados em biomateriais apresentam uma variedade de características físicas e mecânicas, graças às suas ligações iônicas ou covalentes. Têm uma elevada temperatura de fusão, baixa capacidade de condução de eletricidade e calor, e são muito estáveis quimicamente, além de serem resistentes à compressão. Exemplos desses incluem biocerâmicas e biovidros, que variam em sua capacidade de serem compatíveis com o corpo humano, podendo ser inertes ou serem reabsorvidos ao longo do tempo. Como por exemplo, a cerâmica de zircônia é segura para uso biológico e não prejudica as células, enquanto o carbono tem propriedades semelhantes às do osso. (CLIMENT MONTOLIU F., 1988).

Materiais metálicos são compostos por metais puros ou ligas, utilizados como biomateriais devido às suas excelentes propriedades mecânicas e condutividade térmica. Apresentam superfícies brilhantes após o polimento e são fortes, porém deformáveis. Metais como titânio são amplamente empregados devido à sua versatilidade, enquanto ligas metálicas oferecem uma gama ainda mais ampla de propriedades, podendo ser modificadas para atender às necessidades específicas de cada aplicação. (PARK JB, 2023).

Polímeros são macromoléculas formadas pela união de monômeros, caracterizadas por seu baixo peso molecular. (CALLISTER JR, 2002).

Embora sejam menos resistentes que metais cerâmicos, os polímeros oferecem uma ampla gama de aplicações devido à sua versatilidade e facilidade de moldagem. Podem ser classificados em diferentes categorias, como plásticos, termoplásticos, termorrígidos e elastômeros, cada um com propriedades específicas que os tornam adequados para diferentes finalidades médicas. (PADILHA, 1997).

Por fim, os compósitos, materiais compostos por uma matriz (resina) e um reforço de partículas ou fibras naturais. Geralmente quanto menores as partículas e mais uniformes distribuídas na matriz, mais eficaz é o reforço. Nas aplicações com compósitos reforçados com fibras, essas são tipicamente fortes, rígidas e leves. Em ambientes de alta temperatura, as fibras devem ter uma temperatura de fusão elevada. Portanto, a resistência e o módulo específicos das fibras são características importantes. (CALLISTER et al, 2008).

Além das características das fibras e da matriz, as propriedades dos materiais compósitos dependem da interface entre esses dois componentes. Uma interface fraca pode resultar em uma transferência de carga ineficiente da matriz para fibra, levando a falhas na peça devido à falta de resistência da matriz ou lacunas entre a matriz e as fibras. (PARK JB, 2003).

3. OSTEOSSÍNTESE

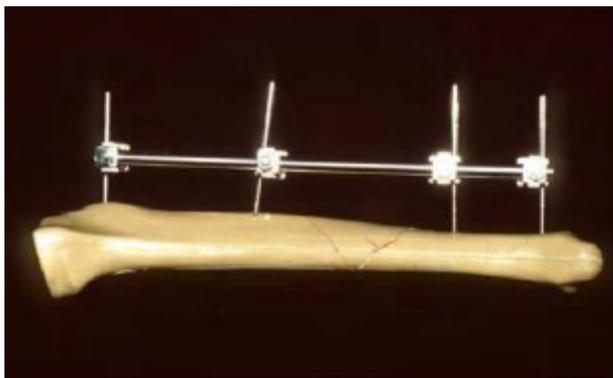
3.1. Conceito

A osteossíntese é um procedimento cirúrgico reconstrutivo destinado a estabilizar e unir as extremidades de um osso fraturado, seja após uma fratura, osteotomia ou na união resultante de uma fratura anterior. Dispositivos mecânicos são utilizados para manter os fragmentos ósseos em posição, facilitando a cicatrização dos tecidos moles e a recuperação da função articular. Após a consolidação óssea, os dispositivos mecânicos podem ser removidos ou permanecer no local, dependendo do método de fixação empregado. (TEPIC E PERREN, 1995).

Esse procedimento cirúrgico é frequentemente realizado para tratar de fraturas ósseas, sendo a fratura do fêmur uma das mais comuns nesse contexto. Além disso, em casos de fraturas como as do tornozelo, essa cirurgia pode promover uma rápida cicatrização do osso, sendo amplamente recomendada, especialmente para pacientes mais jovens. Além do tratamento de fraturas, a osteossíntese também pode ser empregada no caso de não união óssea, que ocorre após uma fratura. Vários fatores, como deficiências nutricionais, idade avançada, tabagismo, diabetes ou anemia, e o uso de certos medicamentos podem aumentar o risco de não união óssea. (TEPIC E PERREN, 1995).

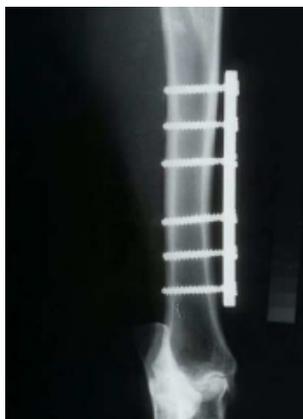
Há dois principais métodos para osteossínteses. A primeira é osteossíntese externa (Figura 1), onde um fixador externo é utilizado, especialmente em casos de fratura exposta com alto risco de infecção. E a outra se trata da osteossíntese interna (Figura 2), que pode ser de dois tipos: fixação interna de redução aberta, envolvendo cirurgia para fixação dos ossos, e fixação interna de redução fechada, realizada sem cirurgia aberta.

Figura 1 – Modelo de osso fraturado estabilizado com fixador externo: A haste colocada externamente é conectada aos fragmentos ósseos por pinos ou parafusos transcutâneos que são conectados à haste por meio de grampos de fixação.



Fonte: (BRUNETTE, 2001)

Figura 2 – Fixador interno: Aqui a haste é colocada dentro do corpo, portanto a técnica não necessita de vias transcutâneas, o que possibilitaria a infecção.



Fonte: (TEPIC E PERREN, 1995)

4. PROPRIEDADES DOS BIOMATERIAIS PARA APLICAÇÃO NA OSTEOSSÍNTESE

Na área de biomateriais destinados à osteossíntese ou fixação óssea, é essencial considerar os aspectos mecânicos, físico-químicos e biológicos tanto do material a ser utilizado como do tecido em que ele estará inserido. Assim, o biomaterial deve ser projetado para simular o osso, desde o nível nanométrico até o macrométrico. (BAUER et al, 2013).

Na escala macrométrica, o substrato deve ter propriedades mecânicas semelhantes às do osso, como dureza, módulo de elasticidade, ductilidade, resistência à tração, resistência à fadiga, resistência ao desgaste e flexibilidade. Enquanto na escala micrométrica há uma correlação com os aspectos físico-químicos, como resistência química ao ambiente altamente corrosivo, mobilidade, estrutura química, aspectos topográficos e morfológicos. Já as propriedades biológicas estão relacionadas ao nível micro e nanométrico, que interferem na biocompatibilidade e bioatividade. (BAUER et al, 2013).

Assim, pode-se definir que os principais requisitos mecânicos para implantes usados para osteossíntese são os seguintes:

- Rigidez adequada → a fim de manter a redução e a estabilidade.
- Alta Resistência à Carga → de modo a evitar falhas.
- Resistência à tração → os materiais possuem um certo nível de tensão do qual é possível retornar à sua forma inicial, ocorrendo uma deformação elástica. Mas, caso essa tensão seja maior, o material sofre uma deformação plástica, ou seja, irreversível. Para osteossíntese, as forças aplicadas devem ser menores que o limite elástico. No entanto, as características da deformação plástica podem ser usadas para modelagem, desde seja dúctil. (ALTMANN et al, 2009).

- Ductilidade → condição que permite o material sofrer deformação plástica significativa sem quebrar. (ALTMANN et al, 2009). Assim, permite o contorno do implante e fornecer uma reserva de deformação plástica sob cargas de flexão e torque (inserção do parafuso).

- Resistência à fadiga → a fratura por fadiga consiste no fato de que um material que é exposto ciclicamente a uma carga quebrará com uma carga menor do que a suportada por uma carga estática. Sendo que, todos os implantes estão passíveis a ruptura, pois se destinam a suportar temporariamente uma carga (até que a consolidação seja alcançada). (ALTMANN et al, 2009).

- Resistência à fadiga por corrosão → necessárias para suportar cargas dinâmicas no ambiente fisiológico.

Para a escolha do biomaterial ideal é importante considerar a aplicação final e a necessidade do caso. É primordial que ele possa imitar a matriz natural do tecido ósseo, principalmente considerando suas características mecânicas, como as citadas acima, a fim de suportar fadiga e cargas elevadas, de ter um módulo de elasticidade semelhante ao do osso, entre outros aspectos; assim como é imprescindível que suas características físico-químicas possam simular o peso específico do osso, suportar o ambiente em que será inserido e que tenha uma interação biológica aceitável, de modo que não seja tóxico e/ou cancerígeno em tecidos vivos, permitindo a biossegurança e a biocompatibilidade. (BAUER et al, 2013; MELKE et al, 2016; TRIPLETT e BUDINSKAYA, 2017).

5. BIOMATERIAIS APLICADOS À OSTEOSSÍNTESE

No contexto dos estudos acadêmicos sobre biomateriais na osteossíntese, há uma crescente em direção a avanços significativos e personalizados. Os pesquisadores estão concentrando esforços em desenvolver biomateriais que não apenas promovam a regeneração óssea, mas também acelerem os processos de cicatrização e reduzam os tempos de recuperação para os pacientes.

Em síntese, enquanto os estudos acadêmicos sobre biomateriais na osteossíntese avançam em direção a soluções mais personalizadas e eficazes, os desafios específicos relacionados à biocompatibilidade, integração tecidual, produção em escala e conformidade regulatória continuam a ser áreas críticas que exigem atenção e pesquisa contínuas. Para isso, materiais metálicos, cerâmicos, poliméricos e materiais compósitos têm sido empregados de forma a aproveitar ao máximo as propriedades dos diversos biomateriais, que são especificados a seguir:

5.1 Metais em osteossíntese

Os metais utilizados apresentam biocompatibilidade e propriedades mecânicas adequadas. Três grupos principais podem ser distinguidos:

- ligas à base de aço inoxidável;
- titânio e ligas de titânio;
- ligas de cobalto.

No que diz respeito às propriedades mecânicas, tanto a composição e o manuseio do material (trabalho a quente ou a frio), quanto o método de fabricação e tratamento de superfície, influenciam.

- Aço Inoxidável:

O aço inoxidável é o material mais utilizado para osteossíntese hoje. A razão está na combinação adequada de propriedades mecânicas, resistência à corrosão e biocompatibilidade. A camada protetora de óxido de cromo aplicada à superfície do metal proporciona uma alta resistência à corrosão do aço. Todos os aços inoxidáveis usados são não magnéticos. A alta resistência mecânica é graças à liga dos elementos e ao seu manuseio (trabalho a frio). (ALTMANN et al, 2009).

- Aço inoxidável (Ligas à base de ferro):

Este tipo de aço inoxidável (especialmente 316L ou 1.4441) é geralmente utilizado. (DISEGI e ESCHBACH, 2000). Uma alta ductilidade é ideal para que possam ser moldados no intraoperatório. Além disso, a capacidade de suportar altas cargas, tanto estática quanto cíclica, torna esse material ideal. Os principais elementos são: Fe, Cr (17-19%), Ni (13-15%), Mo (2,25-3,5%) e C (<0,03%). Apesar do alto teor de níquel, poucos efeitos colaterais foram relatados. Além do prazo de entrega curto devido a disponibilidade de matéria-prima em diversas formas diferentes. (ALTMANN et al, 2009).

- Aço inoxidável com baixo teor de níquel (Ni)

Os implantes de aço geralmente têm um teor de níquel de 13 a 15%. O níquel é um alérgeno de contato. Nitrogênio e manganês substituem o níquel na composição. Resistência à corrosão e tenacidade à fratura são significativamente maiores em aços com baixo teor de níquel. Apesar disso, esse dispositivo é pouco utilizado devido à oferta limitada de matéria-prima, alto preço e demanda de fabricação. (ALTMANN et al, 2009).

- Ligas à base de cobalto (ligas Co-Cr-Mo)

As ligas de cobalto são não magnéticas e resistentes ao desgaste, corrosão e calor, embora sejam difíceis de fabricar. Apesar disso, progressos significativos foram feitos recentemente. Devido à sua durabilidade. No entanto, na osteossíntese, suas qualidades são consideradas menos interessantes em comparação com outros metais utilizados. (ALTMANN et al, 2009).

- Titânio

O titânio (Ti) tem uma resistência à corrosão muito alta e também é biocompatível. Apesar do longo e amplo uso de implantes de titânio, praticamente nenhum efeito colateral relacionado à biocompatibilidade foi relatado ou publicado. (ALTMANN et al, 2009). O titânio tem maior elasticidade em comparação com o aço inoxidável.

- Titânio Puro

O titânio 'comercialmente puro' (cpTi) foi desenvolvido na década de 1940 e rapidamente se descobriu seu potencial para uso em cirurgias. Existem quatro categorias de titânio puro, diferenciadas principalmente pelo teor de oxigênio. O titânio grau 4, que possui o maior teor de oxigênio, é comumente usado para implantes carregados. O cpTi é amplamente utilizado para a fabricação de placas e parafusos de diferentes tamanhos e indicações. (POHLER, 2000).

- Ligas de Titânio

Essas ligas oferecem maior desempenho mecânico. Alumínio Titânio Nióbio - TAN (TiAl6Nb7) e Alumínio Titânio Vanádio - TAV (TiAl6V4). Esses dois materiais são comumente usados para implantes de osteossíntese. Na liga TAN, o vanádio foi substituído pelo nióbio, um elemento biologicamente inerte. Esses elementos aumentam a resistência mecânica às tensões estáticas e cíclicas. No entanto, a ductilidade dessas ligas é menor que a do titânio puro. Assim, os implantes feitos com essas ligas são adequados para suportar altas tensões, mas não são indicados para situações que exigem a modelagem intraoperatória do implante. Esses materiais são principalmente usados para pregos e alguns modelos de placas pré-formadas. (ALTMANN et al, 2009).

- Titânio de molibdênio - TiMo (TiMo15)

O TiMo é uma liga de titânio inicialmente desenvolvida para a indústria química, buscando alta resistência à corrosão. Sua principal vantagem em relação ao titânio e outras ligas é a extrema maleabilidade a frio. No entanto, as desvantagens incluem alto preço, dificuldade de fabricação e disponibilidade limitada da matéria-prima. O TiMo é usado principalmente em placas pequenas, como placas de rádio distal. (DISEGI, 2000).

- Ligas de Memória de forma (TiNi)

As ligas com memória de forma, como o nitinol (TiNi), são amplamente utilizadas em implantes biomédicos. Suas propriedades derivam da superelasticidade. O nitinol é aplicado em grampos de compressão e âncoras. No entanto, a dissolução de íons citotóxicos nos tecidos circundantes representa um risco de hipersensibilidade, limitando seu uso como material de implante. (ALTMANN et al, 2009).

5.2 Polímeros e Cerâmicos na Osteossíntese

Os polímeros utilizados na traumatologia óssea podem ser divididos em dois grupos:

- não reabsorvível: Poliéter-éter-cetona (PEEK) é um polímero de alto desempenho que tem sido usado para implantes de osteossíntese. Comparado a outros polímeros, o PEEK apresenta alto desempenho mecânico. (ESCHBACH, 2000).

- reabsorvível:

A principal vantagem de um implante bioabsorvível é que o problema de sua extração desaparece. No entanto, devido à sua baixa resistência mecânica, os implantes bioabsorvíveis não são utilizáveis para osteossíntese de suporte de carga. Os implantes bioabsorvíveis existentes são usados em algumas indicações, como cirurgia de mão ou cirurgia maxilofacial. (ESCHBACH, 2000).

- Cerâmicos em osteossíntese

O tecido ósseo, um tecido conjuntivo composto, contém fosfato de cálcio altamente mineralizado. Materiais cerâmicos, como alumina, zircônia, fosfatos de cálcio e cristais bioativos, são usados em processos de osteossíntese devido à sua resistência, durabilidade, dureza adequada e baixos coeficientes de atrito de desgaste. Sua composição química, semelhante aos sais de cálcio da matriz óssea mineralizada, torna-os altamente biocompatíveis, sendo utilizados como substratos ou revestimentos. (MARTÍNEZ e OZOLS, 2012; BAUER et al, 2012; TALHA et al, 2013).

6. CONCLUSÃO

A biossíntese na osteossíntese é um campo emergente que promete revolucionar a forma como tratamos fraturas e lesões ósseas. Este método utiliza biomateriais biocompatíveis e biodegradáveis, produzidos através de processos biológicos, como a síntese por células vivas ou a extração de materiais de fontes naturais. Literatura é carente de trabalhos nesta área de conhecimento. As implicações práticas dessa abordagem são vastas e incluem temas importantes como biocompatibilidade avançada, capacidade de regeneração e redução do tempo de recuperação.

Os trabalhos acadêmicos sobre biomateriais em biossíntese desempenham um papel fundamental no avanço da ciência e da medicina moderna. Esses estudos são essenciais por várias razões significativas. Primeiramente, eles impulsionam a inovação ao explorar novos materiais e técnicas de síntese, o que pode resultar em biomateriais mais eficazes, seguros e compatíveis com o corpo humano. Além disso, os trabalhos acadêmicos ajudam a estabelecer uma base científica sólida para avaliar a eficácia e a segurança desses biomateriais em diferentes aplicações médicas. Isso é crucial para garantir que novas tecnologias sejam clinicamente viáveis e capazes de melhorar os resultados dos pacientes. Além disso, a pesquisa acadêmica contribui para o entendimento dos mecanismos biológicos subjacentes à interação entre biomateriais e tecidos vivos, proporcionando insights importantes que podem orientar o design e o desenvolvimento de novos materiais. Esses estudos também desempenham um papel fundamental na educação e formação de futuros profissionais da área de biomateriais, preparando-os para enfrentar os desafios e oportunidades emergentes nesta disciplina interdisciplinar. Em última análise, os trabalhos acadêmicos sobre biomateriais em biossíntese não apenas impulsionam o avanço científico, mas também têm o potencial de transformar significativamente a prática clínica, oferecendo tratamentos mais eficazes, personalizados e sustentáveis para uma variedade de condições médicas.

REFERÊNCIAS

- ALTMANN, M. et al. Materiales utilizados en la osteosíntesis. EMC-Técnicas Quirúrgicas Ortopedia y Traumatología, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2009.
- BAUER, Sebastian et al. Engineering biocompatible implant surfaces: Part I: Materials and surfaces. **Progress in Materials Science**, v. 58, n. 3, p. 261-326, 2013.
- BRUCE, Allan. "Closer to Nature: New Biomaterials and Tissue Engineering In." British Journal of Ophthalmology 83 (1999): 1235-1240. Disponível em: <http://bj.o.bmj.com/cgi/reprint/83/11/1235>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- CALLISTER Jr, W.D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. Rio de Janeiro, LTC, 2002, 589 p.
- CALLISTER, William D., and DAVID G. Rethwisch. Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008
- DISEGI, J. A. Titanium alloys for fracture fixation implants. Injury, v. 31, p. D14-D17, 2000.
- ESCHBACH, L. Y. Nonresorbable polymers in bone surgery. Injury, v. 31, p. D22-D27, 2000.
- HIECH, L.L.; POLAK, J.M. Third generation biomedical materials. Science 295, 2002, 1014 p., pp. 32.
- KOHN, D.H., DUCHEYNE, P., and AWERBUCH, J., J. Mater, Science, 27, 1992, pp. 1633-1641.
- LOH, Xian Jun; SCHERMAN, Oren A. (Ed.). **Polymeric and self assembled hydrogels: from fundamental understanding to applications**. Royal Society of Chemistry, 2012.
- MARTÍNEZ, Cristian Alexis; OZOLS, Andrés. Biomateriales utilizados en cirugía ortopédica como sustitutos del tejido óseo. Revista de la Asociación argentina de ortopedia y traumatología, v.77, n. 2, p. 140-146, 2012.
- MELKE, Johanna et al. Silk fibroin as biomaterial for bone tissue engineering. **Acta biomaterialia**, v. 31, p. 1-16, 2016.
- MÜLLER, Maurice Edmond et al. **Manual of internal fixation: techniques recommended by the AO-ASIF group**. Springer Science & Business Media, 1991.
- OREFICE, R.L. Biomateriais e Biocompatibilidade. In: F. Oréfice (org.), Uveíte: Clínica e Cirúrgica: Texto & Atlas. 2 ed., Rio de Janeiro, vol. 2, 2005, pp. 1317-1351.
- PADILHA, A.F. Materiais de Engenharia: Microestrutura e Propriedades. São Paulo, Hemus Editora LTDA, 1997
- POHLER, Ortrun EM. Unalloyed titanium for implants in bone surgery. **Injury**, v. 31, p. D7-D13, 2000.

PRADO DA SILVA, M.H., Recobrimento de Titânio com Hidroxiapatita: Desenvolvimento do Processo de Deposição Eletrolítica e Caracterização Biológica In Vitro, Tese D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, R.J., Brasil, 1999.

SEFTON, M. Consensus Conference on Definitions Chester, UK March 3– 5, 1986. Biomaterials, 7, 1986, pp. 308-309.

TALHA, Mohd; BEHERA, C. K.; SINHA, O. P. A review on nickel-free nitrogen containing austenitic stainless steels for biomedical applications. Materials Science and Engineering: C, v.33, n. 7, p. 3563-3575, 2013.

TRIPLETT, R. Gilbert; BUDINSKAYA, Oksana. New frontiers in biomaterials. **Oral and Maxillofacial Surgery Clinics**, v. 29, n. 1, p. 105-115, 2017.

WILLIAMS, D.F. Definition in Biomaterials. Amsterdam Elsevier. Progress in Biomedical Engineering, 1987; Cap.4.

COMPARATIVE STUDY OF BIOMATERIALS IN OSTEOSYNTHESIS

Abstract: *This article aims to show and analyze different biomaterials, as well as their applications in osteosynthesis procedures, evaluating their properties, advantages and disadvantages. The methodology used was a bibliographic review of an academic article. The analysis underscores the requisite attributes, like biocompatibility, physical and chemical properties, necessary for the effective utilization of biomaterials in osteosynthesis. Thus, the study highlights that the biomaterial must be designed to simulate the bone, watching criteria like fracture pattern, bone quality, patient age, among other factors, alongside an evaluation of the biological response upon contact with the human organism. It delineates the prevalent biomaterials currently employed and shows their pivotal role in fracture stabilization.*

Keywords: *Biocompatibility, Fracture fixation, Implant Technology.*

