



Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos  
Universidade de São Paulo  
Engenharia de Biosistemas  
ZEB 1038 – Ciência e Tecnologia dos Materiais

# BIOMATERIAIS

ELIRIA M. J. AGNOLON PALLONE  
JOÃO ADRIANO ROSIGNOLO

# BIOMATERIAIS METÁLICOS

## Implantes Permanentes - Metais

- Resistentes à corrosão por fluidos fisiológicos;
- Não deve alterar a composição química do plasma ou tecido;
- Não deve degradar proteínas ou causar traumas sanguíneos;
- Não deve interferir nos mecanismos de defesa;
- Não deve ser carcinogênico;
- Conformabilidade em qualquer formato;
- Resistentes à fadiga;
- Não deve ter fratura catastrófica.



## Principais falhas

- Necrose do tecido;
- Perda de adesão – mobilidade do implante;
- Diferença do modulo elástico entre implante e osso;
- Falha mecânica – corrosão, fadiga, carga alta;
- Desgaste acentuado da interface por tensões cíclicas;
- Toxicidade de elementos dissolvidos ou desgastados.



## Exemplo de próteses

### ➤ Quadril:

- 20 anos de média de vida útil (30% de falha);
- Ligas de Ti ou CoCr na haste femural;
- Acetábulo de polímero (PEUAPM- polietileno ultra alto peso molecular);
- Cabeça metálica ou cerâmica (alumina ou zircônia).





## Exemplo de próteses

### ➤ Joelho:

- Maior chance de falha;
- Ligas de Ti ou CoCr na parte femural;
- PEUAPM na parte tibial.



Prótese quadril.mp4

### ➤ Tornozelo

- Curta duração;
- Tibial, talar e fibular;
- CoCr e PEAUPM.



## Exemplo de próteses

### ➤ Ombro e cotovelo:

- Falha devido a problemas rotacionais.



### ➤ Dedos e espinha

- Compósitos com polímeros.

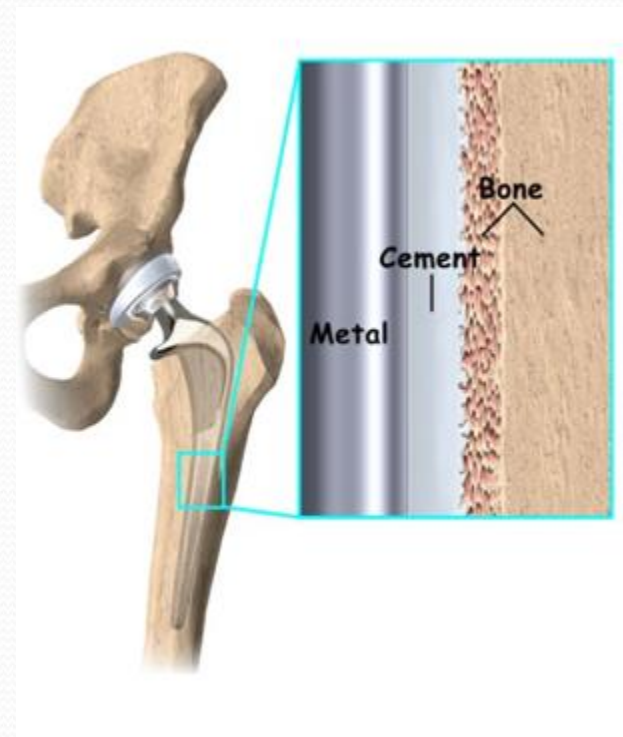




# Fixação de implantes permanentes

## ➤ Cimentação

- PMMA;
- Cura rápida e *in situ*;
- Temperatura de cura alta, danificando os tecidos e interface;
- Resíduos de monômeros tóxicos.





# Fixação de implantes permanentes

## ➤ Morfológica

- Sem adição de cimento (cementless);
- Crescimento do tecido na cavidade, formando uma ligação puramente mecânica;
- Ranhuras e orifícios;
- Longo tempo de regeneração;
- Cirurgia de revisão são difíceis;
- Reabsorção óssea.

# Fixação de implantes permanentes

## ➤ Biológica

- Superfície com poros maiores que  $100\ \mu\text{m}$  para penetração dos tecidos;
- Sinterizar esferas ou fios na superfície;
- Maior corrosão;
- Menor resistência;
- Baixa estabilidade.

➤ Novidade: cola biológica.



# Fixação de implantes permanentes

## ➤ Bioativa

- Recobrimento da superfície com materiais que aderem ao osso;
- Fosfato de cálcio, vidros bioativos;
- Difícil adesão entre a camada bioativa e a superfície do implante.



## Ligas

- Aço-inox 316 e 316L;
- Titânio puro;
- Liga de Ti-6Al-4V;
- Liga de Co-Cr-Mo;
- Liga de Co-Cr-W-Ni;
- Tântalo puro;
- Liga de Co-Ni-Cr-Mo;
- Liga de Co-Ni-Cr-Mo-W forjada.

# BIOMATERIAIS CERÂMICOS

# Composição das Biocerâmicas

Categoria	Exemplo
Óxidos simples	Alumina, zircônia
Covalentes	TiN, SiC, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
Sais de cálcio	Hidroxiapatita, fosfatos de cálcio, tri-fosfato de cálcio, etc
Silicatos	Biovidros
Vitro-cerâmicas	Apatita/Wollastonita (A/W)
Compósitos	A/W com adição de zircônia tetragonal

Forma	Função
Pó	Preenchimento, regeneração de tecidos, etc
Covalentes	Ligação tecidual, tromboresistência, proteção contra corrosão
Sais de cálcio	Substituição e aumento do tecido



# Óxidos

Propriedades	Alumina	Y-TPZ zircônia	Mg-PSG zircônia
Modulo elástico	380-420 GPa	210 GPa	
Dureza	> 2000 HV	1250 HV	
Resistência a compressão	4000-4500 MPa	> 900 MPa	> 500 MPa
Tenacidade à fratura	4-6 MPa m <sup>1/2</sup>	8 MPa m <sup>1/2</sup>	10 MPa m <sup>1/2</sup>
Tamanho de grão	< 2 µm	< 0,5 µm	< 30 µm

## ➤ Cerâmicas bioinertes, biotoleráveis, biocompatíveis:

- Alumina;
- Zircônia.

## ➤ Cerâmicas bioativas:

- Biovidro;
- Vitrocerâmicas;
- Fosfatos – HA, TCP, cimentos, recobrimentos.

## Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

- Excelente resistência a corrosão, compressão e fadiga;
- Alta resistência mecânica e ao desgaste;
- Menos de 1 em cada 100 falham em 30 anos (previsão);
- 100 mil cabeças de fêmur implantadas por ano;
- Cabeça e copo de cerâmica produzem menos abrasão do que cerâmica e polímero;
- Maior causa de falha é por perda de aderência do corpo acetabular (problema para fixação).



## Alumina ( $Al_2O_3$ ) - Aplicação

- Cabeça e copo de prótese de fêmur;
- Prótese de joelho com parte tibial de polímero (PEUAPM);
- Articulações: tornozelo, cotovelo, ombro, dedos;
- Implantes dentários;
- Substituição do ossículo do ouvido médio;
- Anéis de suporte para traquéia;
- Liberação controlada de fármacos;
- Parafusos;
- Reconstrução alveolar e maxilofacial.



## Zircônia (ZrO<sub>2</sub>)

- Excelente resistência a corrosão, compressão e fadiga;
- Boa tenacidade à fratura e resistência à flexão;
- Menor módulo elástico;
- Baixa resistência ao desgaste (taxa de desgaste 5000x maior que a da alumina);
- Problemas para fixação;
- Alternativa: par zircônia/polímero.





## Vidros bioativos



Bioatividade: habilidade de ligação com os tecidos moles ou duros

- Vidros que desencadeiam respostas biológicas na interface, resultando na formação de uma ligação do tecido com o material;
- Repararam o tecido, não são tóxicos, alérgicos ou carcinogênicos;
- Compostos de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaF}_2$ .



## Biovidros - Aplicações

- Espaçadores de vértebra;
- Raiz dentária – minimizar a absorção alveolar;
- Reconstrução maxilofacial;
- Reconstrução do ouvido médio;
- Preenchimento de defeitos ósseos;
- Recobrimento;
- Com Ag – bactericida.

## HA

- $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ;
- Biologicamente ativa;
- Osteocondutora;
- Osso natural – 70% HA;
- Obtenção: precipitação química, sol-gel, corais, osso bovino, dentina etc;
- Aplicação em grânulos, pó, densa e porosa;
- Baixa resistência mecânica;
- Problemas de contaminação nas de origem animal.





## Aplicações HA

- Raiz dentária para minimizar a reabsorção do rebordo alveolar, ou aumenta-lo, melhorando a fixação de próteses;
- Reconstrução maxilofacial;
- Preenchimento de defeitos ósseos;
- Carga em compósitos e cimentos;
- Recobrimento de próteses metálicas e poliméricas;
- Cimento ósseo de fosfato de cálcio.





# Propriedades HA

Propriedades	Valor padrão	Observação
Modulo elástico	100 GPa	Similar ao vidro da janela
Dureza	500 HV	
Resistência a compressão	100-200 MPa	Depende da porosidade
Tenacidade à fratura	$< 1 \text{ MPa m}^{1/2}$	Depende da porosidade
Cor	Branca, azulada	Depende da matéria-prima

## Métodos de recobrimento

- CVD (deposição de vapor químico);
- Método biomimético;
- Deposição eletrolítica;
- Deposição por sol-gel.

# BIOMATERIAIS POLIMÉRICOS



- Processamento - Injeção;
- Rígidos ou flexíveis;
- PMMA - polimetilmetacrilato;
- poliHEMA - polihidroxietilmetacrilato;
- PLA - poli(ácido láctico);
- PLG - poli(ácido glicólico);
- PLGA - poli (ácido láctico-co-glicólico);
- Botox - ácido hialurônico.



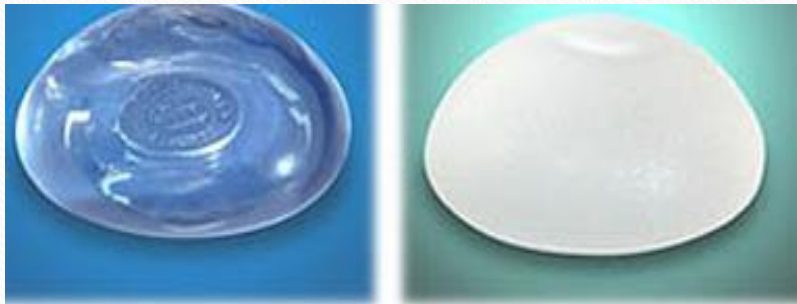
PMMA



poliHEMA

- Colágeno;

- Silicone.



Botox

## Aplicações

### ➤ Lentes de contato:

- Gelatinosas de hidrogel (poliHEMA);
- Gelatinosas elásticas (silicone e flúor-polímero);
- Rígidas (PMMA).



### ➤ Lentes Intraoculares:

- Membrana (PMMA ou silicone e hidrogel);
- Haste de estabilidade (Polipropileno).



### ➤ Prótese.





# Aplicações

## ➤ PMMA:

- Prótese dentária (dentadura);
- Cimento.



## ➤ PEUAPM:

- Acetábulo;
- Cage. ★



## ➤ PLGA: ★

- Pinos, parafusos, suturas e liberação de fármacos.