



Principais aplicações

- ✓ componentes estruturais (próteses para substituição óssea e articulações, implantes dentários, placas de fixação, fios, parafusos)
- ✓ confecção de válvulas cardíacas mecânicas e *stents*
- ✓ dispositivos de estímulo neuromuscular (*pacemaker*)
- ✓ instrumentação cirúrgica (tesouras, *forceps*, agulhas, pinças)

Metais e ligas usados em medicina:

- ✓ Aços inoxidáveis (sobretudo os austeníticos do tipo 316L)
- ✓ Ligas Co-Cr-Mo e Co-Ni-Cr-Mo
- ✓ Titânio puro e ligas de Ti
- ✓ Metais nobres: Au, Ag, Pt, Pd, Ir
 - caros e com propriedades pobres como materiais
 - usados em elétrodos – elevada resistência à corrosão
- ✓ Mercúrio: amálgama dentário (Hg-Ag-Sn)
 - amálgama: liga metálica em que um dos metais envolvidos está no estado líquido.
- ✓ Ligas com memória de forma (SMA): Ni-Ti
- ✓ Tântalo





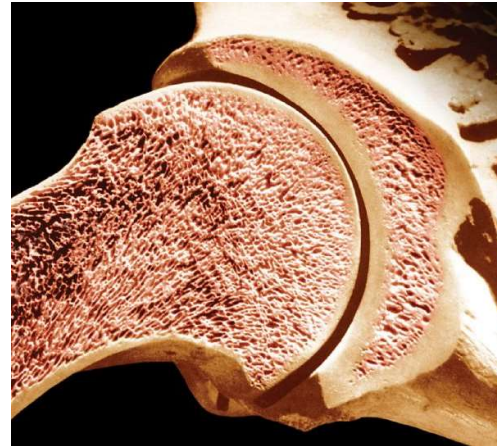
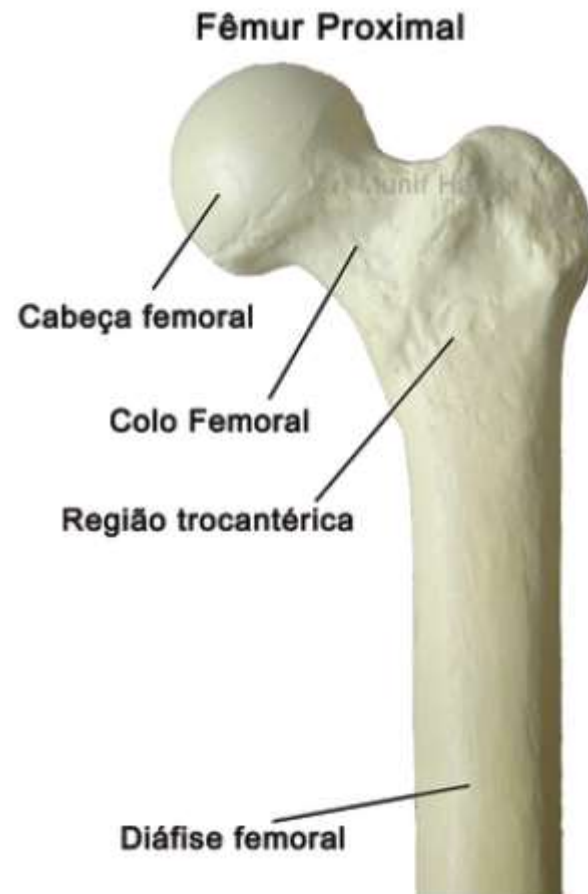
Aços inoxidáveis

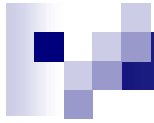
Compositions of 316L Stainless Steel
Surgical Implants (ASTM, 2000)

	Element	Composition (w/o)	
componente em maior concentração (resistência à corrosão)	Carbon	0.030 max	Estabilização da fase austenítica à temperatura ambiente
	Manganese	2.00 max	
	Phosphorus	0.025 max	
	Sulfur	0.010 max	
	Silicon	0.75 max	
	Chromium	17.00–19.00	
	Nickel	13.00–15.00	
melhora a resistência à corrosão	Molybdenum	2.25–3.00	
	Nitrogen	0.10 max	
	Copper	0.50 max	
	Fe	Balance	

Stainless steels (F138 and F139 of ASTM).

Aço inoxidável: adequado para utilização em dispositivos temporários, tais como placas de fixação, parafusos, hastes, aparelhos dentários...

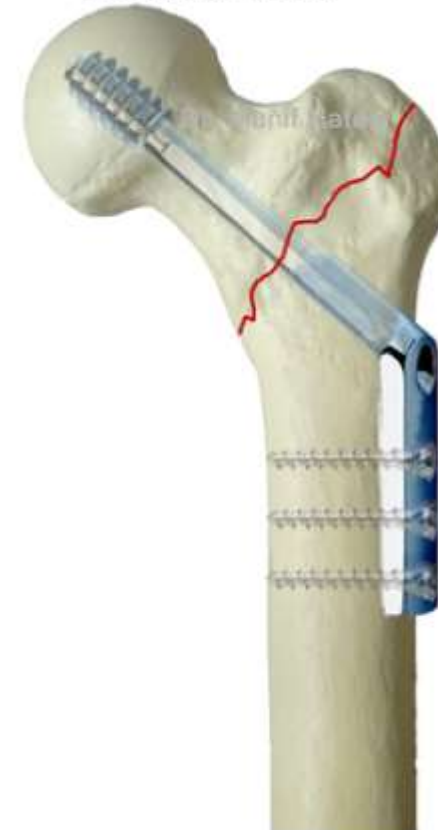




Fratura Transtrocanterica



Parafuso deslizante em fratura transtrocanterica





Fratura do colo femoral



Fratura Transtrocanterica Multifragmentar



Parafusos em Fratura do Colo Femoral



Haste Intramedular de Fêmur Proximal





Ligas de cobalto (ligas Co-Cr)

- ✓ Utilizadas desde 1924 – liga *Stellite* foi implantada em cães por Zierold;
- ✓ Em 1938, parafusos Co-Cr foram implantados em ossos de animais;
- ✓ Seguiu-se a implantação em humanos, basicamente como revestimento colocado sobre a cabeça do fêmur;
- ✓ Elevada resistência ao desgaste e à corrosão;
- ✓ Tipos de ligas de Co:
 - Co-Cr-Mo – usada em odontologia e ligamentos artificiais;
 - Co-Ni-Cr-Mo (Vitallium) – dispositivos de fixação de fraturas e próteses ortopédicas (joelho, ombro e anca);
- ✓ Pode haver libertação de iões metálicos (Co e Cr) que migram para os tecidos vizinhos; toxicidade.



Tipos e composição das ligas à base de cobalto

Chemical Compositions of Co-Based Alloys (ASTM, 2000)								
Element	Co28Cr6Mo (F75) Castable		Co20Cr15W10Ni (F90) Wrought		Co28Cr6Mo (F1537) Wrought		Co35Ni20Cr10Mo (F562)	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Cr	27.0	30.00	19.00	21.00	26.0	30.0	19.0	21.0
Mo	5.0	7.00	—	—	5.0	7.0	9.0	10.5
Ni	—	2.5	9.00	11.00	—	1.0	33.0	37.0
Fe	—	0.75	—	3.00	—	0.75	9.0	10.5
C	—	0.35	0.05	0.15	—	0.35	—	0.025
Si	—	1.00	—	1.00	—	1.0	—	0.15
Mn	—	1.00	—	2.00	—	1.0	—	0.15
W	—	0.20	14.00	16.00	—	—	—	—
P	—	0.020	—	0.040	—	—	—	0.015
S	—	0.010	—	0.030	—	—	—	0.010
N	—	0.25	—	—	—	0.25	—	—
Al	—	0.30	—	—	—	—	—	—
Bo	—	0.01	—	—	—	—	—	0.015
Ti	—	—	—	—	—	—	—	1.0
Co	Balance							



Propriedades das ligas à base de cobalto

Mechanical Property Requirements of Co-Based Alloys (ASTM, 2000)					
Condition	Ultimate tensile strength min ksi (MPa)	Yield strength (0.2% offset) min, ksi (MPa)	Fatigue strength ^a ksi (MPa)	Elongation min (%)	Reduction of area min (%)
Co28Cr6Mo (F75)					
As cast	95 (655)	65 (450)	45 (310)	8	8
Co20Cr15W10Ni (F90)					
Annealed	125 (860)	45 (310)	—	30	—
Co28Cr6Mo (F1537)					
Annealed ^b	130 (897)	75 (517)	—	20	20
Hot worked	145 (1000)	101 (700)	—	12	12
Warm worked	170 (1172)	120 (827)	—	12	12
Co35Ni20Cr10Mo (F562)					
Annealed ^b	115 (793)	35(241)	49.3(340)	50.0	65.0
	145 (1000)	65(448)			
Cold worked,aged ^c	260 (1793)	230 (1586)	—	8.0	35.0
	min	min			
1 ksi = 1,000 psi, 1 psi = 6,895 Pa					
^a Reprinted with permission from Semlitsch (1980). Copyright 1980 © Institute of Mechanical Engineers.					
^b 1–2 hrs at 1050 ± 15°C air or water quenched to room temperature.					
^c Cold worked 50% and aged 540–640 ± 15°C for 4 hrs, then air cooled.					

Módulo elástico das ligas à base de Co: 220-234 GPa.



Titânio e ligas de Ti

- ✓ Boa resistência à corrosão (picada e erosão): adequado para o trabalho em ambientes corrosivos;
- ✓ Maior tendência para a osteointegração em comparação com o aço inoxidável;
- ✓ Leveza: aplicações em que seja fundamental o seu baixo peso ($4,5 \text{ g/cm}^3$);
- ✓ Baixo módulo de elasticidade (100 – 50 GPa);
- ✓ Pode apresentar dois tipos de formação cristalina: HC (Ti puro; fase α) e CCC (fase β);
- ✓ Aplicação como biomateriais: 45% Ti-6Al-4V, 30% Ti puro e 25% outras ligas;
- ✓ Liga Ti-6Al-4V tem mostrado certa toxicidade neurológica associada ao Al e V:
 - substituição do V por Nb (Ti-6Al-7Nb);
 - alumínio suspeito de estar envolvido com a doença de Alzheimer: substituição pela liga Ti-13Zr-13Nb.

Composição do Ti puro e ligas

Chemical Compositions of Pure Titanium (F67; ASTM, 2000)

Element	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
N	0.03	0.03	0.05	0.05
C	0.10	0.10	0.10	0.10
H	0.015	0.015	0.015	0.015
Fe	0.20	0.30	0.30	0.50
O	0.18	0.25	0.35	0.40
Ti	Balance			

All are in maximum % allowed.

Ligas	m.vol. (g/cm ³)
Ti e ligas de Ti	4,5
Aço inoxidável 316L	7,9
Co-Cr-Mo	8,3
Co-Ni-Cr-Mo	9,2
Ni-Ti	6,7

Table 5-6. Chemical Compositions of Ti6Al4V Alloys (ASTM, 2000)

Element	Wrought, forging (F136, F620)	Casting (F1108)	Coating (F1580)
N	0.05	0.05	0.05
C	0.08	0.10	0.08
H	0.012	0.015	0.015
Fe	0.25	0.30	0.30
O	0.13	0.20	0.20
Cu	—	—	0.10
Sn	—	—	0.10
Al	5.5–6.50	5.5–6.75	5.50–6.75
V	3.5–4.5	3.5–4.5	3.50–4.50
Ti	Balance		

Al estabiliza a fase α

V estabiliza a fase β

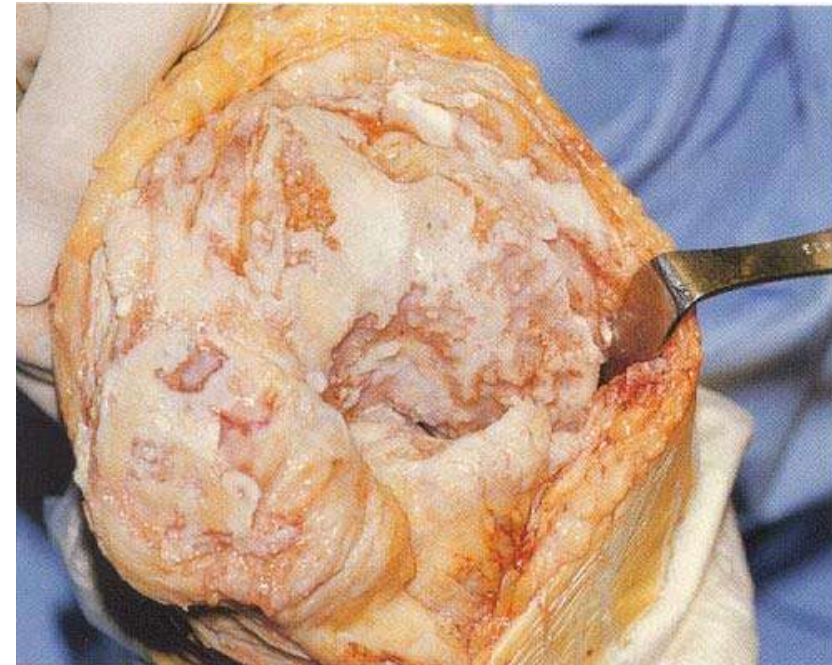
Another wrought Ti6Al4V alloy (F1472) is very similar to F136 alloy. All are in maximum % allowed.

Problema Principal:

- danos na cartilagem levam a vários problemas de artrites
- osteoartrites: 20,7 milhões de americanos

Sintomas:

- dor
- imobilidade

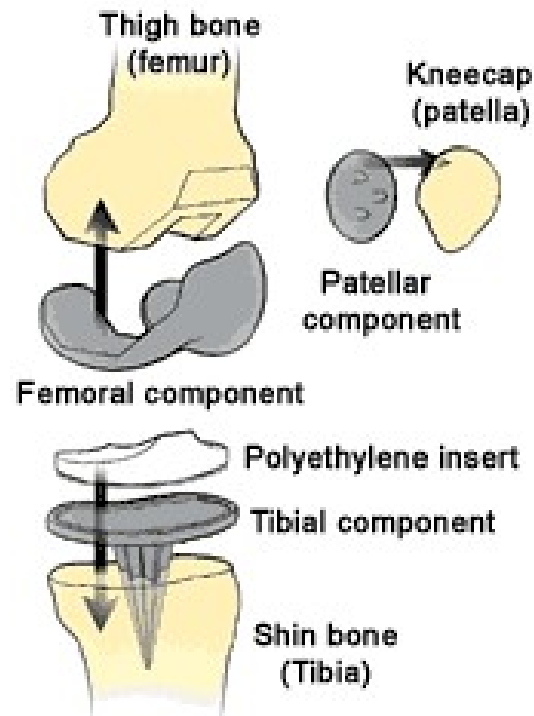


Solução: *Total Knee Replacement (TKR)*

- ✓ ~ 250,000 americanos recebem implantes de joelhos por ano

Resultados:

- ✓ diminuição ou eliminação da dor
- ✓ melhora a resistência da perna
- ✓ maior qualidade de vida



Componente femoral

Materiais: Co-Cr-Mo;Ti-6Al-4V

Interface: fixação biológica, PMMA

Componente tibial:

Materiais: Co-Cr-Mo (F75);Ti-6Al-4V

Interface: fixação biológica, PMMA

Componente patelar (rótula):

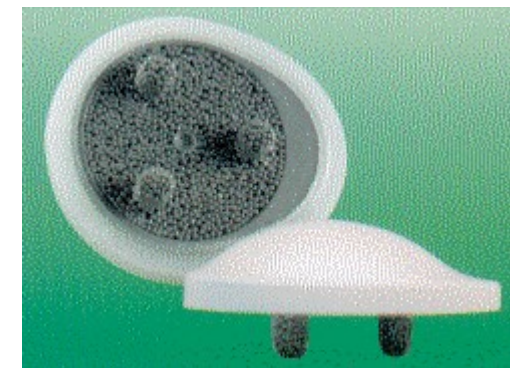
Materiais: Polietileno e Co-Cr-Mo (Liga Ti)

Interface: fixação biológica, PMMA

Elemento polimérico

Materiais: PE

Interface: sob pressão



Ligas de Ni-Ti (ligas de Nitinol)

✓SMA (*Shape Memory Alloys*): materiais com capacidade de recuperar a forma mesmo depois de severamente deformados;

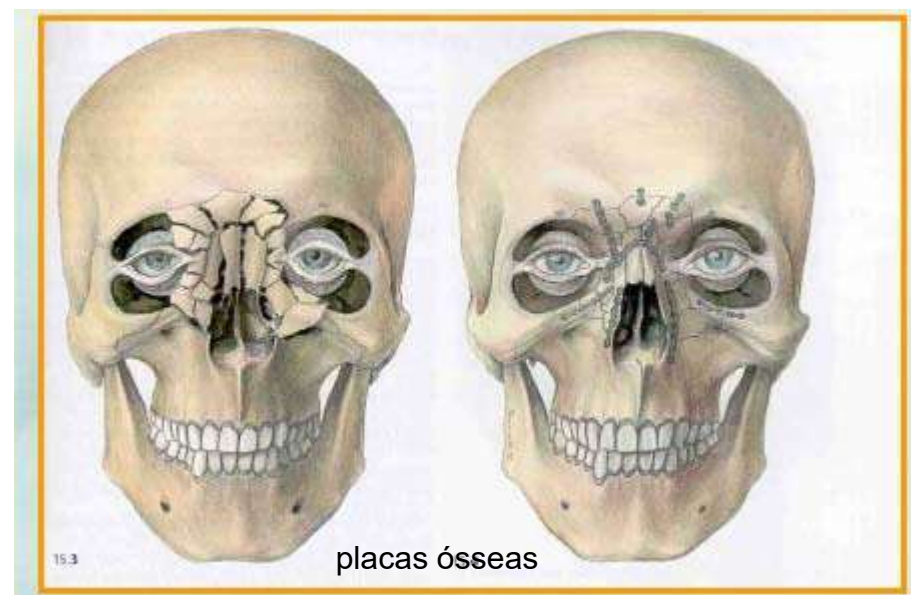
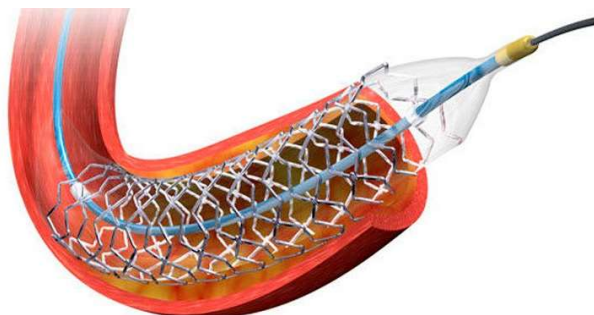
Table 5-11. Chemical Composition of Ni-Ti Alloy Wire

Element	Composition (w/o)
Ni	54.01
Co	0.64
Cr	0.76
Mn	0.64
Fe	0.66
Ti	balance



arcos dentários em ortodontia

stents em vasos sanguíneos arteriais

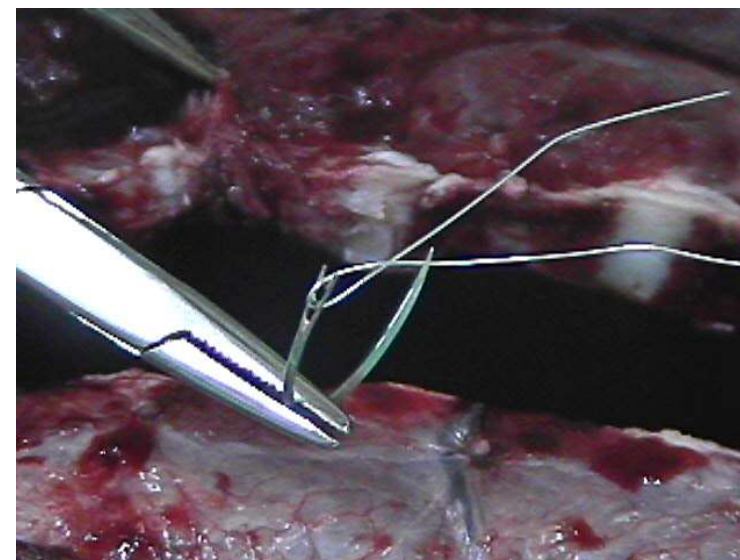


placas ósseas



Tântalo

- muito biocompatível;
- aplicação: fios para suturas (não absorvível);
- propriedades mecânicas fracas, mas elevada densidade 16,6 g/cm³;









Mechanical Properties of Tantalum (F560) (ASTM, 2000)

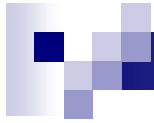
Properties	Fully annealed	Cold worked
Tensile strength ksi (MPa)	30 (207)	75 (517)
Yield strength (0.2% offset) ksi (MPa)	20(138)	50 (345)
Elongation (%)	20	2
Young's modulus ksi (GPa)	–	27550 (190)

1 ksi = 1,000 psi, 1 psi = 6,895 Pa. Flat mill products.



Vantagens/limitações dos materiais metálicos

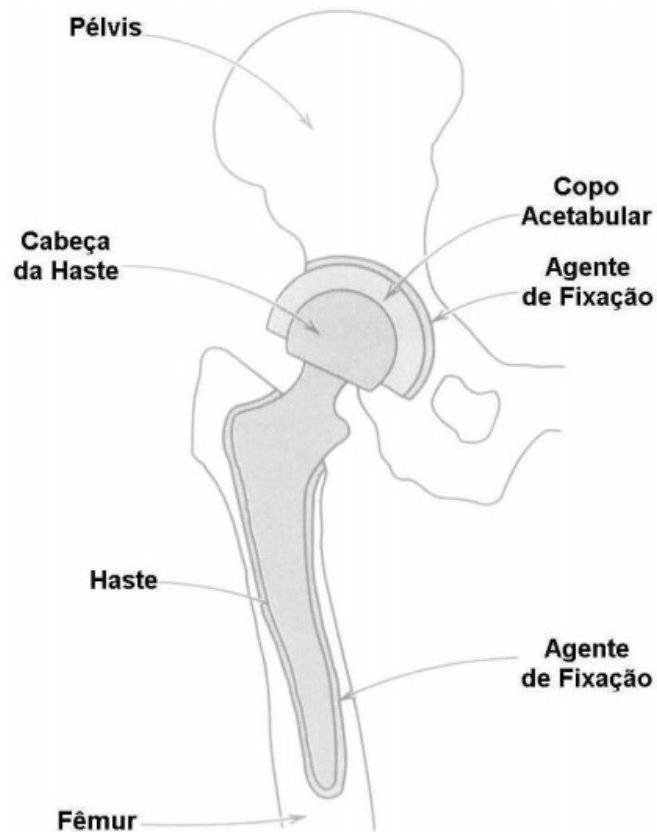
-  elevada resistência mecânica
-  facilidade de esterilização
-  visualização em imagem de raios X
-  suscetibilidade ao desgaste e corrosão
-  superfícies pouco hidrofílicas
-  elevado módulo de elasticidade (*stress-shielding*)



Influência do módulo de Young / *Stress shielding*

Requisitos

- ✓ resistência mecânica adequada
- ✓ elevada resistência à corrosão
- ✓ elevada biocompatibilidade
- ✓ osteointegração
- ✓ comportamento elástico semelhante ao do osso humano



$$E_{\text{osso}} = 3 - 20 \text{ GPa}$$

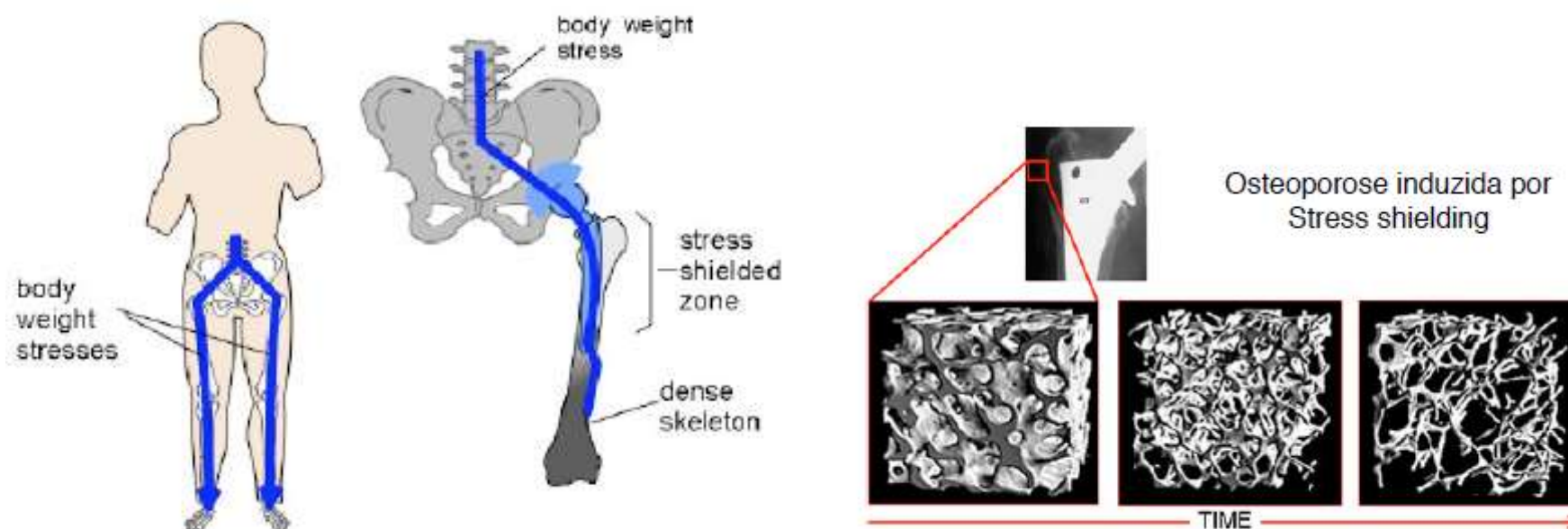
$$E_{\text{aço inox}} = 200 \text{ GPa}$$

$$E_{\text{Ti puro}} = 100 \text{ GPa}$$

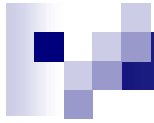
$$E_{\text{liga Ti } (\beta)} = 50 \text{ GPa}$$



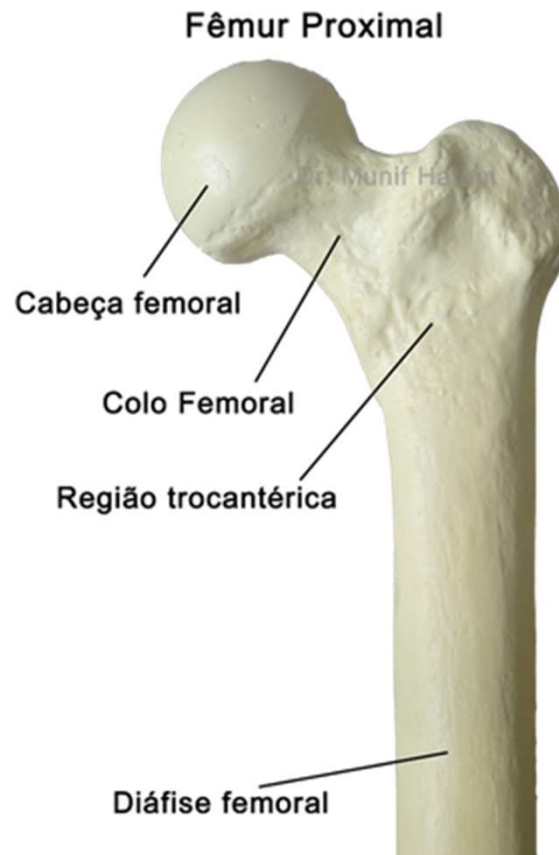
Influência do módulo de Young / *Stress shielding*



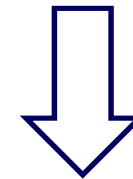
O implante cujo material é mais rígido que o osso, absorve o peso, reduzindo a solicitação a que o osso se encontra submetido.



Influência do módulo de Young / *Stress shielding*



Quando o **módulo de Young** do material do implante é maior do que o do osso este deixa de ser solicitado e é reabsorvido, criando risco de perda de fixação.



Stress shielding



Influência do módulo de Young / *Stress shielding*

