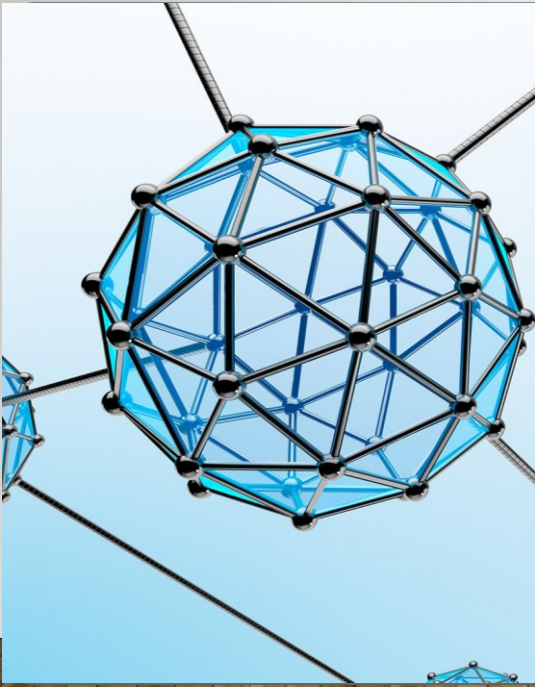




TE337
Materiais Elétricos
Prof. Ewaldo Luiz M. Mehl
Aula 2
Panorama
Geral da
Ciência e da
Engenharia de
Materiais
(2.ª parte)


UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

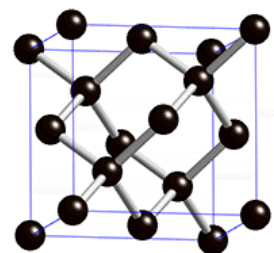
DELT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

1

2. Panorama Geral da Ciência e Engenharia de Materiais

Agenda:

- O que é Ciência dos Materiais
- O que é Engenharia dos Materiais
- Perspectiva Histórica dos Materiais
- Evolução dos Materiais
- Como escolher um Material?
 - Seleção dos materiais pelo Índice de Mérito
- Classificação dos Materiais
 - Classificação pela estrutura atômica
Metais – Cerâmicas – Polímeros – Compósitos – Semicondutores – Biomateriais
 - Classificação pelas Propriedades Físicas
Isolantes – Semicondutores – Condutores
 - Classificação usual para Materiais Elétricos
Condutores – Dielétricos – Semicondutores – Magnéticos
- Materiais Avançados
- Desenvolvimentos futuros



2

2

2

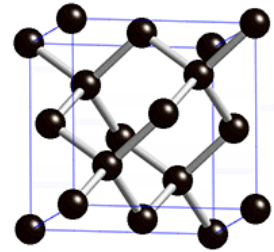
2. Panorama Geral da Ciência e Engenharia de Materiais

Agenda:

- O que é Ciência dos Materiais
- O que é Engenharia dos Materiais
- Perspectiva Histórica dos Materiais
- Evolução dos Materiais
- Como escolher um Material?
 - Seleção dos materiais pelo Índice de Mérito
- Classificação dos Materiais
 - Classificação pela estrutura atômica
Metais – Cerâmicas – Polímeros – Compósitos – Semicondutores – Biomateriais
 - Classificação pelas Propriedades Físicas
Isolantes – Semicondutores – Condutores
 - Classificação usual para Materiais Elétricos
Condutores – Dielétricos – Semicondutores – Magnéticos
- Materiais Avançados
- Desenvolvimentos futuros

1.ª parte

2.ª parte



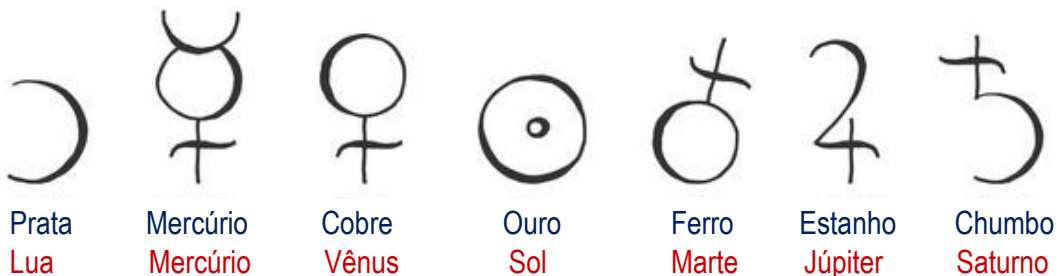
3

3

3

Escolha de Materiais

Até a Idade Média só eram conhecidos SETE metais:



Estes 7 metais eram associados, por razões místicas, com os SETE CORPOS CELESTES MÓVEIS que eram conhecidos nesta época (e também aos sete dias da semana!)

4

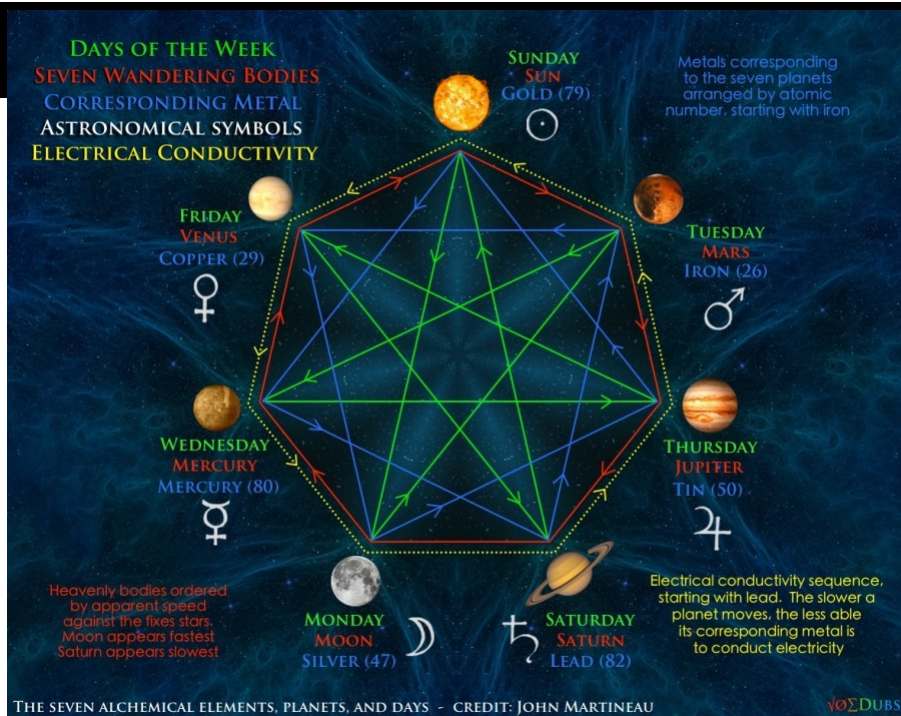
4

Metal	Ouro	Prata	Ferro	Mercúrio	Estanho	Cobre	Chumbo
Astro	Sol	Lua	Marte	Mercúrio	Júpiter	Vênus	Saturno
Latim	diēs Sōlis	diēs Lūnae	diēs Mārtis	diēs Mercuriī	diēs Iovis	diēs Veneris	diēs Sāturnī
Espanhol		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	
Inglês	Sunday	Monday					Saturday
Francês		Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	
Português	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
							

Escolha de Materiais

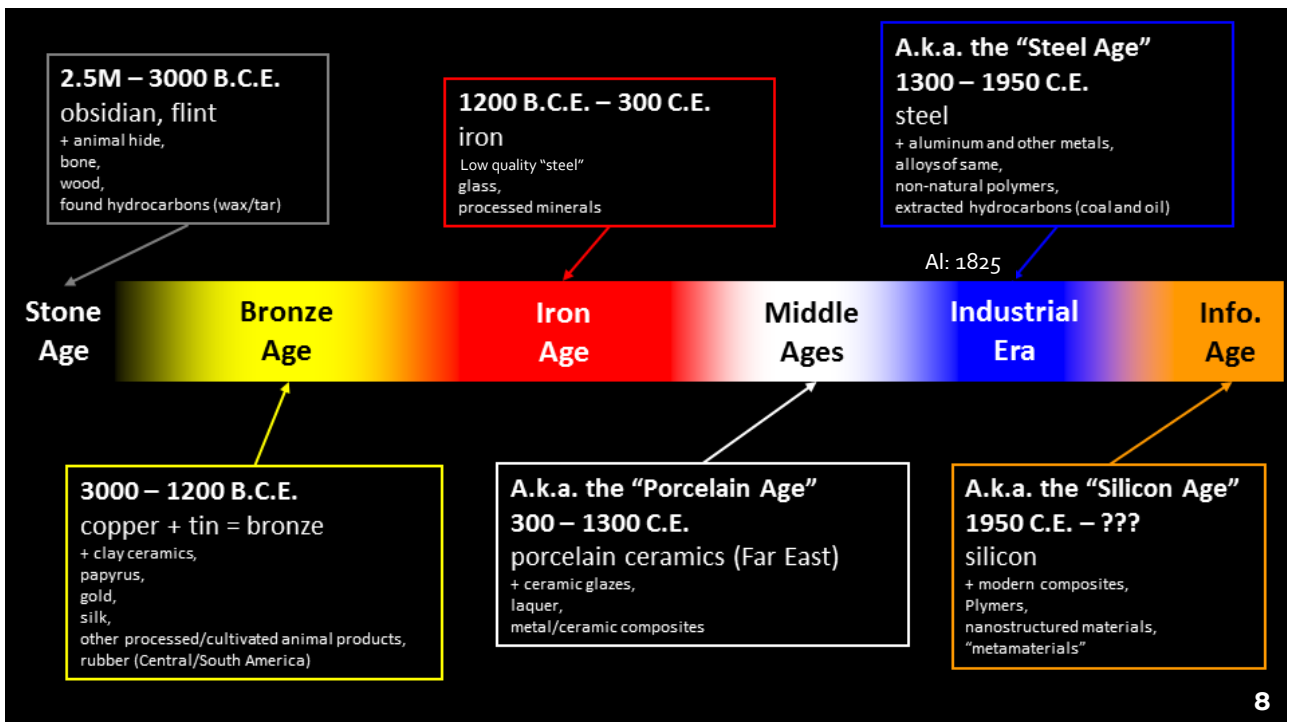
Metals of antiquity				
Metal	Celestial body	Characteristics	Symbol	Day of the week
gold	Sun	perfection bright yellow	☉	Sunday
silver	Moon	near perfection silvery	☾	Monday
copper	Venus	resembles gold looking-glass of Venus	♀	Friday
iron	Mars	warriors' metal shield and spear	♂	Tuesday
mercury (quicksilver)	Mercury	moves quickly messenger of gods	☿	Wednesday
tin	Jupiter	lower form of silver	♃	Thursday
lead	Saturn	least desired tarnished/dark	♄	Saturday

<https://www.sciencelearn.org.nz/images/3984-metals-of-antiquity>



7

7



8

8

Como escolher um material?

- O número de materiais disponíveis para a Engenharia **cresceu muito** nas últimas décadas
- Tendência: proliferarem cada vez mais as opções de materiais

Drivers para o desenvolvimento de Novos Materiais

- Desenvolvimento e aperfeiçoamento dos métodos de extração de materiais da natureza
- Modificação de materiais já conhecidos
- Combinação de materiais conhecidos para a formação de novos materiais

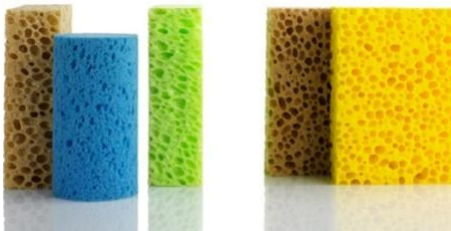


9

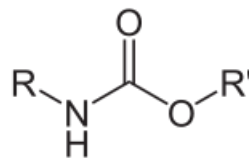
9

Quantos materiais existem?

São diferentes "materiais"?



Poliuretano (denominado pela sigla **PU**)



10

10

Quantos materiais existem?

São diferentes
"materiais"?



11

11

Como escolher um material?

Quantos materiais
diferentes existem?

Entre 40 mil e 80 mil, contando
as variantes
de tratamento térmico e
de composição
de cada material

COMO ESCOLHER ??



12

12

Como escolher um material?

Como definir qual o melhor material para um determinado fim?

Exemplo: Recipiente para tomar água



13

13

Como escolher um material?

Como definir qual o melhor material para um determinado fim?

Exemplo: Recipiente para tomar água

- Vidro
- Plástico
- Papel resinado
- Porcelana
- Metal

Escolha

- Tempo de vida ou Durabilidade
- Aparência
- Finalidade:
 - Natureza do líquido a ser contido no copo (ex.: suco de laranja não pode ser armazenado em recipientes de alguns metais porque remove componentes da liga)
 - Temperatura do líquido (ex.: café quente em um copo plástico, ou em um copo metálico)
- Impacto ambiental (reciclável)
- Questões culturais ou de hábito!
- CUSTO!

14

14

Como escolher um material?

1. **Propósito do Material:** Determine o objetivo principal do material. Por exemplo, se é necessário resistir a determinada temperatura ou a esforços mecânicos especiais.
2. **Público-Alvo:** Considere quem vai utilizar ou consumir o material. O nível de conhecimento e as necessidades do público influenciam a escolha do material.
3. **Qualidade e Durabilidade:** Avalie a qualidade e a durabilidade do material. Materiais de alta qualidade podem ser mais caros, mas duram mais tempo e oferecem melhor desempenho.
4. **Custo:** O orçamento disponível é um fator crucial. Compare o custo-benefício dos diferentes materiais disponíveis.
5. **Disponibilidade:** Verifique a disponibilidade do material no mercado. Materiais raros ou difíceis de encontrar podem atrasar o projeto.
6. **Compatibilidade:** Certifique-se de que o material é compatível com outros componentes ou sistemas que serão utilizados.
7. **Sustentabilidade:** Considere o impacto ambiental do material. Materiais sustentáveis são preferíveis para reduzir o impacto ambiental.



15

15

Quais os critérios que um engenheiro deve adotar para selecionar um material, entre tantas possibilidades de escolha?

- 1) Verificar as condições de operação que será submetido o material
- 2) Levantar as propriedades requeridas para tal aplicação
- 3) Listar alguns materiais possíveis para serem adotados nesta aplicação
- 4) Verificar limitações e restrições quanto ao uso destes materiais



16

16

Quais os critérios que um engenheiro deve adotar para selecionar um material, entre tantas possibilidades de escolha?

5) Levantamento do tipo de degradação que o material sofrerá em serviço.

Exemplos:

- elevadas temperaturas e ambientes corrosivos **diminuem consideravelmente a resistência mecânica** de muitos materiais.
- a exposição ao Sol **altera a cor e deixa quebradiços** a maioria dos materiais poliméricos.



17

17

Quais os critérios que um engenheiro deve adotar para selecionar um material, entre tantas possibilidades de escolha?

6) Finalmente, a consideração mais importante é, provavelmente, a econômica:
Qual o custo do produto acabado, decorrente da escolha deste material???

Um material pode reunir um conjunto ideal de propriedades, porém com custo elevadíssimo!



18

18

Seleção dos materiais pelo índice de mérito

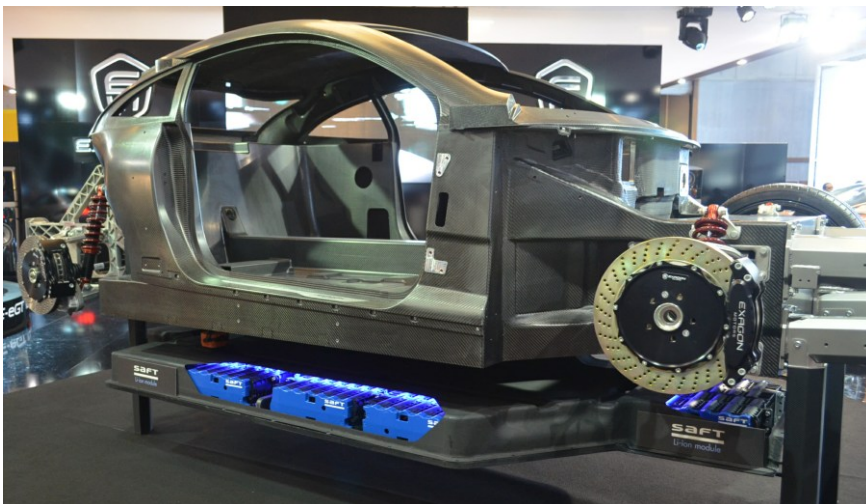


Foto: Mondial de l'Automobile 2012 Paris © ELMM

19

19

Seleção dos materiais pelo índice de mérito



PRFC= Polímero reforçado com fibra de carbono

Foto: Mondial de l'Automobile 2012 Paris © ELMM

20

20

Seleção dos materiais pelo índice de mérito

☀ Ex. Resistência à tração:

Material	Aço-liga (alta resist.)	Ti	Al (AA7074)	PRFC
Resistência à tração (MPa)	1000	800	500	700

PRFC= Polímero reforçado com fibra de carbono

21

21

Seleção dos materiais pelo índice de mérito

☀ Ex. Resistência/peso:

Material	Aço-liga (alta resist.)	Ti	Al (AA7074)	PRFC
	133	170	185	390

PRFC= Polímero reforçado com fibra de carbono

22

22

Seleção dos materiais pelo índice de mérito

☀ Ex. Custo/kg [US\$]:

Material	Aço-liga (alta resist.)	Ti	Al (AA7074)	PRFC
	0,75	15	3	20

PRFC= Polímero reforçado com fibra de carbono

23

23

Seleção dos materiais pela aplicação

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE INDÚSTRIA
NA ESCOLHA DOS MATERIAIS**

INDÚSTRIA DE PONTA

PRODUÇÃO EM MASSA



Fotos: Mondial de l'Automobile 2012 Paris © ELMM

24

24

Seleção dos materiais pela aplicação



25

Seleção dos materiais pela aplicação

Indústrias de ponta:

- Utilizam recursos tecnológicos avançados
- Produtos sofisticados, de alto desempenho
- Usam **o melhor material disponível**, sem considerar o custo!

Exemplos de indústrias de ponta:

- Espacial (satélites, foguetes)
- Aeronáutica (aviões, helicópteros)
- Militar (veículos militares, armamento, radar)
- Biotechnology
- Automóveis de luxo
- Equipamento esportivo de competição



26

26

Como escolher um material?

Quais os critérios que um engenheiro deve adotar para selecionar um material, entre tantas possibilidades de escolha?

- **Em raras ocasiões um material reúne uma combinação ideal de propriedades.**
- Muitas vezes é necessário **reduzir a exigência de uma propriedade**, em benefício de outra.
- Exemplo: **resistência e ductilidade**
Geralmente um material de alta resistência apresenta ductilidade limitada. Este tipo de circunstância exige que se estabeleça um compromisso razoável entre duas ou mais propriedades.



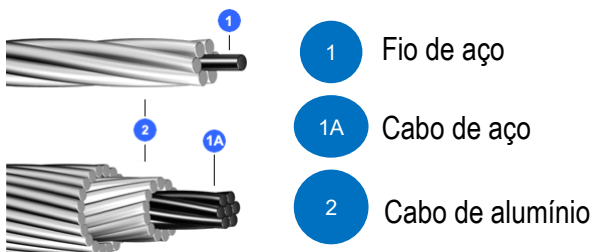
27

27

Como escolher um material?

Quais os critérios que um engenheiro deve adotar para selecionar um material, entre tantas possibilidades de escolha?

- **Solução de Engenharia avançada:**
COMBINAR materiais com propriedades diferentes, obtendo um produto "composto" que reúne características dos diferentes materiais utilizados.



28

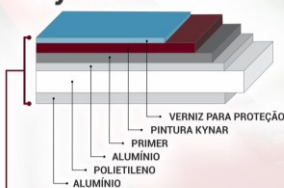
28

- **Solução de Engenharia avançada:**
COMBINAR materiais com propriedades diferentes, obtendo um produto “composto” que reúne características dos diferentes materiais utilizados.

ACM = Aluminum Composite Material

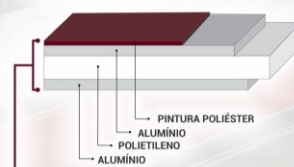


Kynar

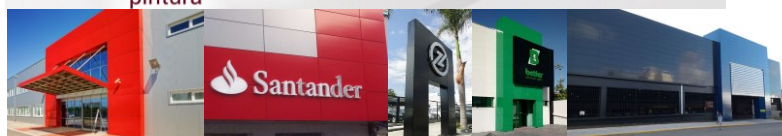


Garantia de até 15 anos de durabilidade na pintura

Poliéster



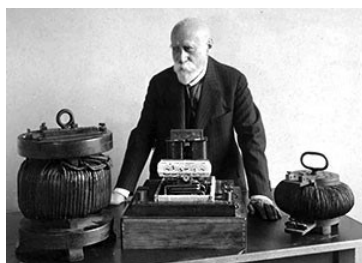
Durabilidade de até 5 anos*



29

29

- **Engenharia e sustentabilidade ambiental:**
O Engenheiro possuidor de GREEN SKILLS deve ter sempre em mente e verificar sempre que possível a existência de alternativas mais interessantes sob o ponto de vista de RECICLAGEM e SUSTENTABILIDADE!



Otto Bláthy, em 1885 junto aos primeiros transformadores de potência construídos por ele

Transformador trifásico com óleo vegetal



30

30

<https://itb.ind.br/conheca-nosso-transformador-trifasico-com-oleo-vegetal/>

Classificação dos Materiais

A classificação tradicional dos materiais é geralmente baseada em:

Estrutura atômica

Propriedades físicas

1.2	Different Types of Engineering Materials.....	1
1.2.1	Metals	2
1.2.2	Nonferrous Metals.....	3
1.2.3	Ceramics.....	3
1.2.4	Organic Polymers	3
1.2.5	Alloys.....	3
1.2.6	Composites.....	3

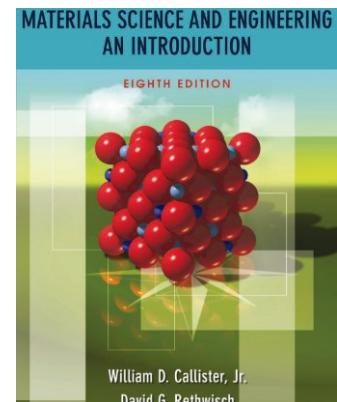
31

31

Classificação dos Materiais

- Metais
- Cerâmicas
- Polímeros
- Compósitos
- Semicondutores
- Materiais avançados:
biomateriais,
nanomateriais,
"materiais inteligentes"
etc.

Classificação tradicional



32

32

Classificação dos Materiais

Metais

- Materiais metálicos são geralmente uma combinação de elementos metálicos (ligas).
- Os elétrons de valência não estão ligados a nenhum átomo em particular. Por isso metais são bons condutores de calor e eletricidade
- Não são transparentes à luz visível
- Têm aparência brilhante quando polidos
- Geralmente são resistentes e deformáveis
- São muito utilizados para aplicações estruturais
- Raramente são usados em estado puro (ligas metálicas são mais comuns)
- Recicláveis



33

33

Classificação dos Materiais

Os metais na tabela periódica

IA																																				O																																			
1	II A																																		2																																				
H																																			He																																				
3	4																	5	6	7	8	9								10																																									
Li	Be																	B	C	N	O	F								Ne																																									
11	12																	13	14	15	16	17	18								18																																								
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar								Ar																																								
																		VIII																		I B																		II B																	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																																																						
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																																																						
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																																																						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																																																						
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86																																																						
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																																																						
87	88	89																																																																					
Fr	Ra	Ac																																																																					
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71																																																										
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																																										
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103																																																										
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw																																																										



34

34

Classificação dos Materiais

■ Cerâmicas

- Materiais cerâmicos são geralmente uma combinação de elementos metálicos e não-metálicos.
- Geralmente são óxidos, nitretos e carbeto
- Fabricados por sinterização a alta temperatura
- São geralmente isolantes de calor e isolantes elétricos
- São mais resistentes à altas temperaturas e a ambientes severos que metais e polímeros
- Com relação às propriedades mecânicas, as cerâmicas são duras, porém frágeis
- Em geral são leves



35

35

Classificação dos Materiais

As cerâmicas na tabela periódica

IA																		O	
1	2																	10	18
H	He																	Ne	Ar
3	4																	10	18
Li	Be																	Ne	Ar
11	12																	18	36
Na	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	IX	X	XI	XII	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	36	54
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	54	86
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	86	118
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	118	118
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	118	118
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	118	118
87	88	89																	118
Fr	Ra	Ac																	118

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw



Cerâmicas são formadas pela combinação de metais (quadrados em verde) com os elementos C, N, O, P e S

Algumas cerâmicas utilizam Si e Ge, não como semicondutores, mas equivalentes a metais

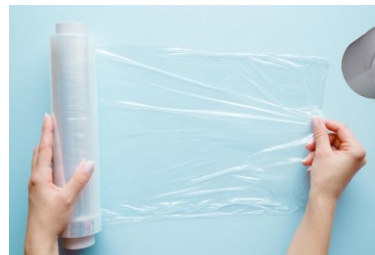
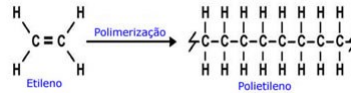
36

36

Classificação dos Materiais

Polímeros

- Materiais poliméricos são geralmente compostos orgânicos baseados em carbono, hidrogênio e outros elementos não-metálicos.
- São constituídos de moléculas muito grandes (macro-moléculas)
- Tipicamente, esses materiais apresentam baixa densidade e podem ser extremamente flexíveis
- Materiais poliméricos incluem plásticos e borrachas
- Tipicamente a cadeia principal é formada por átomos de carbono, mas há também Polímeros com cadeia principal de Silício-Oxigênio (silicones).
- Geralmente são muito estáveis à degradação pelo Sol e pela umidade.
- Nem todo polímero é reciclável!



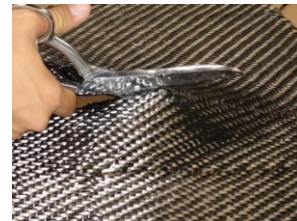
37

37

Classificação dos Materiais

Compósitos

- Materiais compósitos são constituídos de mais de um tipo de material insolúveis entre si.
- Os compósitos são "desenhados" para apresentarem a combinação das melhores características de cada material constituinte
- Muitos dos recentes desenvolvimentos em materiais envolvem materiais compósitos
- Um exemplo clássico é o compósito de matriz polimérica com fibra de vidro. O material compósito apresenta a resistência da fibra de vidro associada a flexibilidade do polímero



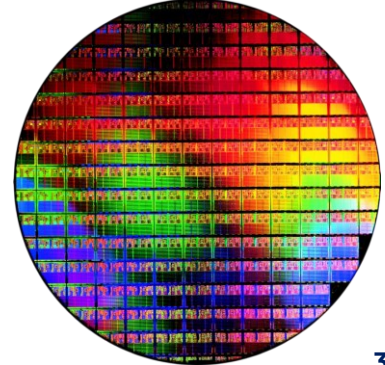
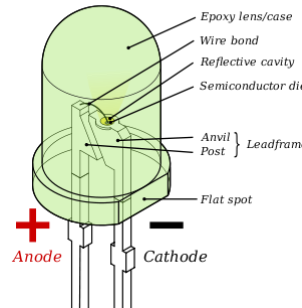
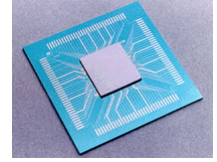
38

38

Classificação dos Materiais

Semicondutores

- Materiais semicondutores apresentam propriedades elétricas intermediárias entre metais e isolantes
- As características elétricas são extremamente sensíveis à presença de pequenas quantidades de dopantes, cuja concentração pode ser controlada em pequenas regiões do material (para formar as junções p-n)
- Os semicondutores tornaram possível o advento dos circuitos integrados, que revolucionaram as indústrias de eletrônica e computadores
- Ex: Si, Ge, C, GaAs, InGaAsP, InSb, GaN, CdTe,



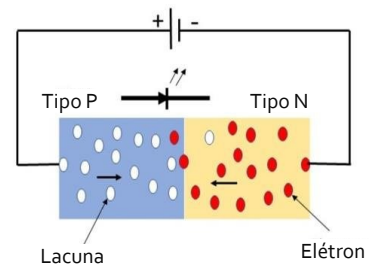
39

39

Classificação dos Materiais

Os semicondutores na tabela periódica

IA																		O					
1 H	II A																		2 He				
3 Li	4 Be																	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII				I B	II B	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar					
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr						
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe						
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn						
87 Fr	88 Ra	89 Ac																					
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu										
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw										



Para a fabricação de dispositivos eletrônicos utilizam-se elementos puros da coluna IV (Si, Ge, C) e também combinações III-V (GaAs) e II-VI (CdS)

40

40

Classificação dos Materiais

MATERIAIS AVANÇADOS

- São materiais **utilizados em aplicações de tecnologia de ponta**
- Materiais utilizados na fabricação de dispositivos ou componentes que funcionam ou operam usando princípios sofisticados
- Exemplos: equipamentos eletrônicos (CD, DVD, *BlueRay*), computadores, sistemas de fibra óptica, foguetes e mísseis militares, detectores, lasers, displays de cristal líquido, indústria aeroespacial, etc.
- São geralmente materiais tradicionais cujas propriedades são otimizadas



41

41

Nanomateriais

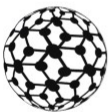
NMs classification based on dimensionality

0D

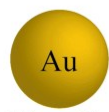
Nanospheres, clusters



Quantum dots



Fullerenes



Gold nanoparticles

1D

Nanotubes, wires, rods



Metal nanorods, Ceramic crystals



Carbon nanotubes, Metallic nanotubes



Gold nanowires, Polymeric nanofibers, Self assembled structures

2D

Thin films, plates, layered structures



Carbon coated nanoplates



Graphene sheets



Layered nanomaterials

3D

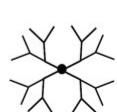
Bulk NMs, polycrystals



Liposome

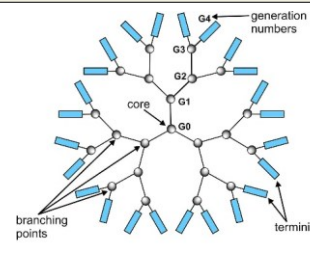


Polycrystalline



Dendrimer

- Baseados em carbono: nanotubos, grafeno, revestimentos de carbono
- Baseados em metais e/ou semicondutores: nano-ouro, nano-prata, dióxido de titânio, micro-cristais semicondutores
- Dendrímeros (*dendrimers*): micro-polímeros
- Compósitos



DENDRIMER

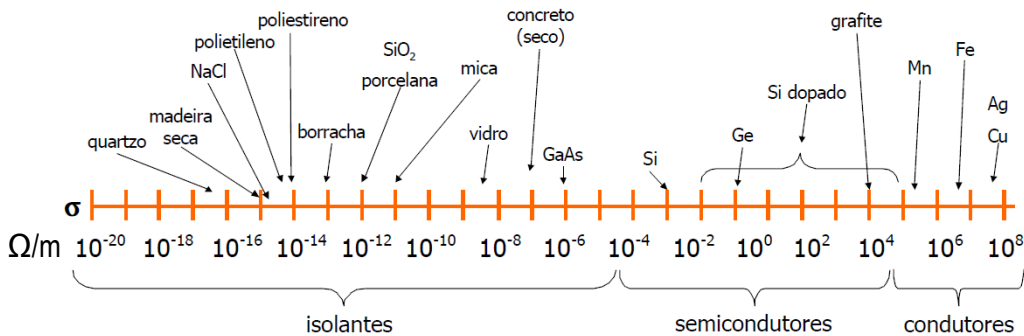
42

42

Classificação dos Materiais

COMPORTAMENTO ELÉTRICO DOS MATERIAIS

- Uma das características elétricas mais importantes dos materiais é a magnitude da sua condutividade (resistividade) elétrica. De acordo com ela os materiais podem ser classificados em três tipos: **condutores**, **semicondutores** e **isolantes** (ou **dielétricos**).



43

43

Classificação dos Materiais

Qual material é o melhor condutor de eletricidade?

Material	Substância	Condutividade ($\Omega \times m^{-1}$)
Condutores	Prata	$6,8 \times 10^7$
	Cobre	$6,0 \times 10^7$
	Ouro	$4,3 \times 10^7$
	Alumínio	$3,8 \times 10^7$
	Ferro	$1,0 \times 10^7$
	Aço	$0,6 \times 10^7$
	Grafite	$1,7 \times 10^2$

Obs.: na temperatura de 25°C

Unusual Electron Configurations

Element	Predicted Electron Configuration	Actual Electron Configuration
copper, Cu	[Ar] 3d ⁹ 4s ²	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹
silver, Ag	[Kr] 4d ⁹ 5s ²	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹
gold, Au	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ²	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹
palladium, Pd	[Kr] 4d ⁸ 5s ²	[Kr] 4d ¹⁰
chromium, Cr	[Ar] 3d ⁴ 4s ²	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹
molybdenum, Mo	[Kr] 4d ⁴ 5s ²	[Kr] 4d ⁵ 5s ¹



44

44

Classificação dos Materiais

COMPORTAMENTO ELÉTRICO DOS MATERIAIS

- O comportamento dos materiais, em resposta à aplicação de um **campo elétrico** externo, define as **propriedades elétricas** dos materiais.
- As propriedades elétricas são consequência de diferentes características dos materiais, tais como: configuração eletrônica, tipo de ligação química, tipo de estrutura e microestrutura.
- Uma das propriedades elétricas mais importantes dos materiais é a **condutividade elétrica (resistividade elétrica)**; ela é uma medida da facilidade (dificuldade) com que os meios materiais transportam uma corrente elétrica.

$$\sigma = 1 / \rho$$

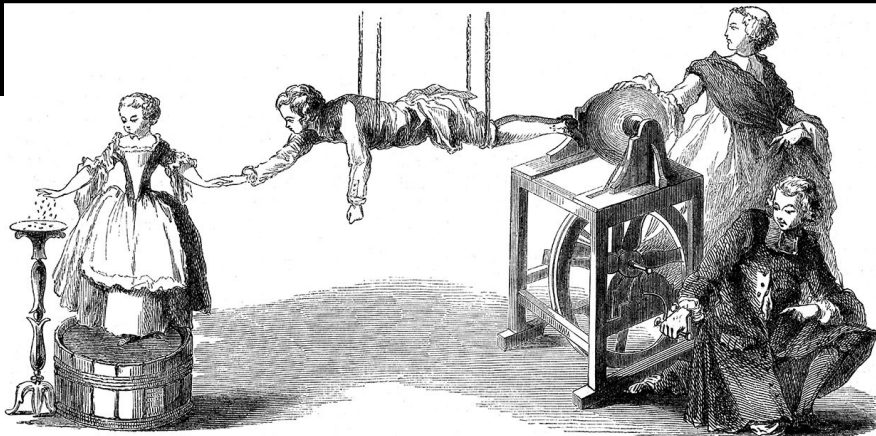
σ = condutividade elétrica (ohm.cm)⁻¹
 ρ = resistividade elétrica (ohm.cm)

No estudo de materiais elétricos o principal parâmetro a considerar é a condutividade (ou resistividade) do material



45

45



Stephen Gray
(1666 – 1736)



Substâncias
“elétricas” e
“não elétricas”

Materiais condutores

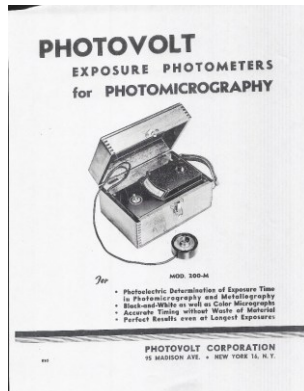
Materiais isolantes

46

46

Classificação dos Materiais

1914: Johann Koenigsberger apresentou uma divisão dos materiais em estado sólido em três grupos em função de sua condutividade: condutores, isolantes e “condutores variáveis”.



Materiais condutores

Materiais isolantes

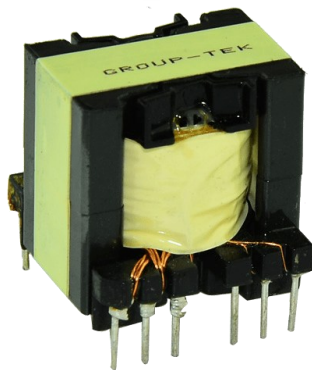
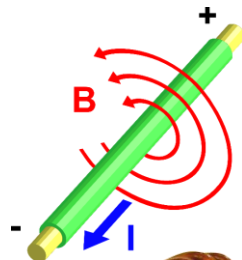
Materiais semicondutores



47

47

Classificação dos Materiais



Materiais condutores

Materiais isolantes

Materiais semicondutores

Materiais magnéticos

$\vec{E}$

$\vec{B}$



48

48

Classificação na Engenharia Elétrica

- **Materiais Condutores:** São materiais que permitem a passagem livre de corrente elétrica. **Exemplos:** Cobre, Alumínio, Bronze, Estanho etc.
- **Materiais Dielétricos ou Isolantes:** São materiais capazes de prover a separação entre diferentes elementos condutores apresentando grande oposição a passagem de corrente elétrica em seu interior.
Exemplos: Borracha, Porcelana, PVC, Papel etc.
- **Materiais Semicondutores:** São materiais que possuem condutividade intermediária entre condutores e isolantes e também modificação da condutividade pela adição de elementos dopantes ao cristal .
Exemplos: Germânio, Silício, Carbono, GaAs, InGaAsP
- **Materiais Magnéticos:** São materiais que interagem com grande intensidade com campos magnéticos.
Exemplos: Aço Silício, Alnico, Liga $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, Ferrites cerâmicas

$\vec{E}$

$\vec{B}$

49

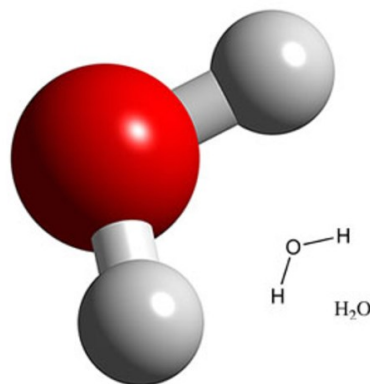
49



50

Próximo assunto:

3. Constituição atômica da matéria



50

50

Referências

- VAN VLACK, Laurence Hall. **Princípios de Ciência dos Materiais**, Ed. Campus.
- RETHWISCH, David G.; CALLISTER JR., William D. **Ciência e Engenharia de Materiais; uma introdução**, Ed. LTC, 8.ª Edição, 2012.
- <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3864829>
- **Classification of Nanomaterials, The Four Main Types of Intentionally Produced Nanomaterials** <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1872>



© Ewaldo Luiz de Mattos Mehl, 2025