

Materiais e suas Propriedades - Renata Ayres

Lista 2, 3, 4 e 5

1. Quais são as possibilidades de estruturas de materiais poliméricos? (tipo de cadeia e cristalização parcial)?

Os polímeros podem se arranjar de quatro maneiras distintas no espaço, existem os polímeros lineares, quando ocorrem quando as unidades repetidas estão unidas entre si extremidade a extremidade em cadeias únicas. Os polímeros ramificados possuem cadeias de ramificações laterais ligadas às principais. Nos polímeros com ligações cruzadas, cadeias adjacentes estão unidas umas às outras em várias posições por meio de ligações covalentes. Por último, os polímeros em rede são monômeros multifuncionais com três ou mais ligações covalentes que formam redes tridimensionais.

Foi proposto que um polímero semicristalino consiste em pequenas regiões cristalinas (cristalitos), cada uma delas com um alinhamento preciso, tem forma de plaquetas e uma estrutura com cadeias dobradas, em que as cadeias dentro de uma plaqueta estão alinhadas e dobram-se para frente e para trás sobre elas mesmas, com as dobras ocorrendo nas faces. Muitos polímeros semicristalinos formam esferulitas, que são um conjunto de cristalitos lamelares com cadeias dobradas em forma de fita que irradiam para fora a partir de seu centro.

2. Como podem ocorrer as reações de polimerização? Quais são os tipo de polímeros formados?

Pode ocorrer polimerização por adição que envolve 3 etapas e não há formação de subprodutos:

- iniciação: aplicação de calor, luz, pressão ou catalisador para a ruptura das ligações
- propagação: crescimento das cadeias poliméricas
- término: desaparecimento de pontos reativos.

polímeros formados: poli(metacrilato de metila), poliestireno, polietileno, polipropileno, poli(cloreto de vinila).

Outro tipo é a polimerização por condensação onde as reações químicas ocorrem por etapas, e em geral envolvem mais de um tipo de monômero. Ocorre pela reação entre duas ou mais substâncias diferentes e forma-se um subproduto de baixo peso molecular. Polímeros formados: resina de fenol-formaldeído (baquelite), poli (hexametileno adipamida), (poliamida-6,6, náilon-6,6), poli (tereftalato de etileno), policarbonato.

3. O que são polímeros termoplásticos e polímeros termofixos? Quais são as características de cada um deles? E qual a principal diferença em relação às etapas de processamento?

- termoplásticos: tem estrutura lineares e ramificadas, amolecem quando são aquecidos e endurecem quando resfriados - processos que são totalmente reversíveis e que podem ser repetidos. Em uma escala molecular, na medida em que a temperatura é elevada, as forças de ligação secundárias diminuem, de tal maneira que o movimento relativo de cadeias adjacentes é facilitado quando se aplica uma tensão. Esses materiais são fabricados normalmente com uma aplicação simultânea de calor e pressão.
- termofixos: tem estrutura em rede e ligações cruzadas. Eles se tornam permanentemente duros durante a sua formação e não amolecem com um aquecimento subsequente. São, em geral, mais duros e mais resistentes do que os termoplásticos e possuem uma melhor estabilidade dimensional.

4. Quais são as características gerais de elastômeros, blendas poliméricas e espumas?

- elastômeros: possuem alta elasticidade e T_g (temperatura de transição vítrea) abaixo da temperatura ambiente. Têm poucas ligações cruzadas de fases diferentes que agem como ligações reversíveis.
- blendas poliméricas: é a mistura mecânica de plásticos diferentes, onde na maior parte dos casos não existe reação química entre esses materiais.
- espumas: materiais plásticos que contêm uma porcentagem volumétrica relativamente elevada de pequenos poros e bolhas de gás aprisionadas. Podem ser tanto termoplásticos como termofixos. São formadas pela adição de gases ou agentes expansores

5. Quais são as opções de processos de conformação de materiais poliméricos? Quais são os parâmetros envolvidos para a escolha do método de conformação? Qual a função dos aditivos? Explique.

A moldagem é o método mais comum para a conformação de polímeros plásticos. As várias técnicas de moldagem usadas incluem as moldagens por compressão, transferência, sopro, injeção e extrusão. O método usado para um polímero específico depende de diversos fatores: (1) se o material é termoplástico ou termofixo; (2) se ele for termoplástico, da temperatura na qual ele amolece; (3) da estabilidade atmosférica do material que está sendo conformado; e (4) da geometria e do tamanho do produto acabado.

Algumas propriedades dos polímeros estão relacionadas e são controladas pela estrutura molecular. Muitas vezes, no entanto, torna-se necessário modificar as propriedades mecânicas, químicas e físicas a um nível muito maior do que é possível pela simples alteração dessa estrutura molecular fundamental. Aditivos são introduzidos intencionalmente para melhorar ou modificar muitas dessas propriedades e, dessa forma, tornar um polímero mais útil em serviço

6. Como são formadas as estruturas dos silicatos? Quais são elas? Explique.

Os silicatos são materiais compostos principalmente por silício e oxigênio. Os cristais dos silicatos são constituídos por sua unidade fundamental, o tetraedro SiO_4 , onde cada cátion Si^{4+} liga-se de forma covalente, por compartilhamento de elétrons, a quatro ânions O^{2-} situados nos vértices de um tetraedro. Essa estrutura admite a possibilidade de cada oxigênio ligar-se a outro átomo de oxigênio situado no vértice de outro tetraedro.

Existem silicatos simples que envolvem tetraedros isolados, e silicatos em camadas que podem ser produzidos pelo compartilhamento de três íons oxigênio em cada um dos tetraedros.

7. Quais são as principais características de materiais vítreos, em relação à composição, estrutura e propriedades?

No vidro não ocorre a cristalização, quando o líquido é resfriado, aumenta a sua viscosidade (e diminui o seu volume) até que a viscosidade aumente tanto que o material comece a apresentar o comportamento mecânico de um sólido. Não possui uma temperatura de fusão cristalina, mas uma temperatura de fusão vítrea.

8. Quais são os pontos importantes para o estudo das propriedades mecânicas, que podem alterar os resultados dos ensaios?

As propriedades mecânicas descrevem o comportamento do material sob carregamento mecânico (tração, compressão, flexão e cisalhamento). Estão diretamente correlacionadas às ligações químicas e à microestrutura dos materiais. São medidas através de testes padrões normalizados. Podem variar com a temperatura, tempo, nível de solicitação, condições climáticas, etc

9. Apresente as fórmulas utilizadas para o cálculo da tensão e da deformação de um material, inclusive as unidades, tanto para deformação linear como para deformação angular, indicando em quais casos ocorre cada uma dessas deformações.

Cálculo de tensão: $\sigma = F / A$, onde σ é a tensão, em N/m², F é a força em N e A é a área de secção transversal em m².

Cálculo da deformação: Linear (ϵ)

ϵ (adimensional) = $\Delta l / l_0$ (Variação do comprimento (m)/Comprimento inicial (m))

Ocorre em casos de tração e compressão.

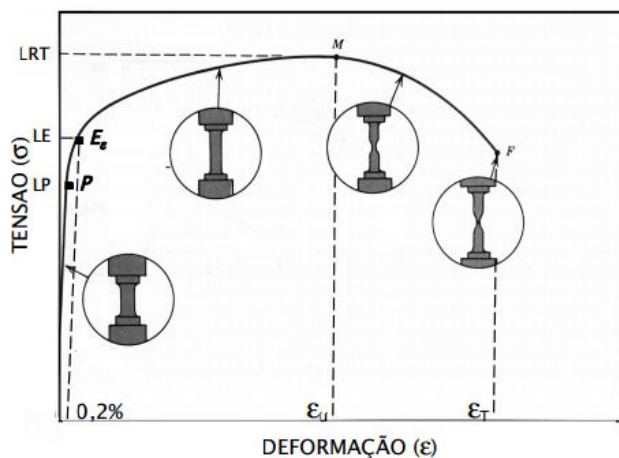
Angular (γ)

$\gamma = \tan \theta$

Ocorre em casos de cisalhamento e torção.

10. Mostre um esquema da curva resultante de um ensaio de tração, indicando e explicando os pontos importantes para a caracterização do material.

O comportamento representativo da curva de tensão em função da deformação obtida num ensaio de tração de um corpo metálico é:



P – Limite de proporcionalidade (LP); a deformação a partir do ponto P é plástica, e antes é elástica.

- O ponto E_ε corresponde ao LIMITE DE LIMITE DE ESCOAMENTO (LE) - Deixa de ser plástica para se tornar elástico
- O ponto M corresponde ao LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (LRT), que é a tensão máxima atingida durante o ensaio.
- A deformação (ε_u) no ponto M corresponde ao máximo valor de ε com alongamento uniforme. Deformações maiores que ε_u ocorrem com estricção (empescoamento).
- A fratura ocorre no ponto F (LIMITE DE RUPTURA). A deformação (ε_T) na fratura corresponde ao alongamento total.

11. O que representa a Lei de Hooke? Ela é válida para que tipo de materiais?

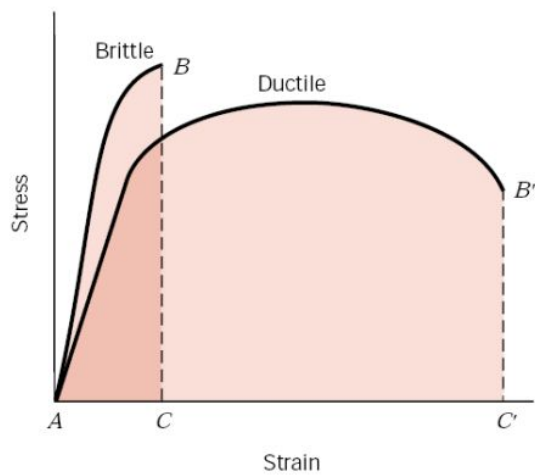
Existe algum parâmetro que influencia essa característica? Qual?

$$\sigma = E\varepsilon$$

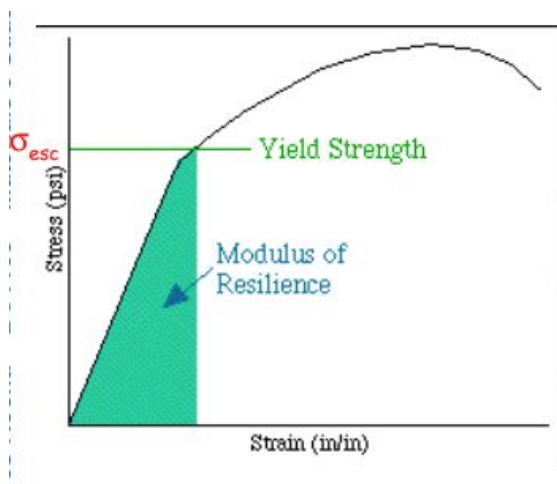
Ela representa a elasticidade, ou seja, a relação entre tensão e deformação. É válida para materiais perfeitamente elásticos. A temperatura influencia.

12. Qual a característica da ductilidade, da resiliência e da tenacidade? Utilize gráficos para auxiliar na resposta.

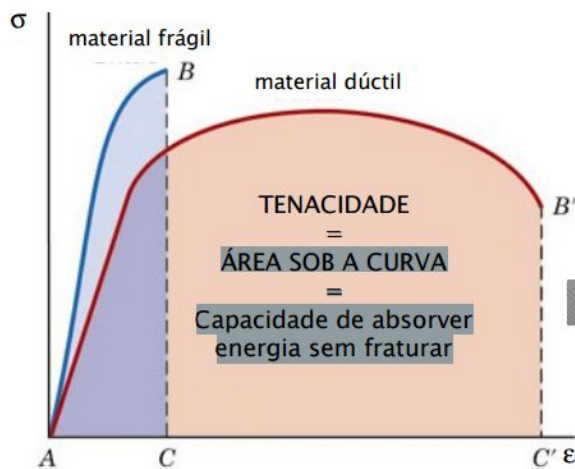
Ductilidade: Medida do grau de deformação plástica que um material pode sofrer até o rompimento.



Resiliência: - Corresponde à capacidade de o material absorver energia quando ele é deformado elasticamente. $U_r = \frac{\sigma_y^2}{2E}$ - Materiais resilientes são aqueles que têm alto limite de elasticidade (como os materiais utilizados para molas)



Tenacidade: ÁREA SOB A CURVA = Capacidade de absorver energia sem fraturar



13. Quais são as possibilidades de caracterização de um material através da dureza?

Duro e frágil, duro e forte, duro e tenaz, mole e fraco, mole e tenaz.

14. O que indica a transição dúctil-frágil? Por que ela é importante no estudo das propriedades dos materiais?

Materiais que suportam pouca deformação plástica são chamados frágeis. Materiais que suportam muita deformação plástica são chamados dúcteis.

15. Para materiais cerâmicos, como podem ser determinadas as propriedades mecânicas? Por quê?

Rompem com baixa absorção de energia, Fratura frágil/catastrófica. Testes mecânicos em tração são pouco utilizados em cerâmicas, pois são: ↯Difícil de prender em garras para tração sem fraturar o corpo de prova ↯Difícil de usinar no formato requerido para o teste ↯Geralmente fratura a menos de 0,1 % de deformação; difícil de alinhar o corpo de prova, Erros de medida são normalmente grandes. Então utiliza-se Testes de flexão, Testes de compressão, Secções transversais possíveis. Cerâmicas Cristalinas são Materiais tipicamente frágeis. Presença de poucos sistemas de escorregamento para as discordâncias. Durante o escorregamento, íons de cargas iguais terão que se aproximar, causando repulsão eletrostática e impedindo o movimento da discordância.

16. Qual o principal mecanismo de deformação plástica dos materiais cristalinos? Como ele ocorre?

Geralmente consiste no escorregamento de planos atômicos através da movimentação de discordância. Ocorre na formação de um degrau na superfície de um metal pela movimentação de uma discordância em cunha e uma discordância em hélice.

17. Quais são os mecanismos de aumento de resistência em materiais cristalinos?

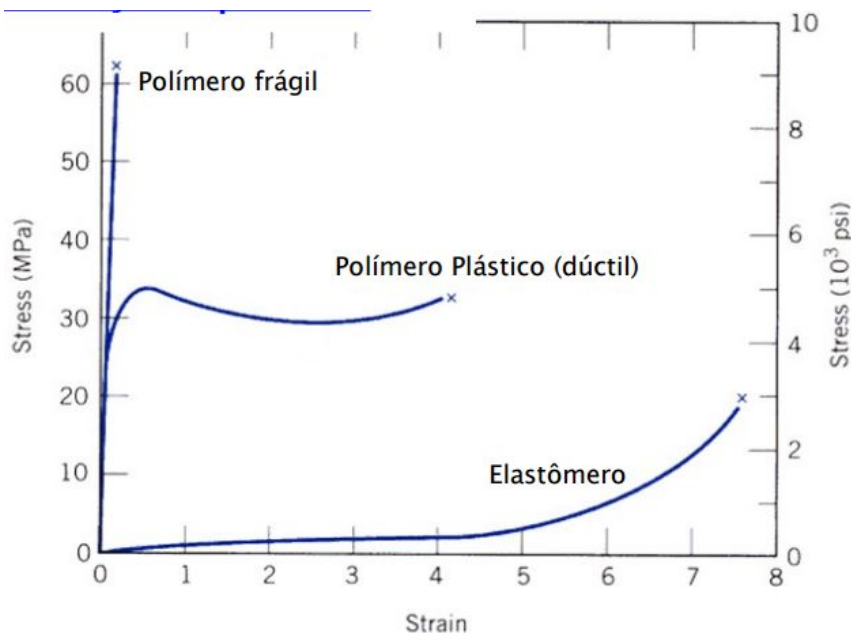
São os mecanismos de aumento de resistência em metais. São eles:

18. Aumento da resistência por redução do tamanho de grão

19. Aumento da resistência por solução sólida

20. Aumento da resistência por trabalho a frio (encruamento)

21. Para materiais poliméricos, quais as possibilidades de curvas tensão – deformação? Como é o mecanismo de deformação de polímeros? Quais os fatores que alteram as propriedades mecânicas dos polímeros?



Um mesmo polímero pode ser frágil ou dúctil, dependendo da temperatura ou da velocidade do teste. No geral, quanto maior a cristalinidade maior o módulo elástico, maior a resistência ao escoamento e maior a dureza. Direção Paralela – os polímeros apresentam alto módulo e elevada resistência à tração – ligações primárias. Direção perpendicular – baixa resistência – ligações secundárias. Para polímeros dúcteis, o alongamento na ruptura é maior para polímeros orientados perpendicularmente que paralelamente. Isto porque, no estiramento de polímeros previamente orientados na direção perpendicular, as moléculas primeiro se desorientam e então se reorientam na direção da força aplicada. No caso de polímeros frágeis, estes quebram antes do processo de reorientação.

22. O que indica a capacidade calorífica e o calor específico? Como podem ser calculados? Quais são os parâmetros que influenciam essas propriedades?

Capacidade Calorífica: Representa a quantidade de energia (J) necessária para produzir um aumento unitário ($1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1\text{ K}$) na temperatura de um material.

Equação de Fourier:

$C = dQ/dT = d(\text{energia})/d(\text{temperatura}) = [\text{J/mol} \cdot \text{K}]$ onde: - C é a capacidade calorífica; - dQ é a variação de energia; - dT é a variação de temperatura. A capacidade calorífica de sólidos cristalinos está relacionada com a energia vibracional: é razoável afirmar que C depende de T.

O **calor específico** é a capacidade térmica por unidade de massa da substância, e o **calor específico molar**, resultante da relação entre a capacidade térmica e o número de mols presentes. Ocasionalmente, pode ser usado o calor específico volumétrico (por unidade de volume).

$$c = Q / \Delta T \cdot m$$

23. Quais são os coeficientes envolvidos com a expansão térmica? Explique.

α_l = coeficiente linear de expansão térmica (K^{-1})

α_v = coeficiente volumétrico de expansão térmica

$$\Delta l(V)/l_0(V) = \alpha_{l(v)} \Delta T$$

24. O que é a condutividade térmica? Quais são as formas de transferência de calor?

Capacidade de um material de conduzir (transferir) calor. Condução (Transferência por colisões/choques entre componentes (átomos, moléculas, íons, elétrons, etc) com posterior transferência de energia cinética.), Convecção (Transferência devido a um movimento macroscópico, carregando partes da substância de uma região quente para uma região fria.) e Radiação (Transferência por meio de ondas eletromagnéticas (não é necessário um meio material para propagação) que podem ser absorvidas.).

25. Quais são os componentes da condutividade térmica e qual o nível de importância em metais, cerâmicas e polímeros?

Átomos, moléculas, íons, elétrons, etc

Metais: Mecanismo predominante condutividade térmica é por e^- livres: e^- têm maior velocidade e não são facilmente espalhados por defeitos como os fônons ($k_f \gg k_e$).

Cerâmicas: - Não possuem elétrons livres. - Fônons são os responsáveis pela condutividade térmica ($k_f \gg k_e$). - Eficiência reduzida quando comparado com os elétrons livres: espalhamento + efetivo (fônons)

Polímeros: - Condução é realizada pela vibração e rotação das moléculas da cadeia polimérica. - Ligações covalentes: NÃO há elétrons livres.

26. O que indicam a resistividade e a condutividade de um material? Como podem ser calculadas?

A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (σ) de um material é uma medida da facilidade com que ele é capaz de conduzir uma corrente elétrica. Define-se a condutividade elétrica como sendo o inverso da resistividade.

Resistividade: $\rho = RA/l$, onde R é a resistência do material, A é a área da seção transversal e l é o comprimento.

Condutividade: $\sigma = 1/\rho$

27. Como se classificam os materiais em relação à condutividade? O que ocorre com as bandas de energia desses materiais?

Condutor: Bandas de energia de METAIS tais como o cobre ($Z = 29$, $3d^{10} 4s^1$) nos quais se encontram disponíveis, na mesma banda de energia, estados eletrônicos não preenchidos acima e adjacentes a estados eletrônicos preenchidos.
(b) Bandas de energia de METAIS tais como o magnésio ($Z = 12$, $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$) nos quais ocorre a superposição das bandas de energia mais externas, a preenchida e a não preenchida.

Semicondutor: a estrutura de bandas de energia é semelhante à dos isolantes, mas com gaps de energia de larguras menores.

Isolante: a BANDA DE VALÊNCIA (banda de energia preenchida) é separada da BANDA DE CONDUÇÃO (banda de energia não preenchida) por um GAP DE ENERGIA (banda de energia proibida, ou seja, barreira de energia) de largura relativamente grande (>2 eV).

28. Como pode ser calculada a condutividade elétrica de metais? O que é a mobilidade eletrônica? Como ela pode ser influenciada? Quais os fatores que compõem a resistividade elétrica de um metal?

$\sigma = n |e| \mu$ n = número de portadores de carga (elétrons) por unidade de volume $|e|$ = magnitude da carga dos portadores ($1,602 \times 10^{-19}$ C) μ = mobilidade dos portadores de carga.

Eletrônica: Convenção: elétrons livres se movem na direção oposta ao campo elétrico, Seria esperado um aumento de corrente crescente, Entretanto a corrente fica constante, FORÇAS DE ATRITO. Espalhamento é devido a impurezas, imperfeições, discordâncias, vacâncias, vibração térmica da rede cristalina etc.

São a temperatura, as impurezas e a deformação.

29. Qual a classificação dos semicondutores e como podem ser calculadas as condutividades? E para os materiais cerâmicos iônicos?

Semicondutores Intrínsecos: comportamento elétrico depende basicamente da estrutura eletrônica do material puro. Sua condutividade elétrica geralmente é pequena e varia muito com a temperatura.

$\sigma = n |e| (\mu_e + \mu_b)$ onde: n = número de elétrons livres por unidade de volume; p = número de buracos eletrônicos por unidade de volume; $|e|$ = magnitude da carga dos portadores ($1,6 \times 10^{-19}$ C); μ_e = mobilidade dos elétrons livres; μ_b = mobilidade dos buracos eletrônicos.

Semicondutores Extrínsecos: são aqueles cujo comportamento elétrico depende fortemente do tipo e da concentração dos átomos de impurezas. A adição de impurezas para a moldagem do comportamento elétrico dos semicondutores é chamada de DOPAGEM. Depende da colocação intencional de uma impureza (dopante) que promove o acréscimo ou de um buraco (p) ou de um elétron livre (n). Têm condutividade que varia pouco com a temperatura e cujo valor é controlado pela concentração de impurezas.

$$\sigma = n |e| \mu_e + p |e| \mu_b$$

30. O que é um campo magnético e o que representam as linhas de força?

São produzidos por cargas elétricas em movimento. Assim, uma corrente elétrica em um condutor gera um campo magnético. Campos magnéticos também podem ser produzidos por magnetos permanentes (ímãs). Neste caso, é o movimento dos elétrons (spin e orbital) dos átomos que compõem o magneto o responsável pelo campo magnético.

LINHAS DE FORÇA são utilizadas para representar o campo magnético. Para cada ponto do espaço, a reta tangente à linha de força fornece a direção do campo naquele ponto. A intensidade do campo se correlaciona com o número de linhas de força que atravessam uma área unitária na direção perpendicular à definida pelas linhas de força.

31. Como pode ser calculada a intensidade de um campo magnético? Como a indução magnética está relacionada com essa grandeza? O que indica a magnetização de um material?

Quando uma corrente elétrica constante I flui em uma bobina formada por N espiras proximamente espaçadas ao longo de um comprimento L , um campo magnético H , aproximadamente constante, é gerado na região central da bobina. A intensidade de H é:

$$H = N I / L$$

A intensidade do campo magnético H criado por um fio retilíneo longo e que conduz uma corrente elétrica I vale $H = I / 2 \pi r$, onde r é a distância radial em relação ao eixo definido pelo fio.

A indução magnética representa a magnitude da força do campo interno no interior de uma substância que está sujeito a um campo H .

32. Como são classificados os materiais magnéticos? Apresente as características de cada um deles.

Materiais diamagnéticos (Ex. Zn, Cd, Cu, Ag, Sn) – pequenos valores negativos de χ (ou seja, o campo de magnetização opõe-se ao campo aplicado e desaparece quando se retira o campo aplicado);

Materiais paramagnéticos (ex. Al, Ca, Pt, Ti) – pequenos valores positivos de χ (o campo de magnetização desaparece quando se retira o campo aplicado);

Materiais ferromagnéticos (o Fe, o Ni e o Co) - χ é grande (>1). O campo de magnetização mantém-se quando se remove o campo aplicado;

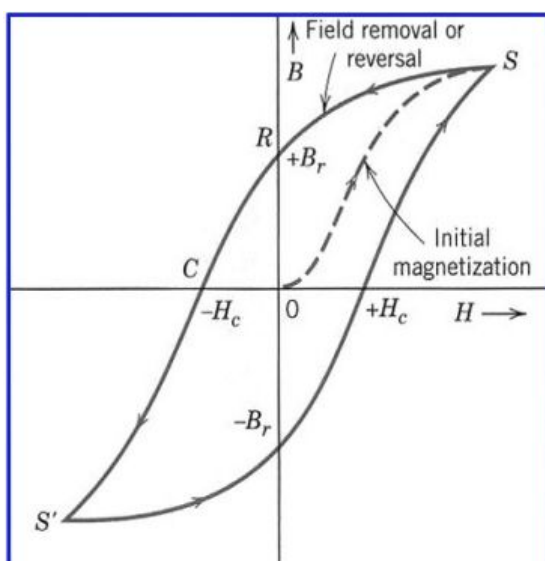
Materiais antiferromagnéticos (Mn, Cr) - $\chi=0$. Os dipolos magnéticos alinham-se de maneira antiparalela;

Materiais ferrimagnéticos (ferritas, magnetitas, em geral óxidos metálicos) – os íons têm dipolos magnéticos de intensidade diferente, logo existe sempre um momento resultante.

33. O que são domínios magnéticos? Como ocorre a histerese? Como os materiais podem ser classificados em relação à histerese?

Os materiais ferromagnéticos são constituídos de regiões volumétricas microscópicas onde os momentos de dipolo magnético se encontram alinhados, tendo mesma direção e sentido. Tais regiões são chamadas de DOMÍNIOS. Cada domínio está magnetizado até a sua magnetização de saturação.

Se a partir da saturação inicial (ponto S) o campo H passa a ser reduzido, a curva de magnetização não retorna seguindo seu trajeto original. Produz-se um efeito de HISTERESE, onde B se defasa em relação a H, ou diminui a uma taxa mais baixa. O efeito de histerese é gerado pela resistência à movimentação de paredes de domínio.



Material magnético mole: fácil de ser magnetizado ou desmagnetizado uma alta magnetização de saturação é produzida por um valor de campo aplicado

pequeno a área do ciclo de histerese e a perda de energia são pequenas material opera na presença de campo magnético: geradores, motores elétrico e transformadores;

Material magnético duro: o material permanece magnético ou é um magneto permanente apresentam um ciclo de histerese grande e possuem resistência à desmagnetização materiais utilizados em refrigeradores e fones de ouvido.

34. Quais são as principais propriedades ópticas? Quais são as possibilidades de classificação da radiação eletromagnética?

Radiação eletromagnética, interações da luz com os sólidos, interações atômicas e eletrônicas, refração, reflexão, absorção, transmissão, cor, opacidade e translucidez.

A luz, o calor (ou energia radiante), o radar, as ondas de rádio e os raios X são todas formas de radiação eletromagnética. Cada uma é caracterizada, principalmente, por uma faixa específica de comprimentos de onda e também de acordo com a técnica pela qual ela é gerada.

35. Quais são as interações da luz com os sólidos? Como elas se relacionam? Como podem ser classificados os materiais?

Quando a luz passa de um meio para outro (ex: do ar para uma substância sólida), várias coisas acontecem. Uma parte da radiação luminosa pode ser transmitida através do meio, uma parte será absorvida e uma outra parte será refletida na interface dos dois meios. A intensidade do feixe incidente sobre a superfície do meio sólido deve ser igual à soma das intensidades dos feixes transmitido, absorvido e refletido.

Os materiais podem ser classificados como:

- transparentes: materiais capazes de transmitir a luz com absorção e reflexão relativamente pequenas.
- translúcidos: são aqueles através dos quais a luz é transmitida de uma maneira difusa, ou seja, a luz é espalhada no seu interior.
- opacos: são impenetráveis à transmissão da luz visível.

36. O que indicam os índices de refração e a refletância? Como são calculados?

O índice de refração n de um material é definido como a razão entre a velocidade da luz no vácuo c e a velocidade da luz no meio v .

$$n = c/v$$

Quando a radiação luminosa passa de um meio para outro que possui um índice de refração diferente, uma parte da luz é espalhada na interface entre os dois meios mesmo se ambos forem transparentes.

$R = I_R/I_0$, I_R = intensidade do feixe refletido, I_0 = intensidade do feixe incidente.

37. Defina deformação elástica e deformação plástica.

A deformação elástica ocorre quando o processo de deformação em que a tensão e a deformação são proporcionais, seu gráfico (deformação x tensão) é linear, e a inclinação corresponde ao módulo da elasticidade E (podendo ser considerado como a rigidez).

Já a deformação plástica é a deformação permanente, não recuperável. Conforme o material é deformado, a tensão não é mais proporcional à deformação, ou seja, a lei de Hooke, deixa de ser válida.

38. Defina tensão nominal ou de engenharia. Quais suas unidades no sistema internacional (SI)?

$\sigma = \frac{F}{A_o}$, na qual F (N) é a carga instantânea aplicada em uma direção perpendicular à seção transversal do corpo de provas, A_o (m²) é a área da seção transversal original antes da aplicação de qualquer carga. As unidades para a tensão de engenharia são MPa que significa 10⁶ N/m².

39. Calcule a tensão nominal, em unidades do SI, numa barra com 2,40 cm de diâmetro submetida à carga de 1450 kg. R: 31,4 MPa

40. Qual a relação entre deformação nominal ou de engenharia e alongamento percentual?

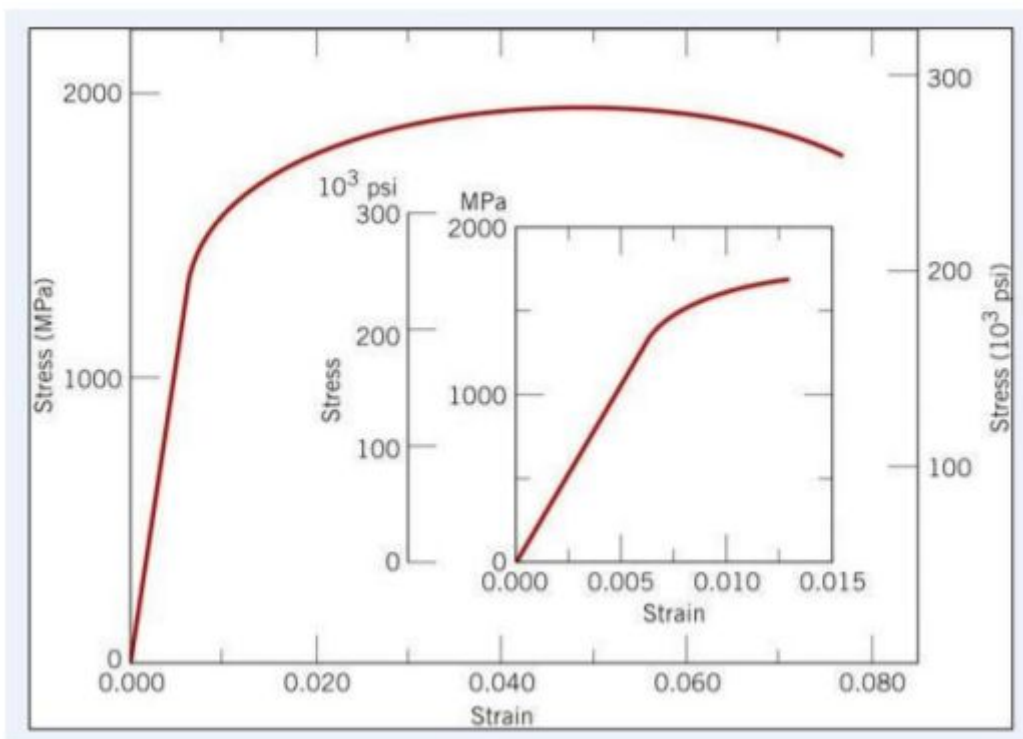
A deformação de engenharia é representado por $\epsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o}$, em que l_o é o comprimento original antes de qualquer carga ser aplicada e l_i é o comprimento instantâneo.

Já o alongamento percentual (porcentagem de deformação plástica na fratura) é $\%AL = \frac{(l_f - l_o)}{l_o} \cdot 100\%$ de forma que, l_f é o comprimento no momento da fratura e l_o o comprimento útil original.

41. Uma barra de alumínio com 1,28 cm de diâmetro é tracionada até a fratura. Se o diâmetro final na superfície de fratura for de 1,10 cm, qual a porcentagem de redução de área sofrida pelo corpo-de-prova durante o ensaio? R: 26,18%

42. Uma liga de cobre possui um módulo de elasticidade de 110GPa, um limite de escoamento de 330MPa e um limite de resistência de 350MPa. Responda: (a) que tensão seria necessária a fim de esticar de 1,5mm uma barra de 3m desta liga? (b) Que tamanho de barra de seção circular seria necessário para suportar uma força de 22000N sem escoamento? Resposta: (a) 55 MPa; (b) 9,2mm.

43. Para um latão, a tensão na qual a deformação plástica tem seu início é de 345 MPa e o módulo de elasticidade é de 103 GPa. Responda: (a) Qual é a carga máxima que pode ser aplicada a um corpo-de-prova com uma área da seção reta de 130 mm² sem que ocorra deformação plástica? R: $F = 44850 \text{ N}$ (b) Se o comprimento original do corpo-de-prova é de 76 mm, qual é o comprimento máximo para o qual ele poderá ser esticado sem a ocorrência de deformação plástica? R: $l = 76,25 \text{ mm}$
44. Uma barra cilíndrica de aço com 10 mm de diâmetro deve ser deformada elasticamente pela aplicação de uma força ao longo do seu eixo. Determine a força que irá produzir uma redução elástica de $3 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ no diâmetro. Dados: $E = 207 \text{ GPa}$; $\nu = 0,30$. R: 16250 N
45. Considere um corpo-de-prova cilíndrico de uma liga metálica hipotética que possui um diâmetro de 10,0 mm. Uma força de tração de 1500 N produz uma redução elástica no diâmetro de $6,7 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$. Calcule o módulo de elasticidade para essa liga, dado que o coeficiente de Poisson é de 0,35. R: $E = 100 \text{ GPa}$
46. A curva tensão – deformação de engenharia em tração para um aço é mostrada na figura abaixo. Determine: (a) O módulo de elasticidade; (b) Tensão limite de escoamento para uma pré-deformação de 0,002. (c) Limite de resistência à tração



47. Um corpo-de-prova cilíndrico de aço inoxidável com diâmetro de 12,8 mm e comprimento útil de 50,8 mm é tracionado. Use os dados de carga – alongamento mostrados na tabela da página abaixo para responder aos seguintes itens: (a) Construa o gráfico de tensão de engenharia em função da deformação de engenharia; (b) Calcule o módulo de elasticidade; **R: $E = 200 \text{ GPa}$** (c) Determine a tensão de escoamento para uma pré-deformação de 0,002; **R: 750 MPa** (d) Determine o limite de resistência à tração; **R: 1250 MPa** (e) Qual é a ductilidade máxima em termos de alongamento percentual? **R: $11,2\%$** (f) Calcule o módulo de resiliência. **R: $U_r = 1,40.106 \text{ J/m}^3$**

Carga		Comprimento
<i>N</i>	<i>lb_f</i>	<i>mm</i>
0	0	50,800
12.700	2.850	50,825
25.400	5.710	50,851
38.100	8.560	50,876
50.800	11.400	50,902
76.200	17.100	50,952
89.100	20.000	51,003
92.700	20.800	51,054
102.500	23.000	51,181
107.800	24.200	51,308
119.400	26.800	51,562
128.300	28.800	51,816
149.700	33.650	52,832
159.000	35.750	53,848
160.400	36.000	54,356
159.500	35.850	54,864
151.500	34.050	55,880
124.700	28.000	56,642
Fratura		

48. Um ensaio de flexão em 3 pontos foi realizado com um corpo-de-prova de óxido de alumínio com seção reta circular de 5,0 mm de raio. O corpo-de-prova fraturou sob uma carga de 3000 N quando a distância entre os pontos do suporte era de 40 mm. Um outro ensaio deve ser realizado com um outro corpo-de-prova feito a partir desse mesmo material. Porém, esse novo corpo-de-prova possui uma seção reta quadrada com 15 mm em cada aresta. Sob qual carga seria esperada a fratura desse corpo-de-prova

se a separação entre os pontos do suporte fosse mantida em 40 mm? R:
17200 N

49. Defina a dureza de um material.

A dureza é uma medida da resistência de um material a uma deformação plástica localizada. Os ensaios de dureza são realizados com maior frequência que qualquer outro ensaio mecânico: 1. são simples e baratos (não é necessário nenhum corpo de prova especial para ser preparado), 2. não é destrutivo (o corpo de prova não é fraturado nem muito deformado, só é deformado uma pequena impressão), 3. pode-se estimar outras propriedades mecânicas a partir da dureza, como o limite de resistência à tração, por exemplo.

Ensaio de dureza Rockwell: baseada na diferença de profundidade da impressão imposta por uma carga menor e uma carga principal.

Ensaio de dureza Brinell: determinada a partir do tamanho da impressão.

50. Descreva o ensaio de impacto que utiliza um corpo-de-prova Charpy com entalhe em V.

O teste Charpy é um dos métodos para determinar a resistência e sensibilidade dos materiais quando submetido a uma certa carga de impacto. O objetivo principal é medir a quantidade de energia absorvida pelo material durante a fratura. No ensaio Charpy o corpo de prova é bi-apoiado como uma viga simples, com um entalhe central. O corpo de prova é posicionado de forma que o entalhe fique na face oposta à face de impacto. O posicionamento do entalhe é tal que o impacto ocorre na região de maior tensão - a seção transversal média do corpo de prova. Os entalhes mais profundos ou agudos, do tipo Charpy A, são indicados para teste de materiais mais dúcteis ou quando as velocidades no teste são menores. As duas condições favorecem a ruptura frágil. Para ferros fundidos e metais fundidos sob pressão, o corpo de prova não necessita de entalhe.

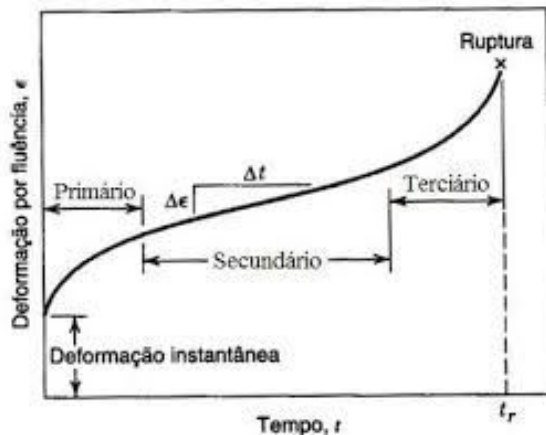
51. Defina fadiga.

É uma forma de falha que ocorre em estruturas que estão sujeitas a tensões dinâmicas e oscilantes. Esse tipo de falha ocorre normalmente após um longo período de tensões repetidas ou ciclos de deformação. A fadiga é a maior causa individual de falhas nos metais e ocorre muito repentinamente e sem qualquer aviso prévio.

52. O que é fluência?

É definida como a deformação permanente e dependente do tempo dos materiais quando eles são submetidos a uma carga ou tensão constante, a fluência é geralmente um fenômeno indesejável e, com frequência, é o fator limitante na vida útil de uma peça.

53. Desenhe a curva típica de fluência de um material metálico submetido a uma carga constante e a uma temperatura relativamente elevada, indicando nela as três fases da fluência.



54. Estime a quantidade de calor (em J) exigida para elevar 2 kg de (a) ferro; (b) grafite e (c) polipropileno da temperatura de 25 °C até 100 °C. Dados: Calores específicos: $c_{Fe} = 444 \text{ J/kg.K}$, $c_{grafite} = 711 \text{ J/kg.K}$; $c_{PP} = 1880 \text{ J/kg.K}$. **Resposta:** (a) 66,6 kJ; (b) 107 kJ; (c) 282 kJ.

55. Uma casa projetada para aquecimento solar passivo tem uma quantidade substancial de tijolo em seu interior para servir como absorvedor de calor. Cada tijolo pesa 2 kg e tem um calor específico de 850 J/kg.K. Quantos tijolos são necessários para absorver 5,0.10⁴ kJ de calor para um aumento de temperatura de 10 °C? **Resposta:** 2940

56. Defina capacidade calorífica.

A capacidade calorífica é uma propriedade indicativa da habilidade de um material em absorver calor de sua vizinhança; ela representa a quantidade de energia necessária para produzir um aumento unitário de temperatura. Sendo expressa pela fórmula: $c = \frac{dQ}{dT}$ em que dQ é a energia necessária para produzir uma variação dT na temperatura.

57. Para o cobre, a capacidade calorífica a volume constante, C_v , a 20 K é de 0,38 J/mol.K e a temperatura de Debye é de 340 K. Estime o calor específico a: (a) 40 K; (b) 400 K. **Resposta:** $c_v = 47,8 \text{ J/kg.K}$; (b) $c_v = 392 \text{ J/kg.K}$

58. Uma barra de níquel com 0,01 m de extensão é colocada em um forno de laboratório e aquecida da temperatura ambiente (25 °C) para 500 °C. Qual

será o comprimento da barra a 500 °C? Dado: $\alpha_{Ni} = 14,75 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times 10^{-6}$.
Resposta: 10,07 mm.

59. Explique sucintamente a expansão térmica usando a curva da energia potencial em função do espaçamento interatômico.

A maioria dos sólidos se expande quando é aquecida e se contrai quando resfriada. A expansão térmica no comprimento pode ser expressa por $\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha_l \Delta T$ em que α_l representa o coeficiente linear. Já a expansão térmica no volume é expressa por $\frac{\Delta V}{V_0} = \alpha_v \Delta T$ em que α_v é o coeficiente volumétrico.

Importante informar que o valor de α_v é anisotrópico, ou seja, depende da direção cristalográfica. Para os materiais isotrópicos, $\alpha_v = 3\alpha_l$.

Relação com a curva de energia potencial em função do espaçamento interatômico:

A expansão térmica reflete um aumento na distância média entre os átomos, e o aquecimento até temperaturas sucessivamente mais elevadas aumenta a energia vibracional. A amplitude média da vibração de um átomo corresponde à largura do poço em cada temperatura, e a distância interatômica média é representada pela posição intermediária, que aumenta em função da temperatura. Para cada classe de material (metais, cerâmicas, polímeros) quanto maior a energia da ligação atômica, mais profundo e estreito será o poço de energia potencial, com isso, o aumento na separação interatômica em função de uma elevação na temperatura, será menor, produzindo menor valor de α_l .

60. Calcule a taxa de perda de calor por metro quadrado através da parede refratária de argila de um forno operado a 1000 °C. A face externa da parede do forno está a 100 °C e a parede tem 10 cm de espessura. Dado: $k = 1,3 \text{ J/(m.s.K)}$ **Resposta: -11,7 kW.**

61. Explique o mecanismo de condutividade térmica das diferentes classes de materiais.

A condutividade térmica é a habilidade de uma material transferir calor para outro, sendo $q = -k \frac{dT}{dx}$ (válida apenas para quando o fluxo não depender do tempo) em que q indica o fluxo de calor (transporte de valor), k é a condutividade térmica e $\frac{dT}{dx}$ é o gradiente de temperatura através do meio de condução.

Nos materiais sólidos, o calor é transportado por elétrons livres e por ondas vibracionais da rede, ou fônons. As condutividades térmicas elevadas dos metais relativamente puros se devem ao grande número de elétrons livres e à

eficiência pela qual esses elétrons transportam a energia térmica. De maneira contrária, as cerâmicas e os polímeros são maus condutores térmicos, pois as concentrações de elétrons livres são baixas e há predominância da condução por fônons.

62. Que fatores afetam a condutividade térmica dos materiais?

Alguns fatores podem afetar a condutividade térmica dos materiais, um deles é a quantidade de impurezas presentes no material, por exemplo nos metais, as impurezas podem causar espalhamento dos elétrons que conduzem o calor da parte quente para a parte fria. Outro fator importante é a estrutura do material, estruturas cristalinas em geral conduzem melhor o calor que estruturas amorfas.

63. O que são tensões térmicas?

As tensões térmicas, que são introduzidas em um corpo como consequência de variações da temperatura, podem levar à fratura ou a uma deformação plástica indesejável. Uma fonte de tensões térmicas é a restrição à expansão (ou contração) térmica de um corpo. O choque térmico é a fratura de um corpo como resultado de tensões térmicas induzidas por rápidas variações da temperatura, uma vez que os materiais cerâmicos são frágeis, eles são especialmente suscetíveis a esse tipo de falha. A magnitude da tensão é representada por $\sigma = E \alpha \Delta T$ em que E é o módulo da elasticidade.

64. Descreva o modelo clássico da condução elétrica em metais (elétrons livres).

Uma das características mais importantes de um material sólido é a facilidade com que ele transmite uma corrente elétrica. Para especificar a natureza elétrica dos materiais, é analisado sua condutividade elétrica (σ). Os metais são, por natureza própria, bons condutores elétricos. Apresentando tipicamente condutividades de ordem de $10^7 \text{ (}\Omega \text{ m)}^{-1}$. Isso se deve ao fato das ligações elétricas neles terem um alto número de elétrons livres, que facilita o fluxo elétrico no material.

65. Qual é a relação entre condutividade elétrica e resistividade elétrica?

A resistividade elétrica está relacionada à resistência do material ao impedir que ocorra um fluxo de elétrons livres, ou seja, quanto maior sua resistividade elétrica, menor será sua condutividade elétrica, de modo que essas duas grandezas sejam inversamente proporcionais.

66. Calcule a resistência de uma barra de prata com 6,15 mm de diâmetro e 1,10 m de comprimento. Dado: condutividade da prata = $6,3 \cdot 10^7 \text{ }^{-1}$.

Resposta: $5,88 \cdot 10^{-4}$

67. Um fio de 0,35 cm de diâmetro deve ser capaz de transportar corrente de 35 A. Se a potência máxima dissipada no fio for de 0,035 W/cm, qual é a condutividade elétrica mínima que o fio deve ter? Resposta: $3,64 \cdot 10^7$

68. Por que a resistividade elétrica de um metal aumenta quando a temperatura aumenta?

Com o aumento da temperatura do metal, aumentam-se as vibrações térmicas nos átomos. Isso gera uma instabilidade microscópica na estrutura e resulta em um maior espalhamento dos elétrons livres, com isso, o fluxo de elétrons que passa pelo metal é mais dissipado, diminui sua condutividade elétrica e, por consequência, sua resistividade elétrica aumenta.

69. Em termos das estruturas de bandas de energia eletrônica, discuta razões para a diferença entre as condutividades elétricas dos metais, dos semicondutores e dos isolantes.

Os metais são geralmente bons condutores pois possuem a sua banda condutora parcialmente ocupada. Os isolantes possuem uma banda proibida muito larga o que necessitaria de muita energia para ser vencida. Os semicondutores, possuem esta banda mais estreita, possibilitando que com um pouco de energia térmica, por exemplo, esta barreira seja vencida e o material se torne condutor.

70. Calcule a resistividade elétrica do germânio a 300K. Dados $n=0,39 \text{ m}^2/\text{V.s}$, $b=0,19 \text{ m}^2/\text{V.s}$, $n_i = 2,4 \cdot 10^{19} \text{ transportadores}/\text{m}^3$. Resposta = 0,045

71. Defina semicondutores extrínsecos do tipo-n e do tipo-p.

- tipo-n: o número de elétrons na banda de condução excede em muito o número de buracos na banda de valência ($n \gg p$). Partículas carregadas negativamente são responsáveis pela condução elétrica e os elétrons são os portadores majoritários em virtude de sua densidade ou concentração; os buracos, por outro lado, são os portadores de carga minoritários.
- tipo-p: os buracos estão presentes em concentrações muito maiores do que os elétrons ($p \gg n$). Partículas carregadas positivamente são as principais responsáveis pela condução elétrica. Os buracos são os portadores majoritários e os elétrons estão presentes em concentrações minoritárias.

72. Quais são os transportadores majoritários de carga nos semicondutores do tipo-n e do tipo-p?

tipo-n: elétrons; tipo-p: buracos.

73..Um disco de silício é dopado com $5,0 \times 10^{21}$ átomos de fósforo/m³. Calcule (a) as concentrações de elétrons e buracos após dopagem e (b) a resistividade elétrica resultante a 300 K. Dados: $n_i = 1,5 \cdot 10^{16}$ transportadores/m³ , $n = 0,135$ m²/V.s , $b = 0,048$ m²/V.s. **Resposta (a) $5,0 \cdot 10^{21}$ elétrons/m³ e $4,5 \cdot 10^{10}$ buracos/m³ . Resposta (b) $9,26 \cdot 10^{-3}$**

74. O germânio, ao qual foram adicionados 10^{24} m⁻³ átomos de As, é um semiconductor extrínseco à temperatura ambiente e virtualmente todos os átomos de As podem ser considerados como estando ionizados (i.e, existe um portador de carga para cada átomo de As). (a) Esse material é do tipo-n ou do tipo-p? (b) Calcule a condutividade elétrica desse material, assumindo que as mobilidades dos elétrons e dos buracos sejam de 0,1 e de 0,05 m²/V.s, respectivamente. **Resposta: (b) $1,6 \cdot 10^4$**

75.O que é o efeito Hall?

Ele é resultado do fenômeno pelo qual um campo magnético aplicado perpendicularmente à direção do movimento de uma partícula carregada exerce sobre a partícula uma força perpendicular às direções tanto do campo magnético quanto do movimento da partícula.

76.Um capacitor de placas paralelas que utiliza um material dielétrico com r de 2,2 possui um espaçamento entre placas de 2mm. Se um outro material que tem uma constante dielétrica de 3,7 for usado e a capacitância tiver que permanecer inalterada, qual deverá ser o novo espaçamento entre placas? **Resposta: 3,36 mm**

77.Defina ferroeletricidade e piezoeletricidade.

Os materiais ferroelétricos são aqueles que podem exibir polarização espontaneamente, ou seja, na ausência de qualquer campo elétrico externo. A piezoeletricidade é o fenômeno pelo qual a polarização é induzida em um material pela imposição de forças externas.

78.Calcule a indução e a magnetização de um material diamagnético (com $r = 0,99995$) sob uma intensidade de campo aplicada de $2,0 \cdot 10^5$ A/m. **Resposta: $B = 0,251$ Wb/m² , $M = 10$ A/m**

79.Quais são os elementos fortemente ferromagnéticos a temperatura ambiente?

Metais de transição ferro, cobalto, níquel e algumas terras-raras.

80.Defina indução magnética (densidade de fluxo magnético) e magnetização.

- indução magnética: é a medida da concentração do fluxo magnético em um devido material
- magnetização: é um processo a partir do qual os momentos dipolares magnéticos de um material se alinham ou tendem a fazê-lo.

81. Qual a relação entre B e H?

B representa a magnitude da força do campo interno no interior de uma substância que está sujeita a um campo H. Tanto B quanto H são vetores de campo, sendo caracterizados não somente por sua magnitude, mas também por sua direção no espaço.

82. Defina susceptibilidade magnética.

É uma medida quantitativa da tendência de um material interagir e distorcer um campo magnético aplicado.

83. Defina diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo. Como se comparam os valores de susceptibilidade magnética para os materiais que apresentam cada um destes tipos de magnetismo?

- **diamagnetismo**: é uma forma muito fraca de magnetismo que não é permanente e que persiste apenas enquanto um campo externo está sendo aplicado. Ele é induzido por uma mudança no movimento orbital dos elétrons causada pela aplicação de um campo magnético.
- **paramagnetismo**: em alguns materiais sólidos, cada átomo possui um momento de dipolo permanente em virtude do cancelamento incompleto dos momentos magnéticos de spin/orbital do elétron. Na ausência de um campo magnético externo, as orientações desses momentos magnéticos atômicos são aleatórias. Esses dipolos atômicos estão livres para girar; o paramagnetismo resulta quando eles se alinham preferencialmente, por rotação, com um campo externo.
- **ferromagnetismo**: acontece quando certos materiais metálicos possuem um momento magnético permanente na ausência de um campo externo e manifestam magnetizações muito grandes e permanentes.

O diamagnetismo é encontrado em todos os materiais; entretanto, por ser tão fraco, ele só pode ser observado quando outros tipos de magnetismo estão totalmente ausentes. Sua suscetibilidade é pequena e negativa. Já a suscetibilidade para os materiais paramagnéticos é relativamente pequena, porém é positiva.

84. Como são originados os momentos magnéticos num material?

Os momentos magnéticos permanentes no material são devidos ao spin dos elétrons (que não são cancelados como consequência da estrutura eletrônica), contribuição pequena do momento magnético orbital, além disso, em um material ferromagnético o acoplamento de interações faz com que os momentos magnéticos de spin resultantes de átomos adjacentes se alinhem uns com os outros, mesmo na ausência de campo externo. Esse alinhamento mútuo de spins existe ao longo de regiões do volume do cristal relativamente grandes, chamadas de domínios.

85. Defina ferrimagnetismo.

Alguns cerâmicos exigem uma magnetização permanente, denominada ferrimagnetismo, uma vez que o cancelamento dos momentos de spin é incompleto. Os princípios do ferrimagnetismo são mostrados pelas ferritas cúbicas, em que sua magnetização é resultante dos íons divalentes, em que os momentos de spin estão mutuamente alinhados.

86. O que são materiais magnéticos moles e duros?

Material magnético mole: fácil de ser magnetizado ou desmagnetizado, uma alta magnetização de saturação é produzida por um valor de campo aplicado pequeno, a área do ciclo de histerese e a perda de energia são pequenas, o material opera na presença de campo magnético: geradores, motores elétrico e transformadores;

Material magnético duro: o material permanece magnético ou é um magneto permanente, apresentam um ciclo de histerese grande e possuem resistência à desmagnetização, materiais utilizados em refrigeradores e fones de ouvido.