

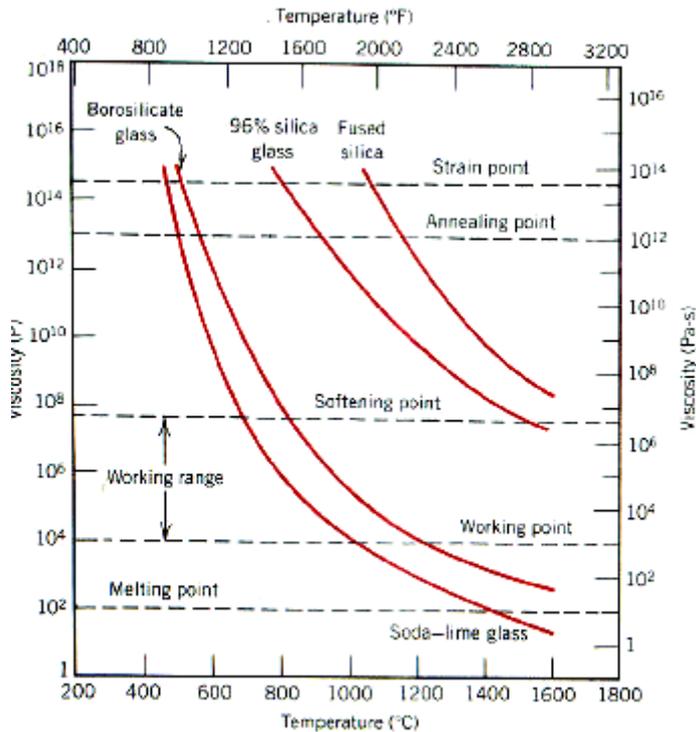
## LISTA DE EXERCÍCIO SOBRE MATERIAIS CERÂMICOS

1. Num vidro, a deformação pode ocorrer por meio de um escoamento isotrópico viscoso se a temperatura for suficientemente elevada. Grupos de átomos, como por exemplo cadeias de silicato, podem se mover uns em relação aos outros pelo efeito da tensão aplicada, permitindo a deformação. A resistência à uma tensão aplicada é devida à atração entre esses mesmos grupos de átomos. Essa resistência é relacionada à viscosidade  $\eta$  do vidro, que depende da temperatura segundo a equação:

$$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{E_\eta}{RT}\right)$$

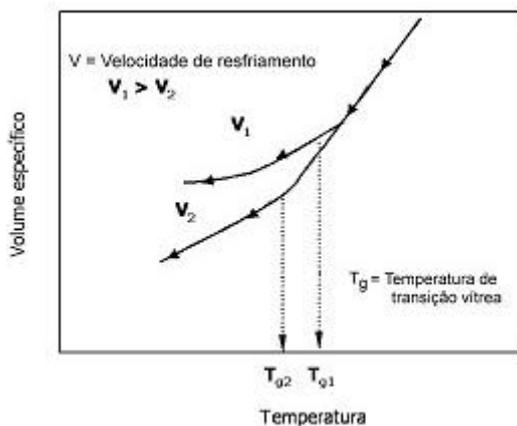
, Onde  $\eta$  é a viscosidade do vidro na temperatura T,  $\eta_0$  é uma constante, R é igual a 8,314 J/mol.K e  $E_\eta$  é a energia de ativação do fluxo viscoso (relacionada com a facilidade com a qual os grupos de átomos se movem uns em relação aos outros).

Com base na figura abaixo, sabendo-se que o valor de  $\eta_0$  para a sílica fundida é  $8,926 \times 10^9$  Pa.s, calcule o valor da energia de ativação  $E_\eta$  para esse material. Sugestão: tome o valor da viscosidade e da temperatura no “*annealing point*”, pois nesse ponto a viscosidade é bem definida.



02. Considerando a figura acima, explique a principal dificuldade de conformação da sílica fundida em relação ao vidro de borosilicato.

03. Como pode ser produzido o vidro temperado? Justifique a sua resposta com base na figura abaixo.



4. Por que os materiais cerâmicos cristalinos geralmente não podem ser fabricados como os materiais poliméricos e os materiais metálicos? Quais são os processos de fabricação utilizados na fabricação de materiais cerâmicos cristalinos?

5. Quais as principais diferenças existentes entre um produto cerâmico constituído essencialmente de fases cristalinas (por exemplo, um tijolo, uma vela de automóvel,

uma pia ou uma telha) e um produto cerâmico não cristalino (por exemplo, uma garrafa de cerveja, um vidro plano em uma janela)?

6. O que é uma ligação iônica?

7. O que é uma ligação covalente?

8. O que é uma ligação metálica?

9. Quais são as forças de Van de Waals?

10. Qual a influência da ligação química nas propriedades mecânicas e físicas dos materiais? Dê exemplos.

11. Quais são os principais tipos de arranjos dos átomos encontrados nos materiais cerâmicos?

12. Quais são as diferenças e semelhanças entre uma estrutura cristalina de um material metálico e de um material cerâmico?

13. Pesquise e descreva resumidamente sobre:

a) Compostos cerâmicos do tipo AX;

b) Compostos cerâmicos do tipo  $A_mX_n$ ;

c) Compostos cerâmicos do tipo  $AB_mX_n$ ;

d) Quais são os tipos de defeitos que podem ser encontrados nas estruturas dos materiais cerâmicos? Como esses defeitos podem influenciar nas suas propriedades físicas, mecânicas e tecnológicas?

14. Compare o módulo de elasticidade de um material cerâmico com o de um material metálico e comente com essa diferença influencia nas suas propriedades mecânicas.

15. Qual a influência dos poros no módulo de elasticidade de um material cerâmico?

16. O que se pode especular a respeito da resistência mecânica e ductilidade dos materiais cerâmicos?

17. O que se pode dizer a respeito da dureza e da tenacidade dos materiais cerâmicos?

18. Por que os materiais são usados como materiais abrasivos?

19. O que é deformação vítrea?

20. Relacione as propriedades dos materiais cerâmicos de interesse da engenharia?

21. Relacione as principais causas de dilatação dos materiais cerâmicos?

22. Por que quanto maior a temperatura de fusão menor é a dilatação do material cerâmico?

23. Relacione os principais motivos do interesse no conhecimento da capacidade calorífica dos materiais cerâmicos?
24. Relacione os principais motivos da origem das tensões térmicas de um material cerâmico?
25. Para que serve os refratários?
26. Pesquise sobre os principais tipos de materiais refratários e relacione a composição dos mesmos.
27. Quais os principais métodos de separação das materiais-primas utilizadas na fabricação de produtos cerâmicos? Descreva.
28. Quais são os principais processos de fabricação de peças cerâmicas?
29. Dentre os métodos de processamento, pesquise:
  - a) Que tipo de peças são feito pelo método de prensagem?
  - b) Que tipo de peças são feito pelo método de sopro?
  - c) Que tipo de peças são feito pelo método de estiramento?
30. O que é secagem?
31. Descreva o que acontece durante a secagem de um material cerâmico.
32. Descreva o que é sinterização.
33. Descreva o processo de recozimento.
34. Descreva o processo de têmpera.
35. Quais são as etapas do processamento dos materiais cerâmicos vermelhos? Descreva-os.

Questão 1:

$$\eta = \eta_0 \times e^{(E_n/RxT)} \rightarrow 10^{12} = (8,926 \times 10^{-9}) \times e^{(E_n/8,314 \times 1473)} \rightarrow$$
$$12 \times \ln 10 = \frac{E_n}{12246,522} + \ln (8,926 \times 10^{-9}) \rightarrow 27,631 = \frac{E_n}{12246,522} + 2,199 -$$
$$- 20,723 \rightarrow 46,155 = \frac{E_n}{12246,522} \rightarrow E_n \cong 565238,223 \text{ J/mol}$$

Questão 2:

Como o processo de conformação mecânica depende da temperatura e da viscosidade do material a essa temperatura, analisando o gráfico, observa-se que a curva da viscosidade em relação à temperatura do vidro de borosilicato é mais acentuada do que a da sílica fundida. Dessa maneira, o processo de conformação mecânica no vidro de borosilicato é mais complicado do que o da sílica fundida.

Questão 3:

O vidro temperado pode ser produzido aquecendo-o até uma temperatura acima da região de transição vítrea, contudo, abaixo do ponto de amolecimento, e então ele é resfriado até a temperatura ambiente através de um jato de ar ou, em alguns casos, em um banho de óleo.

Questão 4:

Porque eles possuem um elevado ponto de fusão e dificuldade de conformação passando pelo estado líquido. Sua plasticidade é obtida antes da queima por uma mistura do pó das matérias-primas com um líquido. É disposto na seguinte ordem: Preparação da matéria prima em pó; mistura do pó com um líquido (barbotina); conformação da mistura (há vários tipos de conformação); secagem das peças conformadas; queima das peças e acabamento final (se necessário).

Questão 5:

A principal diferença entre um produto cerâmico constituído essencialmente de fases cristalinas e um produto cerâmico não-cristalino está na sua estrutura cristalina. A estrutura cristalina de um material cerâmico cristalino é muito complexo, já que são formados por, no mínimo, dois elementos diferentes e o não-cristalino, como o próprio nome sugere, não possui reticulado cristalino definido, isto é, possui apenas uma ordenação atômica. Fora isso, os cristalinos são sólidos e os não-cristalinos são líquidos, apesarem de terem uma viscosidade bastante elevada, proporcionando-lhes características de um sólido.

Questão 6:

Ocorre quando um ou mais elétrons são transferidos de um átomo eletropositivo para um mais eletronegativo. Ela, também, pode ser entendida como o resultado da atração de um ânion e um cátion.

Questão 7:

Ocorre quando um ou mais elétrons são compartilhados entre dois átomos, assim gerando uma força de atração entre esses átomos. Essa ligação é resultante de átomos que possuem a camada de valência quase saturada de elétrons, dessa forma, esses elétrons passam a orbitar indiferentemente nos átomos envolvidos.

Questão 8:

É característica de metais que apresentam um, dois ou três elétrons de valência. Esses elétrons não estão ligados a um único átomo, mas se movimentam mais ou menos livres por todo o metal. Os outros elétrons e o núcleo formam um corpo eletricamente positivo que é envolvido por uma nuvem de elétrons (os elétrons citados anteriormente) que atuam como uma “cola” mantendo os átomos unidos, dando origem a ligação metálica.

Questão 9:

Essa força também é chamada de Força de London, dipolo instantâneo ou dipolo induzido. Ela ocorre quando há uma movimentação de uma nuvem eletrônica para um lado da molécula, gerando momentaneamente um dipolo, fazendo com que apareça uma força intermolecular.

Questão 10:

As propriedades mecânicas e físicas estão intimamente ligadas aos tipos ligação que certo tipo de material possui. No caso dos materiais cerâmicos, por apresentarem ligações iônicas e/ou covalentes (além de possuírem também planos de deslizamentos independentes), garante-lhes uma alta dureza e refratariedade e uma boa taxa de compressão. Fora isso, a ausência de elétrons livres nos materiais cerâmicos qualifica-os como bons isolantes térmicos e elétricos.

Questão 11:

Por apresentarem ligação iônica, o número de coordenação (número de ânions vizinhos mais próximos para um cátion) está relacionado com a razão entre o raio do cátion e do ânion ( $r_c/r_a$ ). Assim, ela pode ser: linear (cátion ligado a dois ânions -  $r_c/r_a < 0,155$ ); triângulo equilátero planar (cátions envolvido por três ânions -  $r_c/r_a$  entre 0,155 e 0,255); cátion no centro de um tetraedro ( $r_c/r_a$  entre 0,255 e 0,414); cátion no centro de um octaedro ( $r_c/r_a$  entre 0,414 e 0,732); ânions localizados em todos os vértices de um cubo e um cátion no centro ( $r_c/r_a$  entre 0,732 e 1). As estruturas cristalinas mais comumente encontradas nos materiais cerâmicos são: cúbica simples e CFC.

Questão 12:

As cerâmicas por apresentarem em sua composição no mínimo dois elementos diferentes e são formados por ligações iônicas ou covalentes ou ambas, elas possuem uma variedade e complexidade de estruturas cristalinas bem superiores a dos metais. Os metais geralmente possuem estruturas CCC, CFC ou HC. As mais comumente encontradas nas cerâmicas são CCC e CFC.

Questão 13:

a) Essa nomenclatura AX está relacionada com o tipo de estrutura cristalina, onde o “A” representa o cátion e o “X”, o ânion. Os materiais cerâmicos que são desse tipo apresentam números iguais de cátions e ânions. Dentre eles, podemos citar o sal-gema, o cloreto de cério e a blenda de zinco.

b) Estruturas do tipo  $A_mX_p$  representam os materiais cerâmicos que apresentam diferentes quantidades de cátion (representado pelo “A”) e ânion (representado pelo “X”). Os valores de “m” e “p” são as cargas dos íons trocadas, ou seja, a carga do cátion vai para o valor de “p” e a carga do ânion para o “m”. Dentre esses, podemos citar a fluorita, o  $ZrO_2$ , o  $UO_2$  e o  $ThO_2$ .

c) As estruturas do tipo  $A_mB_nX_p$  representam materiais cerâmicos que possuem dois cátion, que são representados por “A” e “B”. Dentre esses materiais podemos citar o titanato de bário que é possuem propriedades eletromecânicas bastantes peculiares.

d) Os defeitos que podem ser encontrados nas estruturas dos materiais cerâmicos são defeitos atômicos pontuais, que por sua vez podem ser intersticiais e lacunas tanto para ânion quanto para o cátion. Essas imperfeições geralmente ocorrem aos pares devido a eletroneutralidade destes. Dessa forma, essas imperfeições ou defeitos vão influenciar na difusão, podem levar ao surgimento de microtrincas e alterar os movimentos de discordâncias levando a uma fragilidade do material.

Questão 14:

A faixa de valores para o módulo de elasticidade dos materiais cerâmicos é ligeiramente superior a dos metais, geralmente entorno de 70 a 500 GPa. Dessa forma, como o módulo de elasticidade está relacionado com a rigidez do material, os materiais cerâmicos têm uma menor deformação quando aplicados uma força, assim fazendo com eles sejam mais frágeis, comprometendo suas propriedades mecânicas.

Questão 15:

Como o módulo de elasticidade está relacionado com a deformação quando sujeito a uma carga, os poros presentes nas estruturas dos materiais cerâmicos atuam de maneira negativa. Isto ocorre porque os poros agem como concentradores de tensão, podendo levar a formação de uma microtrinca que depois podem evoluem para uma

trinca superficial causando a fratura do material, e, também, porque eles reduzem a área da secção transversal através da qual é aplicada uma carga.

Questão 16:

Como a resistência mecânica e a ductilidade dos materiais estão relacionadas com a deformação sofrida por aplicação de uma força, ou seja, estão relacionadas com o módulo de elasticidade, é de se esperar que os materiais cerâmicos possuam uma baixa ductilidade e resistência mecânica por possuírem um módulo de elasticidade relativamente alto.

Questão 17:

Os materiais cerâmicos são os materiais mais duros conhecidos, ou seja, eles oferecem uma elevada resistência às deformações permanentes, já que essa resistência está ligada à força das ligações atômicas. Como os materiais cerâmicos não são capazes de absorver grandes quantidades de energia mecânica, eles fraturam facilmente, ou seja, tem uma baixa tenacidade.

Questão 18:

Como materiais abrasivos são utilizados para desgastar, polir ou cortar outros materiais, que são obrigatoriamente mais moles, então sua principal exigência é a dureza ou a resistência ao desgaste. Fora isso, um alto grau de tenacidade torna-se essencial para que as partículas abrasivas não fraturarem com facilidade. Dessa forma, os materiais cerâmicos, principalmente os carbetos de silício, de tungstênio, o óxido de alumínio e a areia de silício, apresentam tais características.

Questão 19:

Os materiais cristalinos se deformam em consequência do movimento de discordâncias ocasionado por planos cristalinos. Porém, como os materiais não-cristalinos não possuem planos cristalinos eles possuem um tipo de deformação chamado de deformação vítrea. Essa ruptura pode se propagar sob concentrações de tensões e em direções perpendiculares as resultantes das tensões de tração e a deformação ocorre na direção da resultante máxima da tensão de cisalhamento, isto se houver uma força suficiente para que haja o rompimento das ligações.

Questão 20:

Os materiais cerâmicos são de grande interesse dentro da Engenharia, pois possuem algumas propriedades relevantes, entre elas, a dilatação térmica, sua capacidade calorífica e sua condutividade térmica.

Questão 21:

As principais causas são: os espaçamentos interatômicos; temperatura na qual se encontra; ponto de fusão; presença de fases densamente compactadas e a simetria da estrutura cristalina.

Questão 22:

Quando um material possui um elevado ponto de fusão, isso quer dizer que as forças interatômicas são fortes. Isto nos mostra que será necessário uma maior quantidade de energia para separar ou afastar tais átomos. Dessa forma, menor será a dilatação térmica. Contudo, a dilatação térmica não somente está ligada a esse fator, há também outros fatores que se devem levar em conta, como, por exemplo, da simetria da fase cristalina e do modo que ela está compactada.

Questão 23:

Os principais motivos de interesse no estudo da capacidade calorífica dos materiais cerâmicos são porque ela constitui uma variável básica no cálculo e operações de consumo de combustíveis e no estudo do choque térmico, também, ela fornece informações sobre o equilíbrio termodinâmico.

Questão 24:

As tensões térmicas surgem porque a elevação da temperatura nos corpos, geralmente, não é homogênea, ou seja, ocorrem dilatações variadas nas regiões do corpo. Fora isso, se essa elevação for homogênea, podem surgir tensões devido a limitações externas ligadas a dilatação. Nos materiais cerâmicos, elas originam-se, principalmente, das transformações de fases, das variações de volume, das dilatações variáveis causadas pelas diferentes temperaturas encontradas, entre outras.

Questão 25:

Materiais refratários são materiais que são capazes de suportar elevadas temperaturas sem perder suas propriedades, dentre elas, a baixa condutividade térmica e elétrica. E por isso, eles são utilizados em vários setores industriais, como, por exemplo, em fornos de siderurgia e fundição, em conversores, em cubas eletrolíticas para a fabricação de alumínio, em geradores de calor e varias outras aplicações.

Questão 26:

Os materiais refratários são divididos basicamente em quatro tipos: os de argila, à base de sílica, os básicos e os especiais. Os refratários de sílica são compostos praticamente de sílica pura; os aluminosos e silico-aluminosos (de argila), englobam desde a alumina pura até uma mistura de alumina e sílica; os básicos são ricos em periclásio, ou magnésia, mas também podem conter compostos de cálcio, cromo e ferro; os especiais possuem uma composição variada, mas podemos citar os carbetos e

carbono, o zircônio ( $ZrO_2$ ), a berília ( $BeO$ ), zircão ( $ZrSiO_4$ ), espinélio ( $MgAlO_4$ ) e a mulita ( $3Al_2O_3 - 2SiO_2$ ).

Questão 27:

Os principais métodos de separação da matéria-prima que são utilizadas na fabricação de materiais cerâmicos são: flotação, calcinação e cliquerização.

A flotação é um processo no qual um líquido é adicionado a uma mistura, onde a fase que não é umedecida pelo líquido fica em suspensão através de bolhas de ar ascendentes e a outra parte umedecida se desloca para o fundo do recipiente.

A calcinação é um processo onde ocorre uma oxidação das substâncias presentes em um determinado material utilizando-se o calor.

A cliquerização é um processo parecido com a calcinação, que difere apenas no processo de pré-sinterização. Nele, as matérias de elevada pureza são misturadas e aquecidas até reagirem e homogeneizarem seus óxidos nas fases desejadas.

Questão 28:

Os processos de fabricação das cerâmicas podem diferir de acordo com as propriedades desejadas. Contudo, de um modo geral, compreendem as seguintes etapas: preparação da matéria-prima; preparação da massa; formação das peças; tratamento térmico e acabamento. Essa formação ou conformação da peça se dá através de vários processos, entre eles estão à prensagem, o sopro, a laminação e a conformação de fios.

Questão 29:

a) O método de prensagem é responsável pela fabricação lentes circulares ou “loucas” de vidro.

b) O método de sopro é responsável pela fabricação de vasilhames e bulbos.

c) O método de estiramento é responsável pela fabricação de peças contínuas, delgadas e longas. Como exemplo, podemos citar vidros planos, tubulações de vidro fibras de vidros contínuas.

Questão 30:

Secagem é o nome que se dá ao processo pelo qual a peça cerâmica, depois de conformada, perde umidade para o meio.

Questão 31:

Durante o processo de secagem, como o calor que a dá origem age do exterior para o interior da peça e, enquanto isso a umidade realiza o caminho inverso (interior – exterior), a parte externa seca mais rapidamente causando um fechamento dos poros. Dessa maneira, dificultando a saída da água que ainda está presente no interior da peça,

gerando tensões na peça. Dependendo da diferença de temperatura entre essas duas regiões (interna e externa), a superfície exterior pode vir a se deformar e também a rachar.

Questão 32:

A sinterização é um processo que visa, através de uma atmosfera controlada, a fortificação das ligações de componentes em pó compactados dentro de um ciclo temporizado de temperatura, ou seja, é a aglomeração de pequenas partículas sólidas em meios térmicos (essa temperatura é sempre abaixo do ponto de fusão do material).

Questão 33:

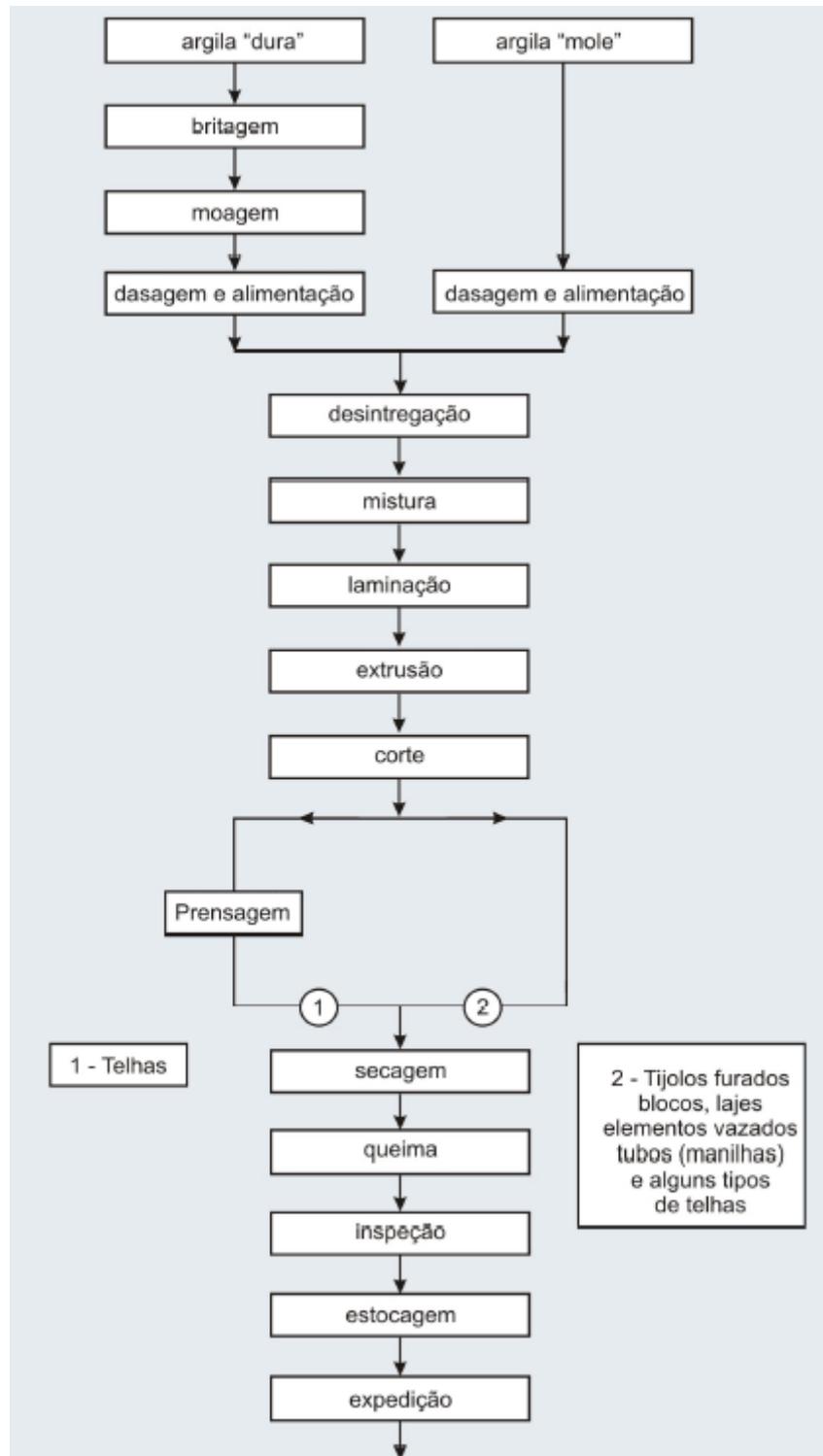
Consiste em um tratamento térmico onde o material é aquecido acima da zona crítica, ainda no estado sólido, e permanece dessa maneira por um determinado tempo e, em seguida, ele é resfriado lentamente. Ele é realizado com o intuito de remover tensões geradas por tratamentos mecânicos, diminuir a dureza, aumentar a ductilidade, regularizar a textura bruta de fusão, e eliminar finalmente, o efeito de quaisquer tratamentos térmicos ou mecânicos a que o aço tenha sido submetido anteriormente.

Questão 34:

Consiste em um tratamento térmico realizados nos materiais, onde eles são aquecidos e depois de um certo período, são arrefecidos, ou seja, resfriados bruscamente. Ela tem por objetivo a formação de uma microestrutura que proporcione uma elevada dureza e resistência mecânica. Contudo, esse processo ou tratamento ocasiona um aumento das tensões internas, e, dessa forma, depois dela geralmente realiza-se um processo chamado de revenido para diminuir essas tensões e proporcionar algumas propriedades mecânicas desejadas.

Questão 35:

O processo de fabricação da cerâmica vermelha ocorre de acordo com o fluxograma abaixo:



Após a mineração da matéria-prima, se esta for "dura" deve ser beneficiada, ou seja, desagregada ou moída, e em seguida classificadas de acordo com a

granulometria e muitas vezes purificadas. O processo de fabricação propriamente dito tem-se início após essas operações.

Depois da obtenção de uma granulometria menor, é adicionado água, areia (sílica), soluções ácidas ou alcalinas, dependendo do tipo de características que são desejadas. Logo em seguida, a massa passa para o processo da moldagem. Dependendo do tipo de massa obtida ela segue por caminhos diferentes. Se for uma massa fluida (barbotina), ela é vertida em moldes porosos de gesso e vão dar origem a porcelanas, louças sanitárias, peças para instalação elétrica e peças de formato complexo. Se for uma massa plástica, ela é moldada em moldes de madeira ou tornos de oleiro e vão dar origem a vasos, tijolos brutos, pratos, xícaras. Se for uma massa plástica consistente, ela é levada para a extrusão e vai dar origem a tijolos, tijoletas, tubos cerâmicos, telhas e refratários. Se for uma massa que possui uma baixa quantidade de água (4 a 10%), são feitas prensagens e vão dar origem a ladrilhos, azulejos, refratários, isoladores elétricos, tijolos e telhas de qualidade superior.

Logo após, elas passam por um processo de secagem, pois se forem ao forno ainda muito úmidas, elas podem trincar. Ela demora cerca de 3 a 6 semanas para argilas moles e menos de 1 para argilas duras. Depois, elas são levadas ao cozimento (queima, sinterização) e por fim são resfriadas. Contudo, o resfriamento deve ser lento para que não ocorra trincas, empenamentos ou outros defeitos. Em seguida, elas são inspecionadas as peças, elas são separadas em defeituosas ou não e as que não são defeituosa são levadas para venda (expedição).