

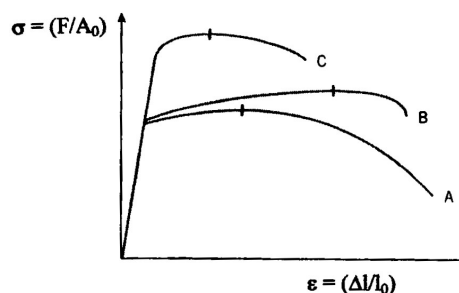
1. Um pedaço de arame recozido de aço baixo carbono tem 2 mm de diâmetro, limite de escoamento 210 MPa e módulo de elasticidade 207 GPa.

Pergunta-se:

- Se uma garota de 54 kg se dependura neste arame, ocorrerá deformação plástica no arame?
- Se for possível, calcule o alongamento porcentual do arame com a garota dependurada.
- O que aconteceria se o arame fosse de cobre (limite de escoamento = 70 MPa; limite de resistência = 220 MPa e módulo de elasticidade = 115 GPa)?

2. Fios de aço carbono com área de seção transversal nominal de 62,9 mm² são utilizados para a fabricação de peças pré-moldadas de concreto protendido. Nessas peças, a armação de fios de aço é pré-tensionada (tração) antes de ser imersa na matriz de concreto. Depois que o concreto é adicionado e endurece, a tensão na armação de aço é relaxada; o aço sofre recuperação elástica e comprime o sistema todo, o que aumenta a resistência mecânica do conjunto, pois mantém o concreto sob um esforço de compressão. O valor do módulo de elasticidade desse aço é 200 GPa. Assumindo que esses fios de aço sofreram uma deformação elástica de 1% quando foram pré-tensionados, qual foi a força (em newtons) à qual eles foram submetidos no processo de pré-tensionamento?

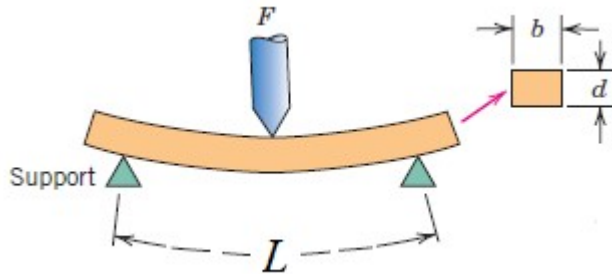
3. Considere as curvas tensão de engenharia *versus* deformação de engenharia para os três materiais (**A**, **B** e **C**). O pequeno segmento de reta desenhado em cada curva representa seu ponto de máximo. Responda as afirmativas com falso (**F**) ou verdadeiro (**V**).



- Os três materiais têm módulos de elasticidade idênticos. ()
- Os três materiais apresentam módulos de resiliência idênticos. ()
- O material **C** apresenta maior limite de escoamento do que **A** ou **B**. ()
- O material **C** apresenta maior limite de resistência do que **A** ou **B**. ()
- O material **A** apresenta maior alongamento uniforme do que **B**. ()
- O material **A** apresenta maior alongamento total (ductilidade) do que **B**. ()
- O material **B** tem provavelmente maior tenacidade do que **C**. ()
- O material **B** apresenta maior expoente de encruamento do que **A**. ()
- O material **C** é provavelmente mais duro do que **A**. ()
- Os três materiais (**A**, **B** e **C**) são provavelmente materiais cerâmicos. ()

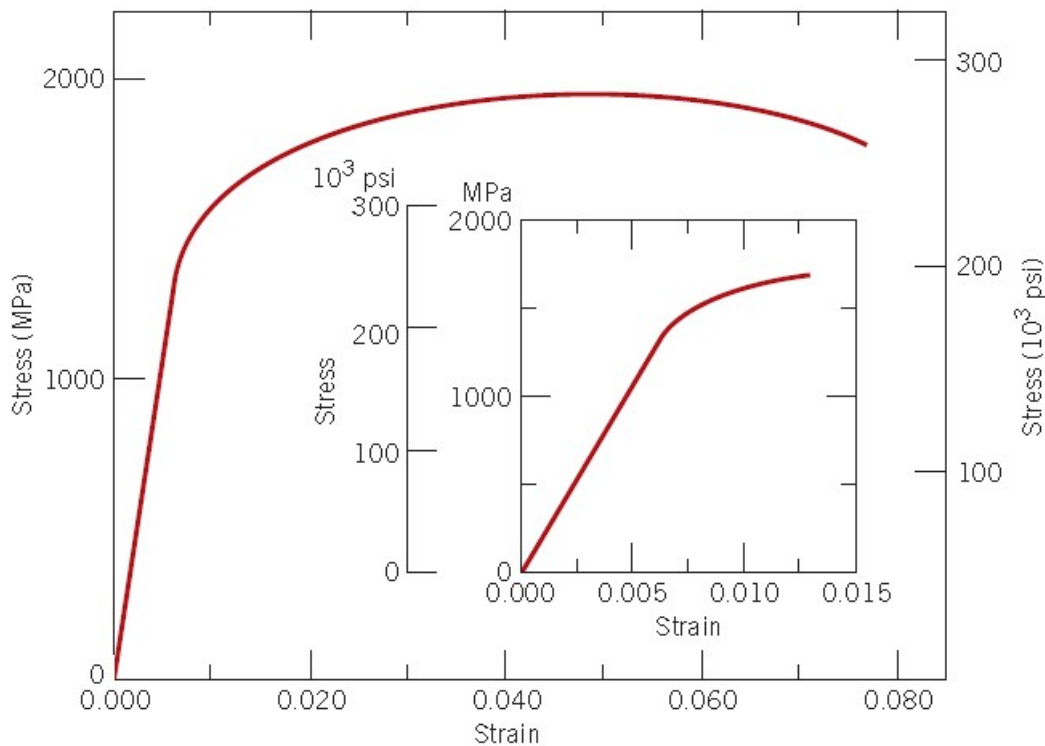
4. Para alguns metais e ligas, a região da curva tensão *versus* deformação (reais ou verdadeiras) desde o início da deformação plástica até o ponto onde tem início a estrição (pescoço) pode ser descrita pela relação $\sigma_R = K (\epsilon_R)^n$, onde K e n são constantes. Calcule o expoente ou coeficiente de encruamento (n) para uma liga cuja tensão verdadeira de 415 MPa produz uma deformação de engenharia de 0,20. Suponha um valor de 935 MPa para K . Lembre-se que a deformação de engenharia (ϵ) e a deformação verdadeira (ϵ_R) estão relacionadas pela expressão: $\epsilon_R = \ln(1+\epsilon)$.

5. Um ensaio de flexão de três pontos foi realizado num corpo de prova de vidro de seção transversal retangular de 50 mm de comprimento, largura 10 mm e espessura 5 mm. A distância entre cada um dos pontos de apoio inferiores é de 45 mm. Assumindo que não aconteceu deformação plástica ao longo de todo o ensaio, e que o corpo rompeu quando uma carga de 290 N foi aplicada, qual é valor da tensão de ruptura à flexão para esse vidro?



$$\sigma = \frac{3 F L}{2 b d^2}$$

6. Considere um corpo de prova cilíndrico de um aço (curva tensão de engenharia - deformação de engenharia apresentada abaixo) de 8,5 mm de diâmetro e 80 mm de comprimento que é submetido a um ensaio de tração.



- Determine seu alongamento quando uma carga de 65.250 N for aplicada.
- Determine o valor do módulo de elasticidade (*elasticity modulus* ou *Young modulus*) da liga?
- Determine o valor do limite de proporcionalidade (*proportional limit*)?
- Determine o valor do limite de escoamento (*yield strength*) para deformação de engenharia = 0,002 (ou 0,2%)?
- Qual é o valor do limite de resistência à tração (*tensile strength*)?

Resolução**Exercício 1**

$$F = m \cdot a = 54 \text{ Kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 529,2 \text{ N}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \left(\frac{529,2}{\pi} \right) \cdot 10^{-6} = 168,45 \text{ MPa}$$

1a)

A solicitação é inferior ao limite de escoamento e, portanto, ocorrerá apenas deformação elástica.

1b)

Para deformação elástica vale a relação $\sigma = E \cdot \varepsilon$, onde E é o módulo de elasticidade

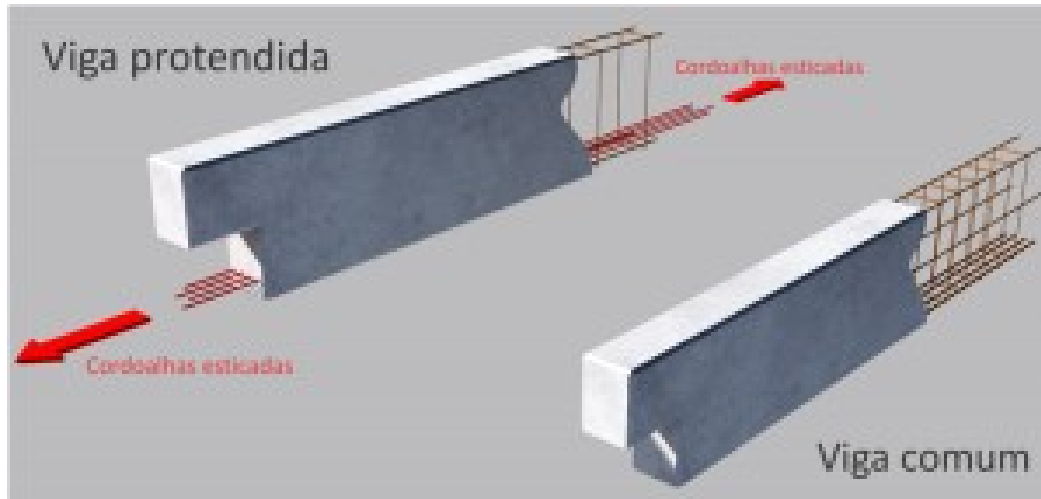
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{168,45 \cdot 10^6}{207 \cdot 10^9} = 0,00081 ; \text{ ou seja } 0,08\%$$

1c)

Se o arame fosse de cobre, ocorreria deformação plástica, mas o arame não se romperia, pois a solicitação (168,45 MPa) é superior ao limite de escoamento (70 MPa) e inferior ao limite de resistência (220 MPa). **Neste caso, com os dados disponíveis, não é possível calcular o alongamento do fio.**

Exercício 2

Abaixo é apresentado um esquema de uma viga protendida, na qual são colocados fios de aço (denominados “cordoalha”, na figura), que são tensionados por tração.



O módulo de elasticidade é dado ($E=200$ GPa), e a deformação também é conhecida (1% de deformação, que corresponde a uma deformação $\epsilon = 0,01$ mm/mm). Como é dito que os fios de aço são tracionados dentro da região de deformações **elásticas**, vale a relação:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

logo,

$$\sigma = (200) \cdot (0,01) = 2,0 \text{ GPa} = 2,0 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

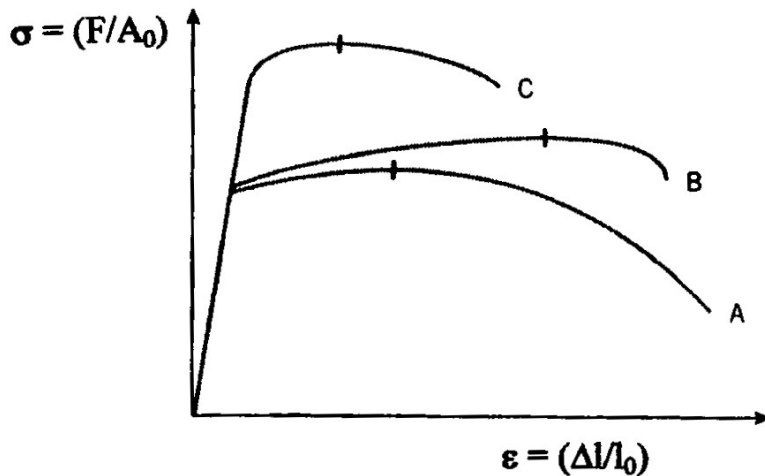
Assumiremos, idealmente, que a tensão de tração é aplicada de forma perfeitamente perpendicular à seção transversal dos fios de aço. A tensão é igual, portanto, à força aplicada dividida pela área da seção transversal dos fios.

Assim sendo:

$$\sigma = F / A \quad \text{ou} \quad F = \sigma \cdot A$$

Portanto,

$$F = (2,0 \times 10^9) \cdot (62,9) \cdot (10^{-3})^2 = 126 \text{ kN}$$

Exercício 3

- Os três materiais têm módulos de elasticidade idênticos. (**V**)
- Os três materiais apresentam módulos de resiliência idênticos. (**F**)
- O material **C** apresenta maior limite de escoamento do que **A** ou **B**. (**V**)
- O material **C** apresenta maior limite de resistência do que **A** ou **B**. (**V**)
- O material **A** apresenta maior alongamento uniforme do que **B**. (**F**)
- O material **A** apresenta maior alongamento total (ductilidade) do que **B**. (**V**)
- O material **B** tem provavelmente maior tenacidade do que **C**. (**V**)
- O material **B** apresenta maior expoente de encruamento do que **A**. (**V**)
- O material **C** é provavelmente mais duro do que **A**. (**V**)
- Os três materiais (**A**, **B** e **C**) são provavelmente materiais cerâmicos. (**F**)

Exercício 4

$$\epsilon = 0,20 \quad \therefore \quad \epsilon_R = \ln(1 + 0,2) = \ln(1,2) = 0,1823$$

$$\sigma_{R=k(\epsilon_R)^n} \quad \therefore \quad 415 = 935 (0,1823)^n =$$

$$0,44385 = (0,1823)^n =$$

$$\ln(0,44385) = n \ln(0,1823)$$

$$n = \frac{-0,81227}{-1,7021}$$

$$n = 0,477$$

Exercício 5

A resolução do exercício passa simplesmente pela aplicação da fórmula fornecida no enunciado, que permite o cálculo da tensão de ruptura à flexão para um corpo com perfil retangular:

$$\sigma = \frac{3 F L}{2 b d^2} = \frac{3 \times 290 \times 0,045}{2 \times 0,01 \times 0,005^2} = 78,3 \text{ MPa}$$

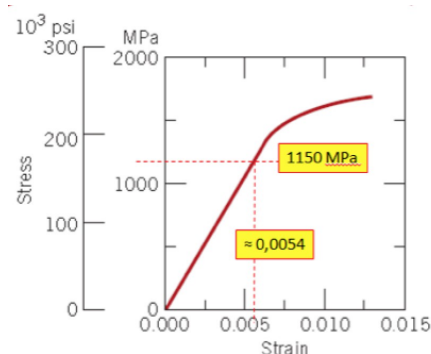
Exercício 6

6a) Este problema pede que se calcule o alongamento ΔL de uma amostra de aço cujo comportamento tensão-deformação foi mostrado na Figura abaixo. Primeiro, é necessário calcular a tensão quando uma carga de 65.250 N foi aplicada:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{F}{\pi \left(\frac{d_0}{2}\right)^2} = \frac{65,250 \text{ N}}{\pi \left(\frac{8,5 \times 10^{-3} \text{ m}}{2}\right)^2} = 1150 \text{ MPa}$$

Com referência à curva tensão de engenharia-deformação de engenharia, nessa tensão estamos na região elástica. A essa tensão corresponde uma deformação de aproximadamente 0,0054. Agora, para calcular o valor de ΔL temos:

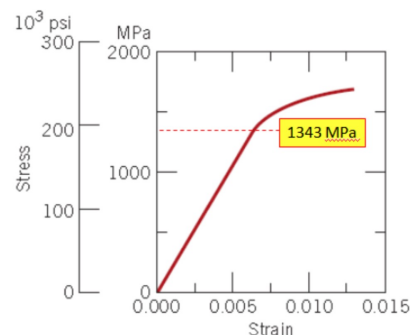
$$\Delta L = \varepsilon \times L_0 = 0,0054 \times 80 \text{ mm} = 0,43 \text{ mm}$$



6b) O módulo de elasticidade pode ser calculado pela inclinação da porção linear inicial da curva tensão de engenharia – deformação de engenharia. Assim,

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{1000}{0,0045} = 220 \text{ GPa}$$

6c) O limite de proporcionalidade corresponde à tensão a partir da qual a curva tensão de engenharia - deformação de engenharia deixa de ser linear, essa tensão vale aproximadamente 1343 MPa.



6d) A linha paralela à região linear da curva tensão - deformação partindo de 0,002 de deformação intercepta a curva tensão-deformação a aproximadamente 1560 Mpa, portanto esse é o valor do limite de escoamento.

6e) O valor do limite de resistência à tração (que equivale ao ponto de máxima tensão na curva tensão de engenharia - deformação de engenharia) vale aproximadamente de 1970 Mpa.

