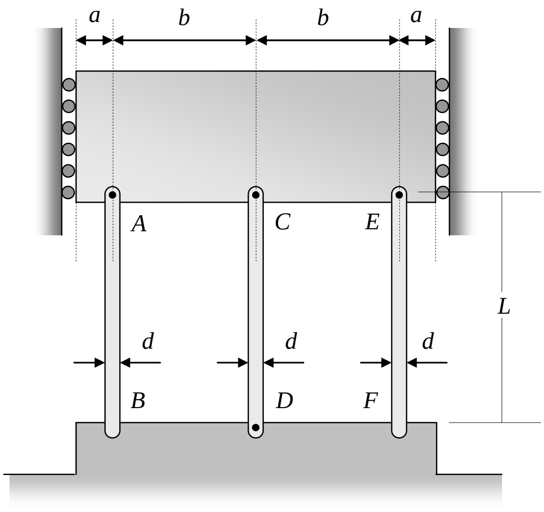
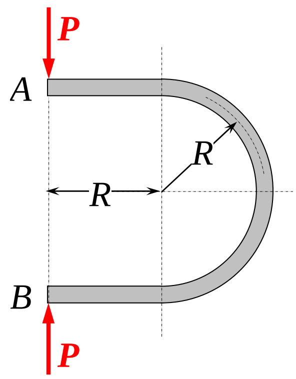
Problema 1. Um bloco rígido, de material uniforme e com peso total P é apoiado por três colunas de seção transversal circular conforme esquematicamente ilustrado na figura ao lado.



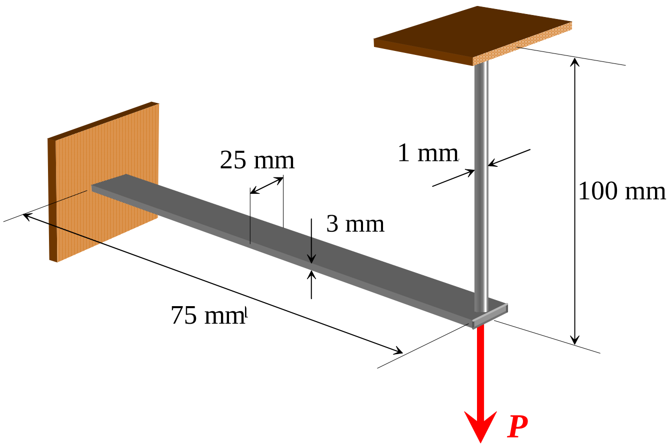
a) Determine o valor de P que irá iniciar o processo de flambagem em pelo menos uma das colunas.
b) Determine o valor de P que irá levar as três colunas à falha por flambagem causando o colapso da estrutura.

Assuma que após a flambagem a coluna continua a resistir ao carregamento axial com um esforço normal compressivo igual à sua carga crítica de flambagem. Considere d = 25 mm, L = 1 m, e E = 200 GPa. Considere ainda que que as barras estão rotuladas em A, C, D e E, e engastadas em B e F. (3.0 pontos)

Problema 2. Utilizando o teorema de Castigliano, determine a variação na distância AB, inicialmente igual a $2R$, quando o arco é submetido ao carregamento vertical P. Determine também a rotação da seção transversal no ponto de aplicação da força. O módulo de elasticidade do material da estrutura é E e o momento de inérica da sua seção transversal é I. (3,5 pontos)



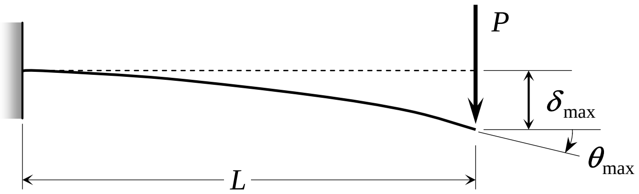
Problema 2. A figura mostra uma viga engastada de seção retangular apoiada por uma arame circular (dimensões indicadas na figura). A viga e o arame têm o mesmo módulo de elasticidade, E = 200 GPa. O arame possui um limite de escoamento Y_B = 120 MPa. O material da viga é perfeitamente elástico, porém o material do arame pode ser considerado como elástico/perfeitamen-plástico. O conjunto é carregado verticalmente pela força P. Considere que as junções entre a viga e o arame e o arame e seu apoio superior não transmitem momentos (rótulas).



a) Determine P_Y, o valor da carga que leva o arame ao escoamento (1,5 pontos).
b) Neste modelo da estrutura existe a possibilidade de colapso plástico? Caso a resposta seja positiva, determine o valor da carga limite. Caso contrário, justifique a resposta (1,0 ponto).
c) Supondo agora que o material da viga também se comporte como elástico/perfeitamente-plástico e com limite de escoamento Y_V = 240 MPa, determine o valor da carga limite (1,0 ponto).

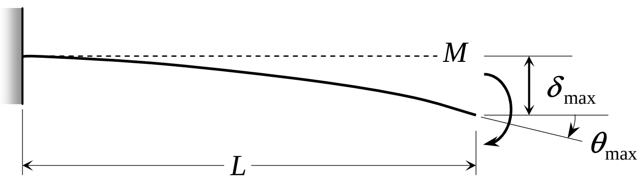
Carga Crítica de Flambagem $$P_{cr} = c\frac{EI}{L^2}$$	**Tipo de Apoio**	***c***
	Simples-Simples	π^2
	Engastada-Livre	$\pi^2/4$
	Engastada-Simples	20.2
	Engastada-Engastada	$4\pi^2$

Tensão de Flexão	Momento de Inérícia para seção		
	Circular	Retangular	Tubular (*D*>>*t*)
$$\sigma_{xx}(x,y) = -y\frac{M(x)}{I}$$	$$I = \frac{\pi D^4}{64}$$	$$I = \frac{bh^3}{12}$$	$$I = \frac{\pi D^3 t}{8}$$



$$\delta(x) = \frac{Px^2}{6EI}(3L - x)$$

$$\delta_{\max} = \frac{PL^3}{3EI} \qquad \theta_{\max} = \frac{PL^2}{2EI}$$



$$\delta(x) = \frac{Mx^2}{2EI}$$

$$\delta_{\max} = \frac{ML^2}{2EI} \qquad \theta_{\max} = \frac{ML}{EI}$$

Comportamento Elastoplástico de Vigas de Seção Retangular	
$M_Y = \dfrac{bh^2 S_Y}{6}$	$M_L = \dfrac{3}{2}M_Y$

Energia de Deformação		**Teorema de Castigliano**		
Vigas em Flexão	$U = \int \dfrac{M^2}{2EI}ds$	$\delta = \dfrac{\partial U}{\partial P}$	Vigas em Flexão	$\delta = \dfrac{1}{EI}\int \dfrac{\partial M}{\partial P} M ds$
Eixos em Torção	$U = \int \dfrac{T^2}{2GJ}ds$		Eixos em Torção	$\delta = \dfrac{1}{GJ}\int \dfrac{\partial T}{\partial P} T ds$
Barras sob Esforço Axial	$U = \int \dfrac{N^2}{2EA}ds$		Barras sob Esforço Axial	$\delta = \dfrac{1}{EA}\int \dfrac{\partial N}{\partial P} N ds$