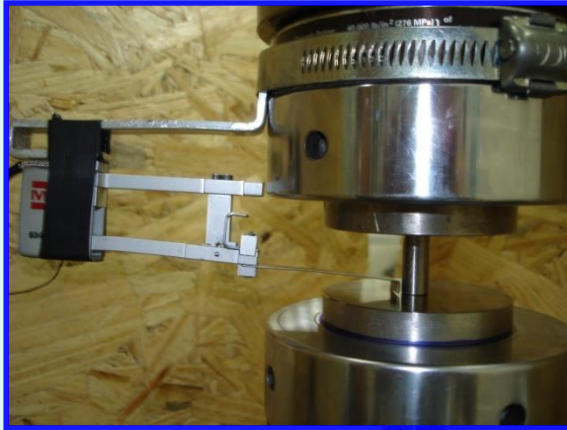


5 - ENSAIO DE COMPRESSÃO

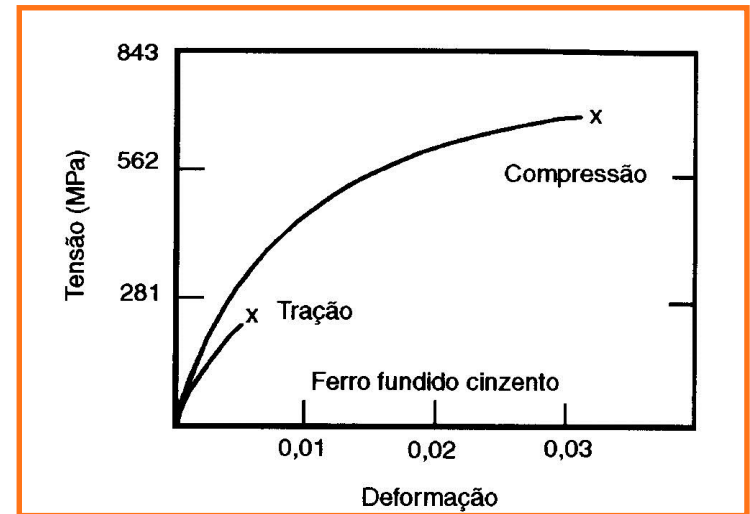


Informações Iniciais:

- Teste Uniaxial.
- Propriedades obtidas analogamente ao ensaio de tração.
- Exemplos de Normas:
 - ASTM E 9 (metais)
 - NBR 5739 (concreto)

Razões para o Ensaio:

- Análises Similares às do Ensaio de Tração
- Alguns Materiais têm Comportamento muito Diferente: Resistência à Compressão é Maior
- Materiais Usados para Suportar Esforços Compressivos



Comparativo das curvas tensão-deformação de ferro fundido em tração e compressão

Principais Empregos:

- **Indústria de Construção Civil**
(exemplo: qualidade do concreto, tijolos, etc);
- **Indústria de Conformação Mecânica**
(exemplo: metais dúcteis forjados, laminados);
- **Materiais Maleáveis**
empregados em guarnições, gaxetas e arruelas

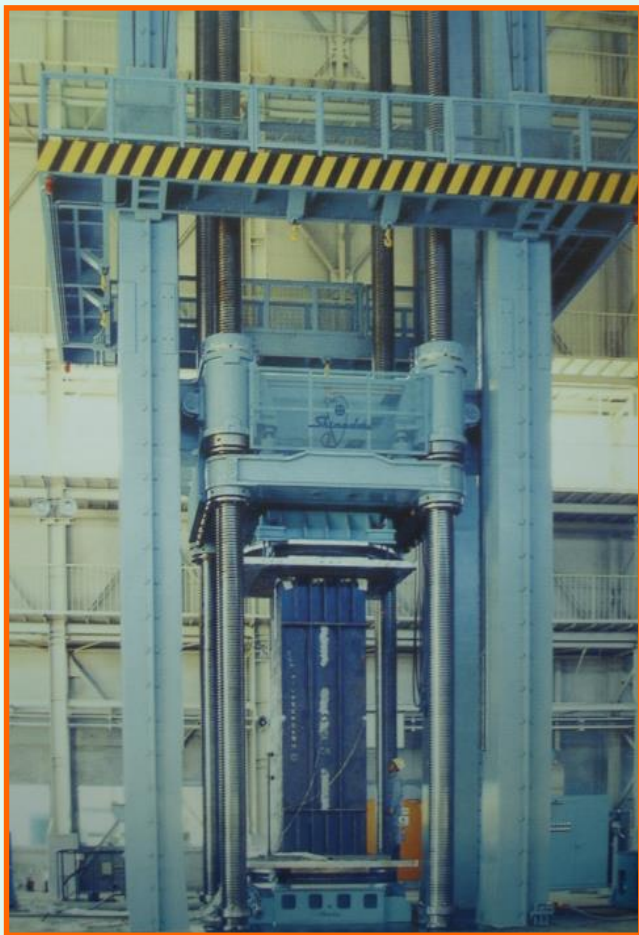


Tijolo preparado, ensaio de compressão axial



Ensaio de compressão em corpo-de-prova de concreto

Ensaio em Componentes:



*Ensaio de compressão
em coluna de aço*



*Ensaio de compressão
em garrafas plásticas*

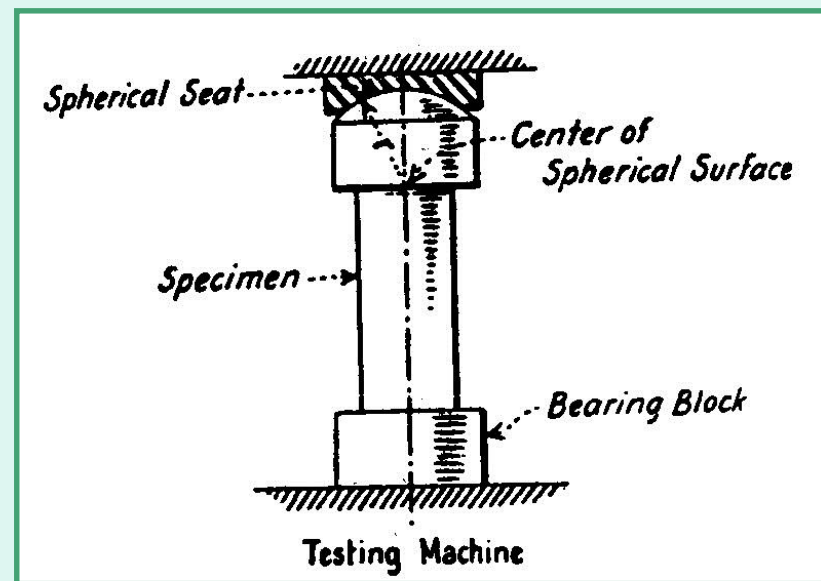


Ensaio axial com corpo-de-prova cilíndrico: (vídeo)



Corpos-de-Prova:

- Normalmente Cilíndricos (seção quadrada ou retangular são usadas eventualmente)
- Relação L/d entre 1 e 3 (podendo chegar a 10 em testes especiais → Módulo de Young)



Ensaio de Compressão: o corpo-de-prova é posicionado entre placas.

Cuidados a Serem Tomados:

- Escolha do comprimento representa um compromisso:

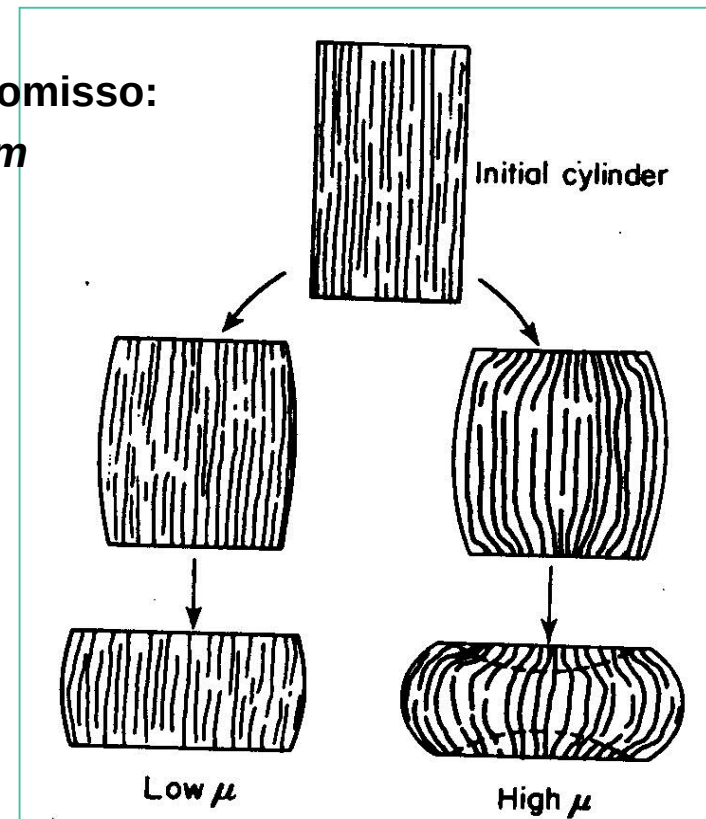
- *L/d grande* → *Pode ocorrer a flambagem*
- *L/d pequeno* → *Efeitos de extremidade*

- Flambagem → tensões de flexão

- Problema agravado por:

- *Falta de alinhamento da máquina e dispositivo*
- *Extremidades do c.d.p. nunca são 100% paralelas*
- *Eixo do c.d.p. nunca é 100% retilíneo*

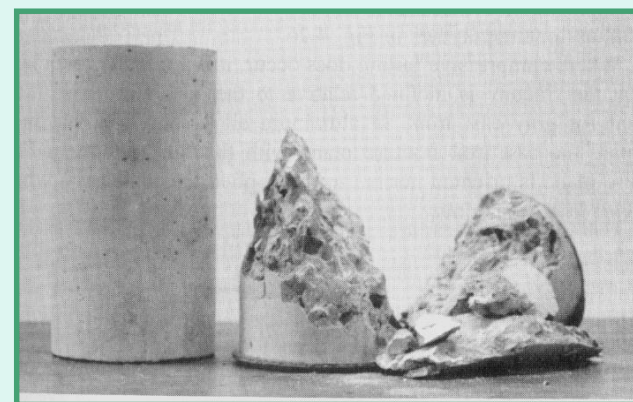
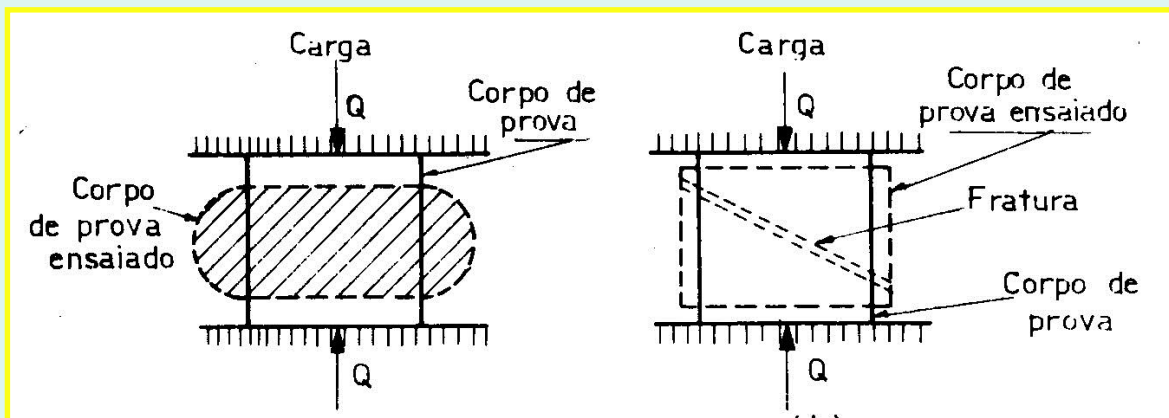
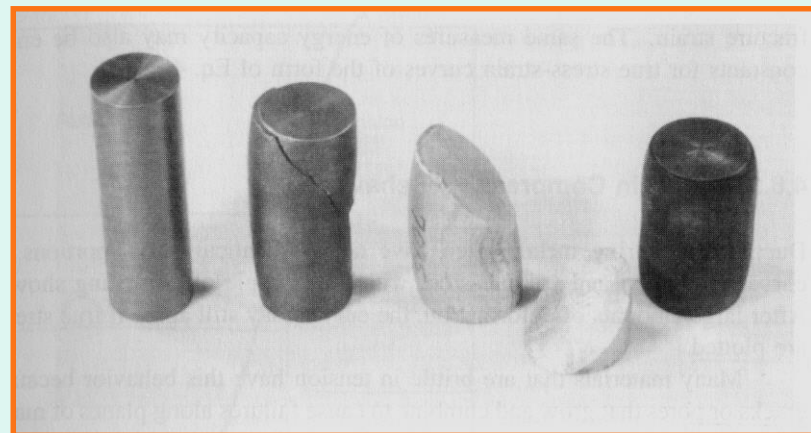
- Efeitos de Extremidade → estado de tensão complexo: atrito dificulta deformação de Poisson (devem-se lubrificar as extremidades)



Seções Longitudinais de cilindros submetidos a compressão axial

Materiais Dúcteis e Frágeis:

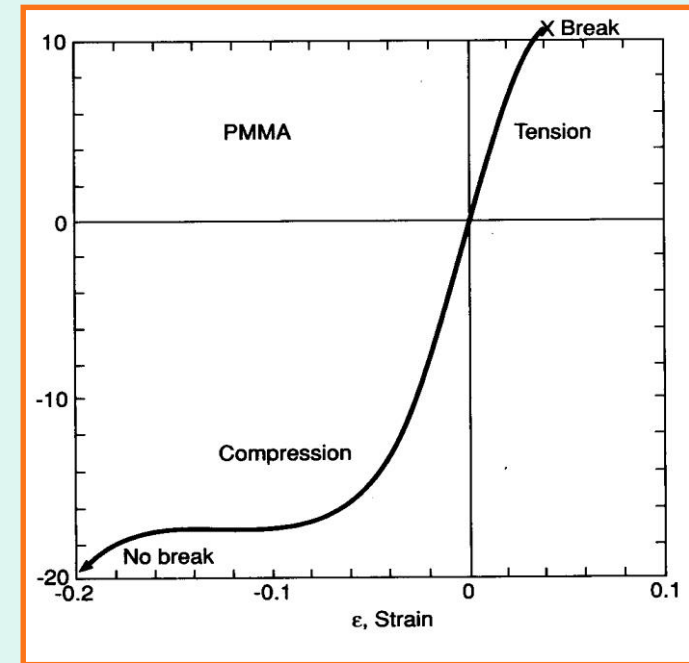
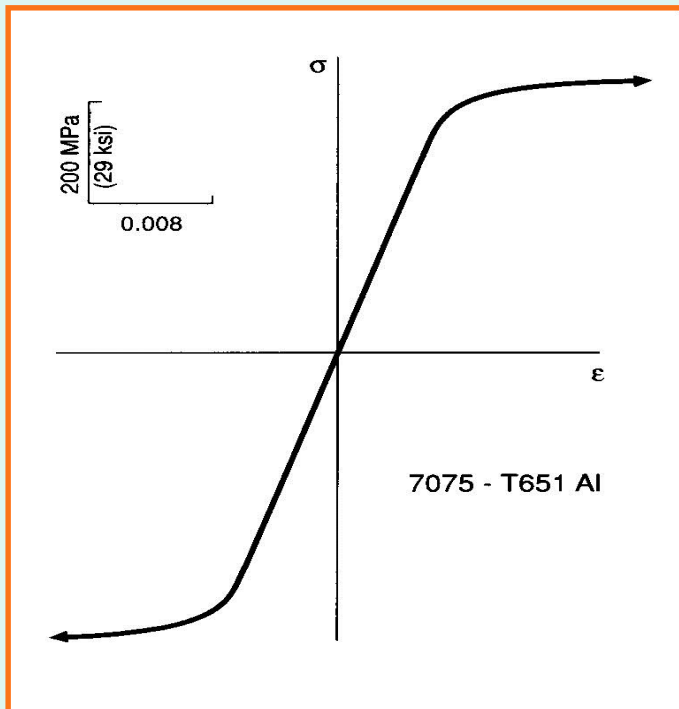
- Frágeis: sofrem ruptura → tensões de cisalhamento e tensões trativas secundárias;
- Dúcteis: muitas vezes não é possível levar o corpo-de-prova à ruptura → análise dos dados somente da região elástica



C.d.p.s de concreto (d=150mm)

Curvas de Compressão Axial:

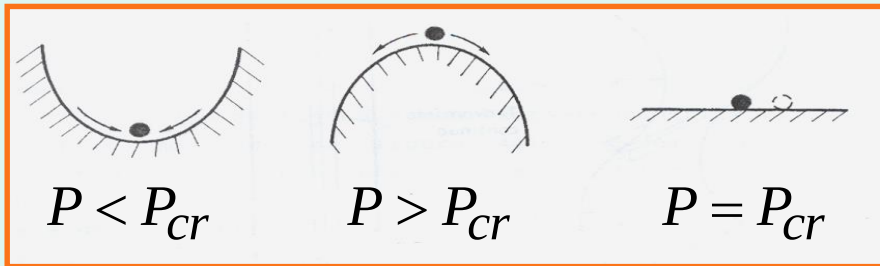
- **Dúcteis:** porções iniciais das curvas em tração e compressão aproximadamente idênticas (após grandes deformações, as curvas podem coincidir se forem considerados os valores verdadeiros)



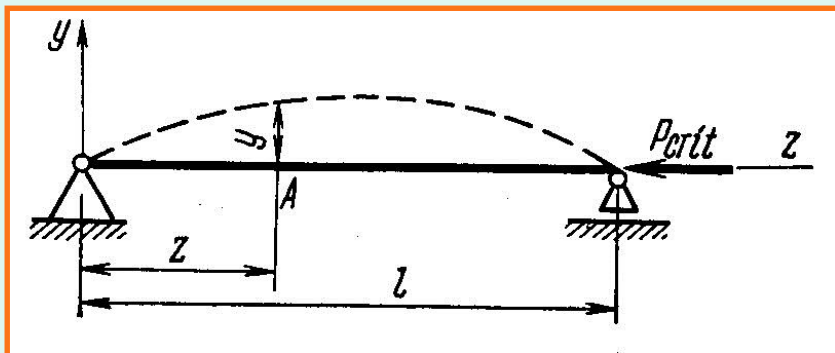
- **Frágeis:** a fragilidade em tração está associada a defeitos do material → fratura no plano da tensão normal máxima;
- **Frágeis:** defeitos influem muito menos no comportamento em compressão → fratura, quando ocorre, se dá em planos inclinados.

Introdução à Teoria da Flambagem:

- Formas de equilíbrio



- Barra sujeita à compressão



Equilíbrio → Seccionar num ponto arbitrário:

$$M = -Py$$

Equação da Linha Elástica:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

Definimos uma variável α :

$$\frac{P}{EI} = \alpha^2$$

Equação da Elástica fica da forma:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \alpha^2 y = 0$$

(equação diferencial linear de 2ª ordem coef. constantes)

Solução para Barra com Seção Qualquer:

- ✓ *A flambagem ocorre no eixo de menor momento de inércia*

$$P = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{L^2}$$

Efeito das Condições de Extremidade:

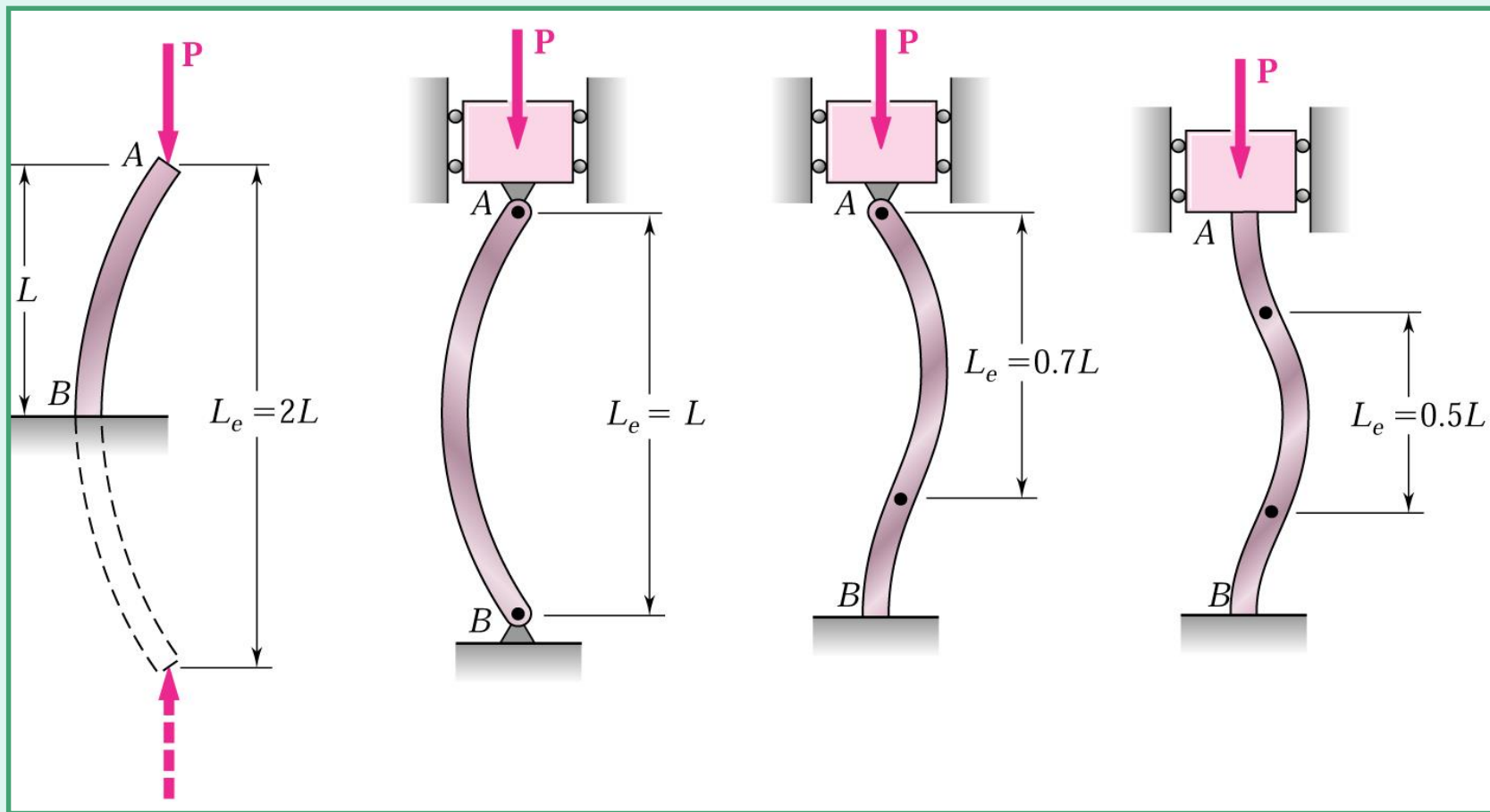
- ✓ *Definimos o Comprimento Efetivo* $L_e = \mu \cdot L$

onde μ é o coeficiente de redução de comprimento

Ficamos com:

$$P = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu L)^2}$$

Efeito das Condições de Extremidade:



- ✓ **Tensão Crítica (fórmula de Euler):**

$$\sigma_{crit} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(\mu L)^2 A}$$

- ✓ **Definição do Raio de Giração mínimo:**

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$$

- ✓ **Reescrevemos a Tensão Crítica:**

$$\sigma_{crit} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{\mu L}{r_{min}}\right)^2}$$

- ✓ **A influência dos apoios e dimensões da barra será caracterizada pela esbeltez λ :**

$$\lambda = \frac{\mu L}{r_{min}}$$

- ✓ **Validade da fórmula de Euler → determinada pela equação da elástica (tensões menores que a tensão de escoamento em compressão):**

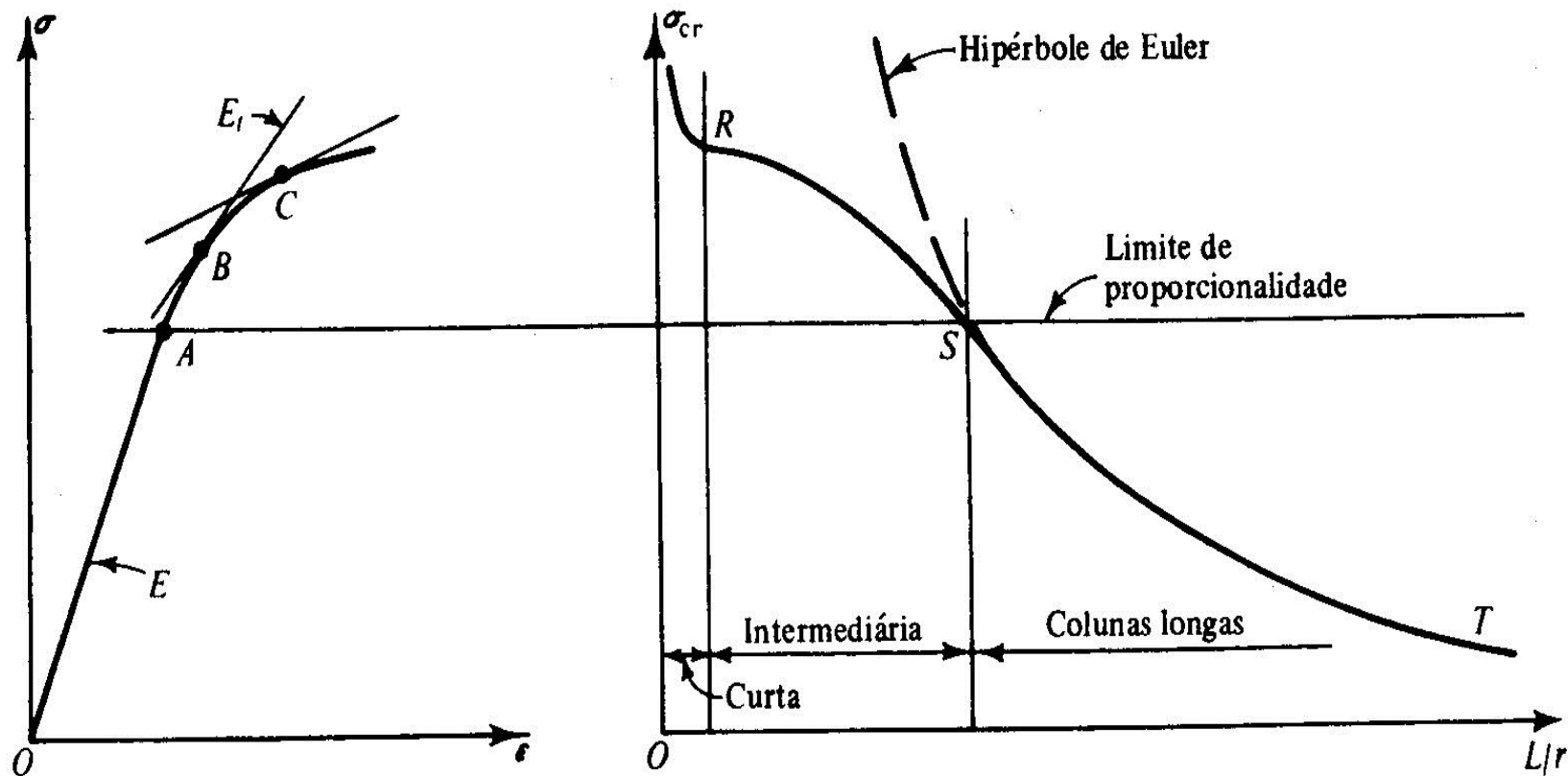
$$\sigma_{crit} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

válido para:

$$\lambda \geq \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_e}}$$

(Obs.: Quando λ é pequeno, a barra sofre escoamento antes de flambar)

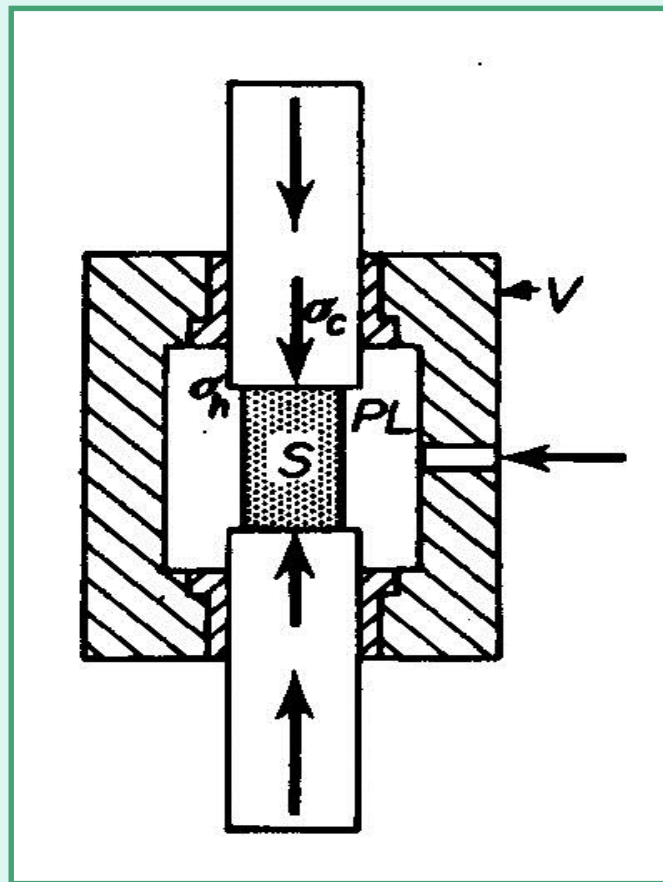
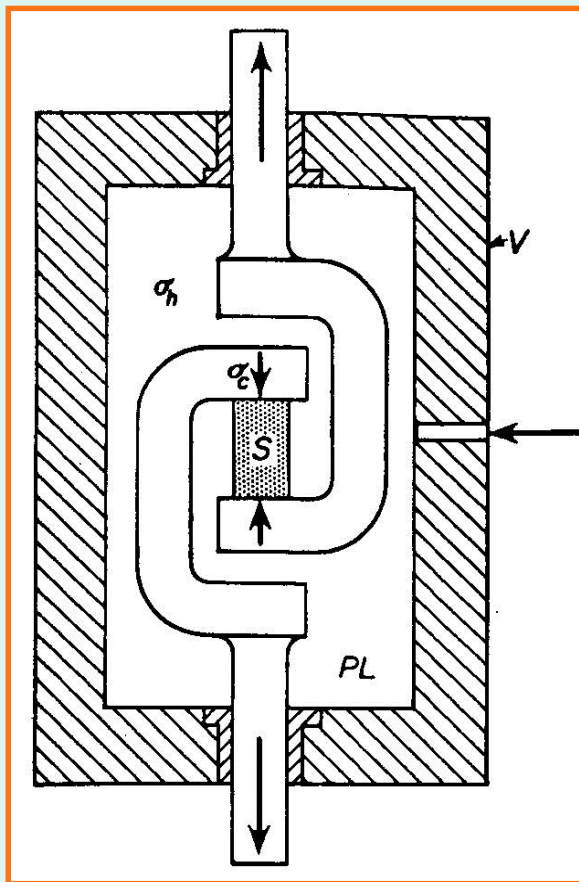
Flambagem no Regime Plástico:

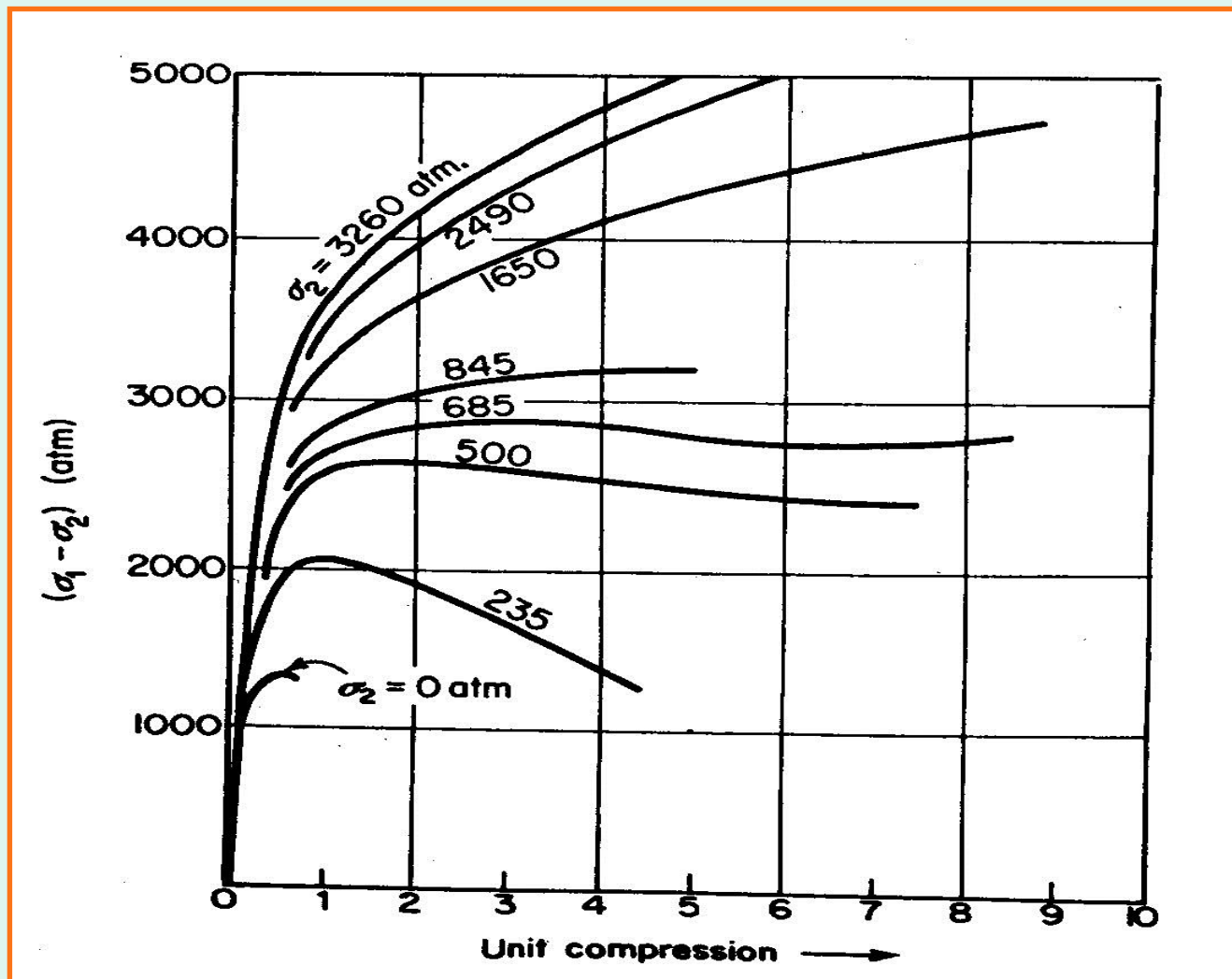


Teoria do módulo tangente para flambagem inelástica

Ensaio de Compressão no Estado Triaxial

- Materiais Frágeis sofrem Deformação Plástica
- Superposição de uma Tensão Hidrostática

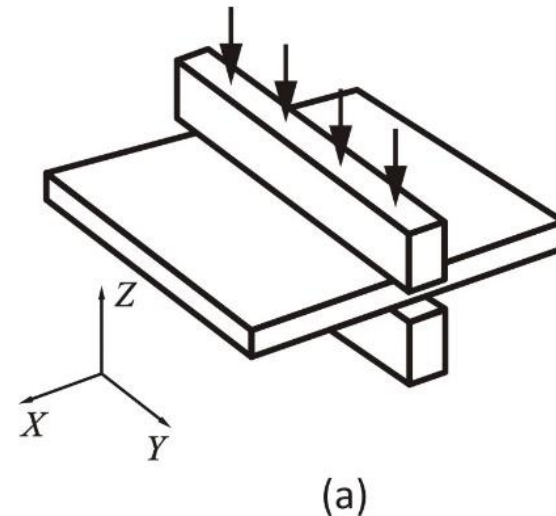
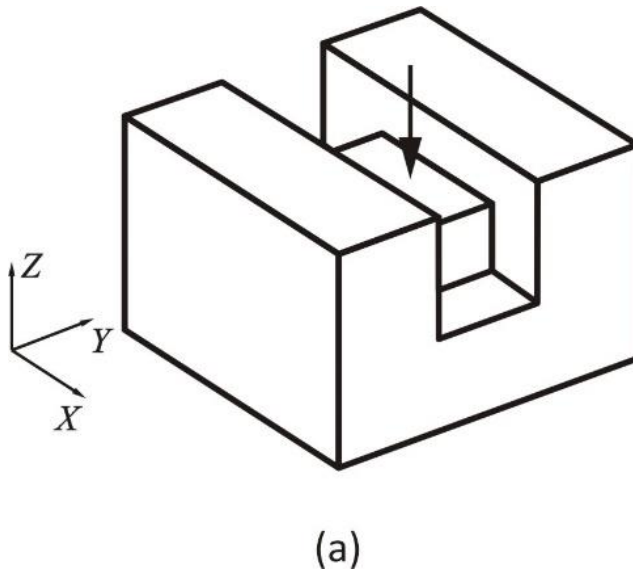




Resultados obtidos por Kármán com cilindros de mármore

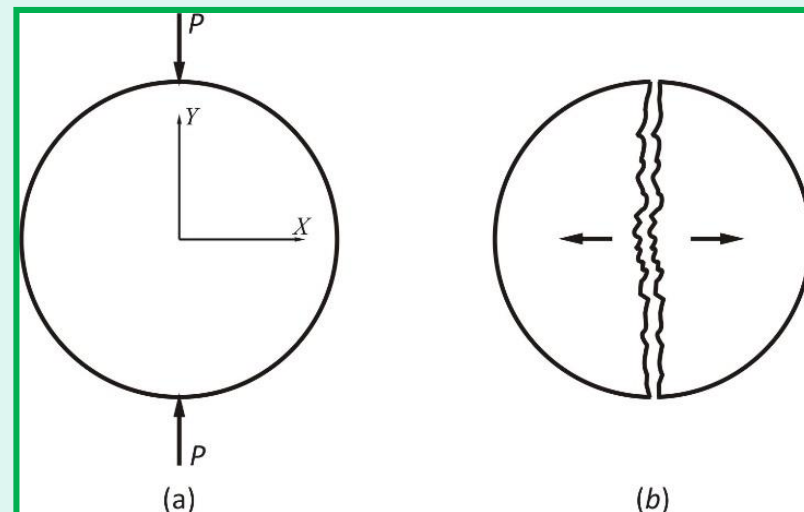
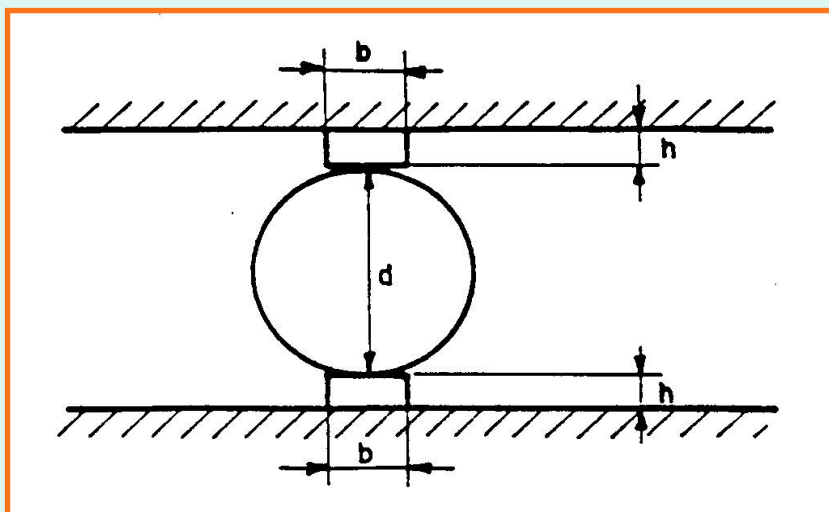
Ensaio de Compressão sob Deformação Plana

- Avaliações de conformabilidade de metais dúcteis
- (a) Canal com paredes impedindo a expansão lateral: necessário lubrificar as faces em contato.
- (b) Compressão de placa por aplicador de carga estreito: as bordas da chapa não estarão sob o estado de deformação plana.



Resistência à Tração por Compressão Diametral

- Normas: ABNT NBR 7222 e ASTM D3967
- Desenvolvido inicialmente para Concreto, é aplicado em materiais frágeis
- Estado de Tensão é Complexo: análises pelo Método dos Elementos Finitos
- O ensaio, proposto em 1943 pelo Engenheiro e Professor Fernando Lobo Carneiro, ficou mundialmente conhecido como “Brazilian Test”



➤ *Resistência à tração por compressão diametral:*

$$\sigma_{t,D} = \frac{2P}{\pi dL}$$

Resistência à Tração por Compressão Diametral

- Problema: Forma de transmitir o carregamento ao corpo de prova
- Tensões de contato altas: dano por esmagamento, induzindo a ruptura
- Tiras intermediárias de seção retangular: erro máximo de 2% para $2\theta < 15^\circ$
- Corpo de prova aplainado (*flattened Brazilian disc*): segundo Wang et al, garante início da trinca no centro para $2\alpha = 20^\circ$
- Foram deduzidas expressões para E e K_{Ic}

