

VISCOSIDADE

PCC-5726

DEFORMAÇÃO VISCOSA

- Os líquidos sempre apresentam mecanismo de deformação dependente do tempo (**deformação viscosa**)
- Os sólidos amorfos ou parcialmente amorfos apresentam deformação viscosa com mais intensidade que os materiais cristalinos
 - Dependem do nível de tensão.
- Um corpo não consegue suportar uma tensão de cisalhamento atuante

DEFORMAÇÃO VISCOSA

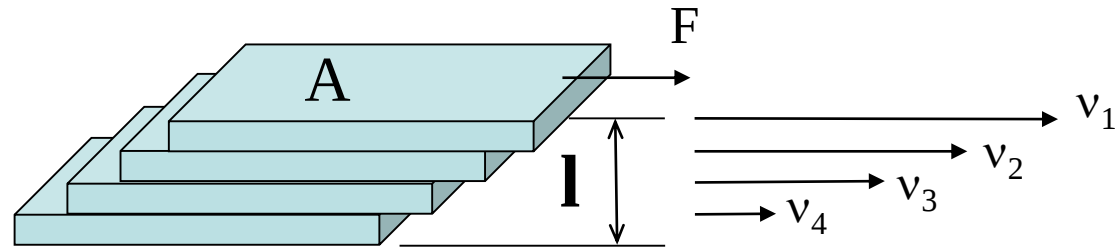
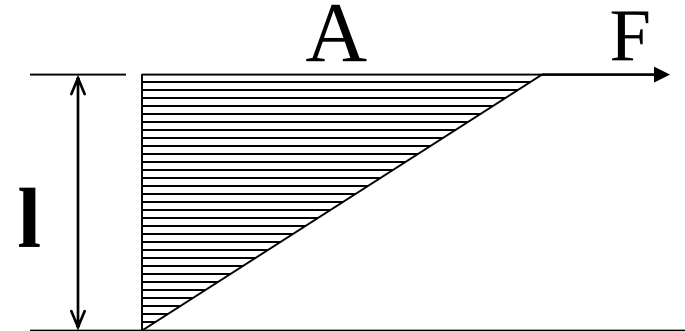
- Viscosidade: propriedade que mede a resistência ao escoamento
(propriedade típica de um material viscoso)
- Resistência que um líquido apresenta durante o fluxo
(Atrito interno)

Fluído Newtoniano

$$\tau = F_s/A$$

$$\tau = \eta \frac{dv}{dl}$$

$$\eta = \tau / \left(\frac{dv}{dl} \right)$$



τ = tensão de cisalhamento

v = velocidade

η = viscosidade (Pa.s) (N.s/m²)

Fluído Newtoniano

$$\tau = \eta \frac{dv}{dl}$$

$$dv = \frac{dx}{dt}$$

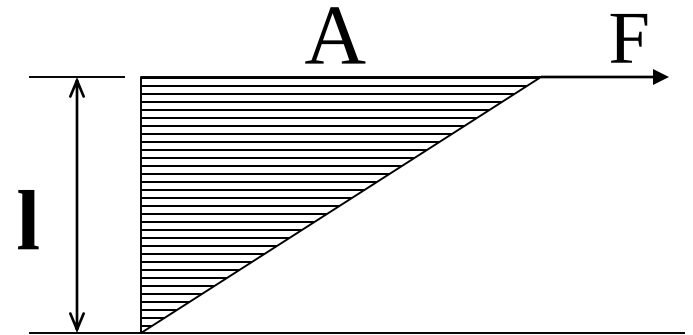
$$\frac{dv}{dl} = \frac{dx/dt}{dl}$$

$$\frac{dv}{dl} = \frac{d\gamma}{dt}$$

$$d\gamma = \frac{dx}{dl}$$

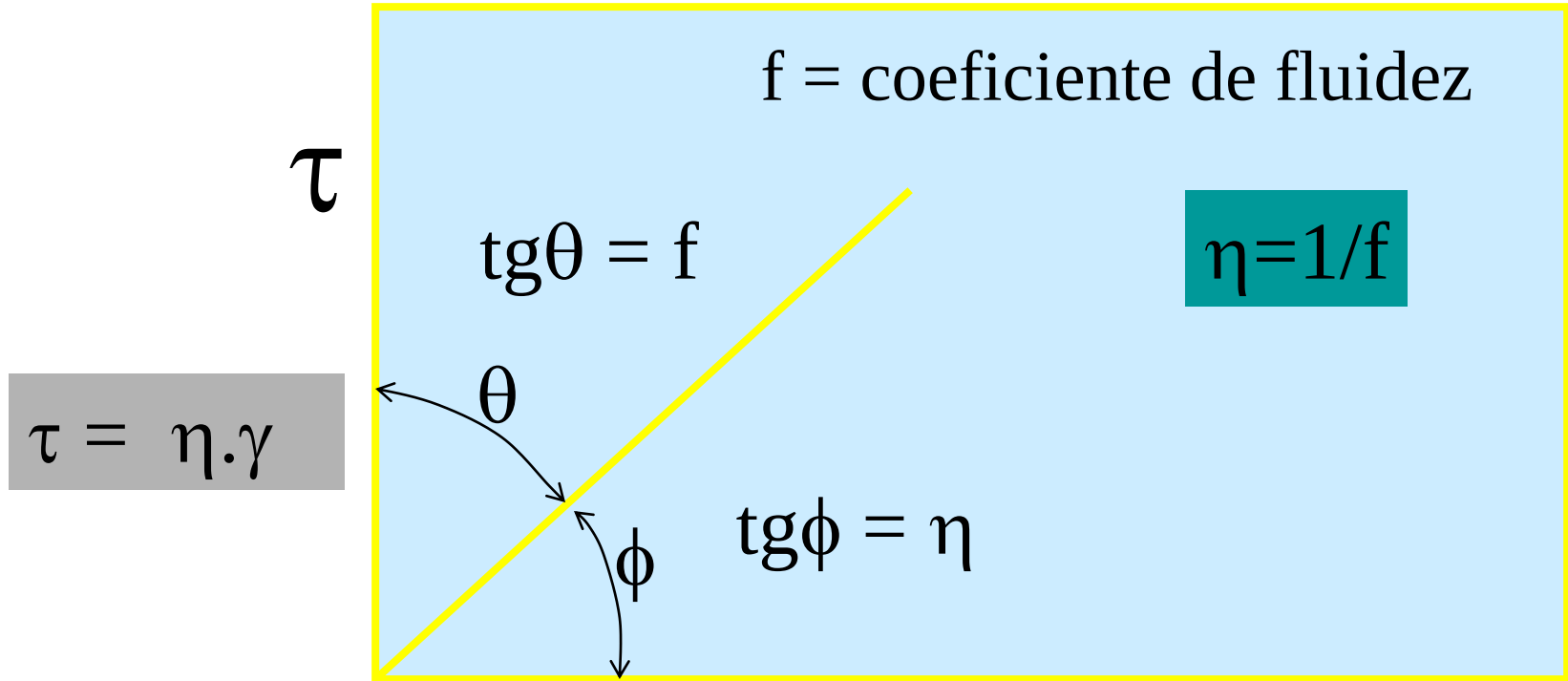
$$\tau = \eta \frac{d\gamma}{dt} = \eta \cdot \gamma$$

$$\tau = F_s.A$$



γ = taxa de variação de deformação por cortante no tempo

Fluído Newtoniano



τ = tensão de cisalhamento

η = viscosidade (Pa.s) (N.s/m²)

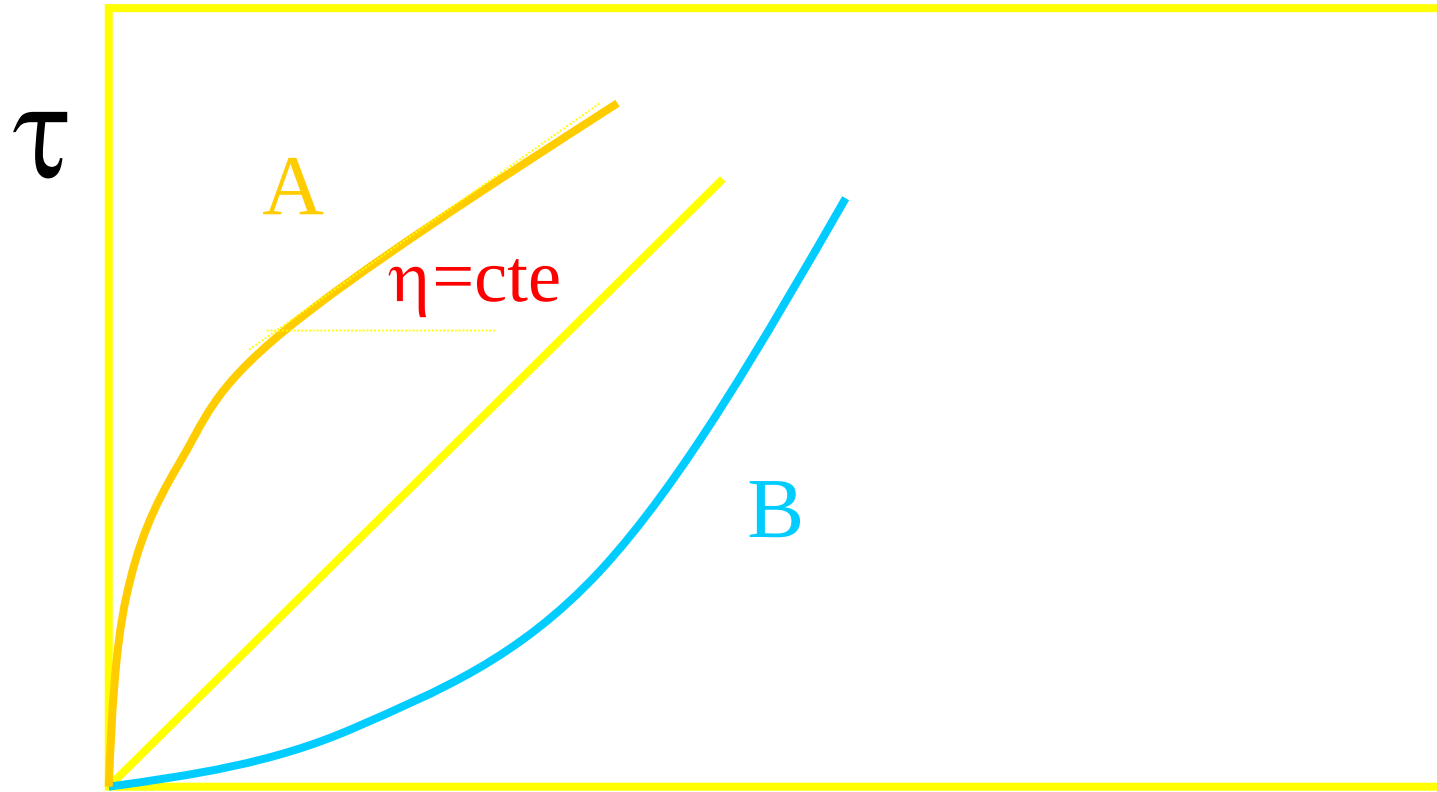
η Viscosidade é o “coeficiente de rigidez” do fluido ao movimento

γ = taxa de variação de deformação cortante no tempo

Materiais não Newtonianos

- Suspensões concentradas, polímeros e materiais moleculares complexos apresentam comportamento Não-Newtoniano.
- Variações da viscosidade podem ocorrer com a taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) ou com a intensidade da tensão de cisalhamento (τ) e com o tempo (t) além da temperatura (T).

Materiais não Newtonianos

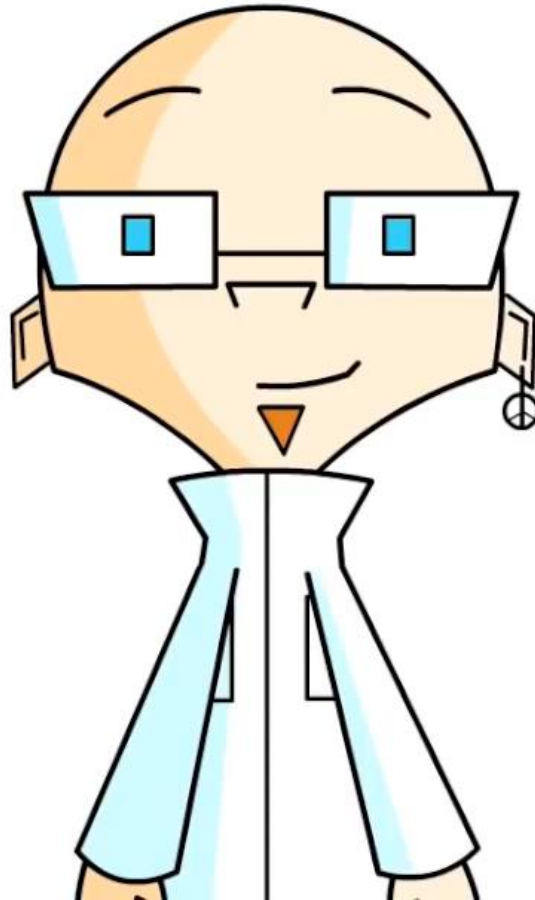


A = pseudo-plástico - tintas

B = dilatante - algumas argilas e areias

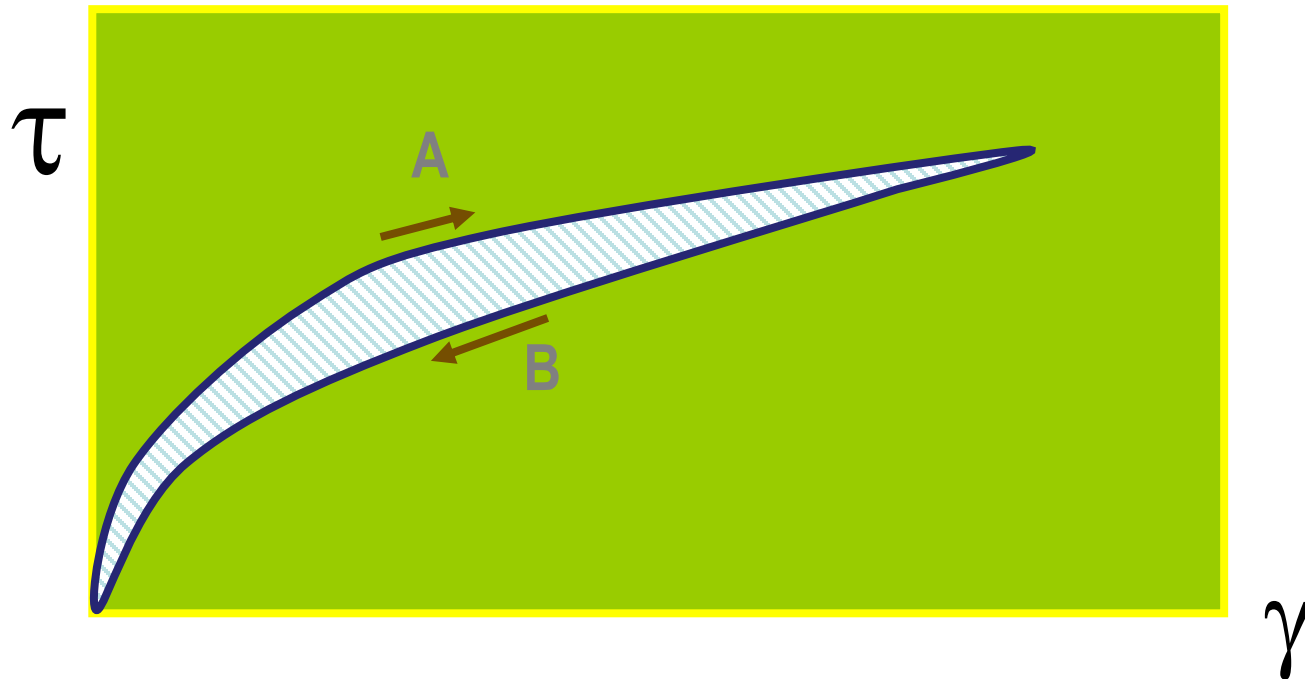
γ

Fluidos Newtonianos e Não-Newtonianos



Materiais não Newtonianos

Fenômenos dependentes do tempo



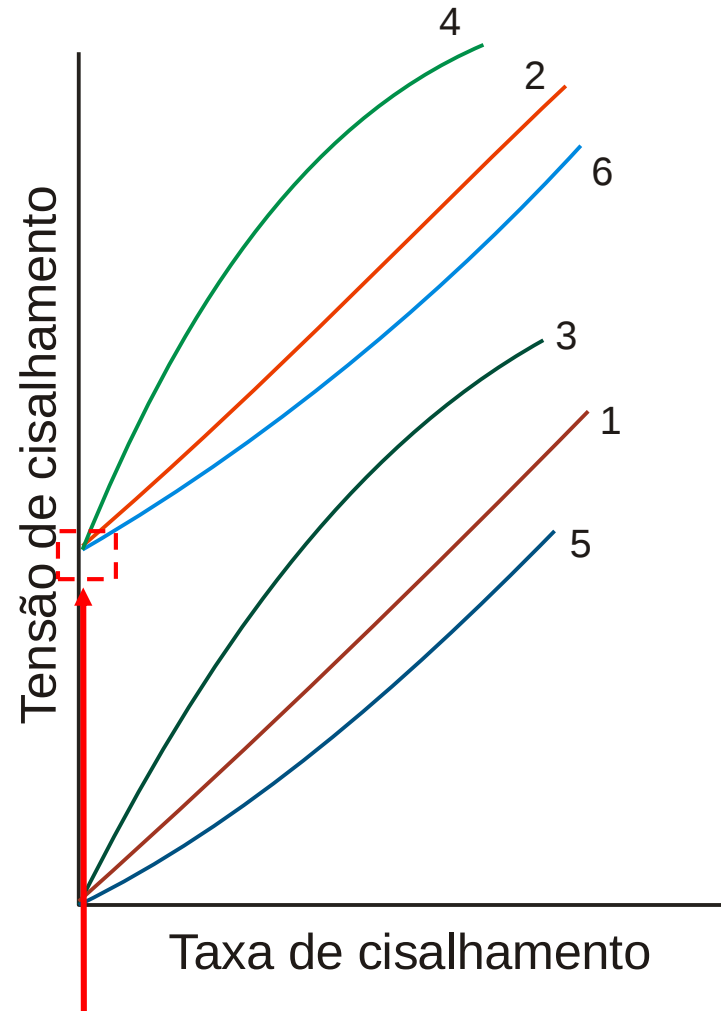
A = quebra rápida de floculações na mistura de uma suspensão

B = reconstrução lenta de floculações na mistura de uma suspensão

Comportamentos reológicos básicos

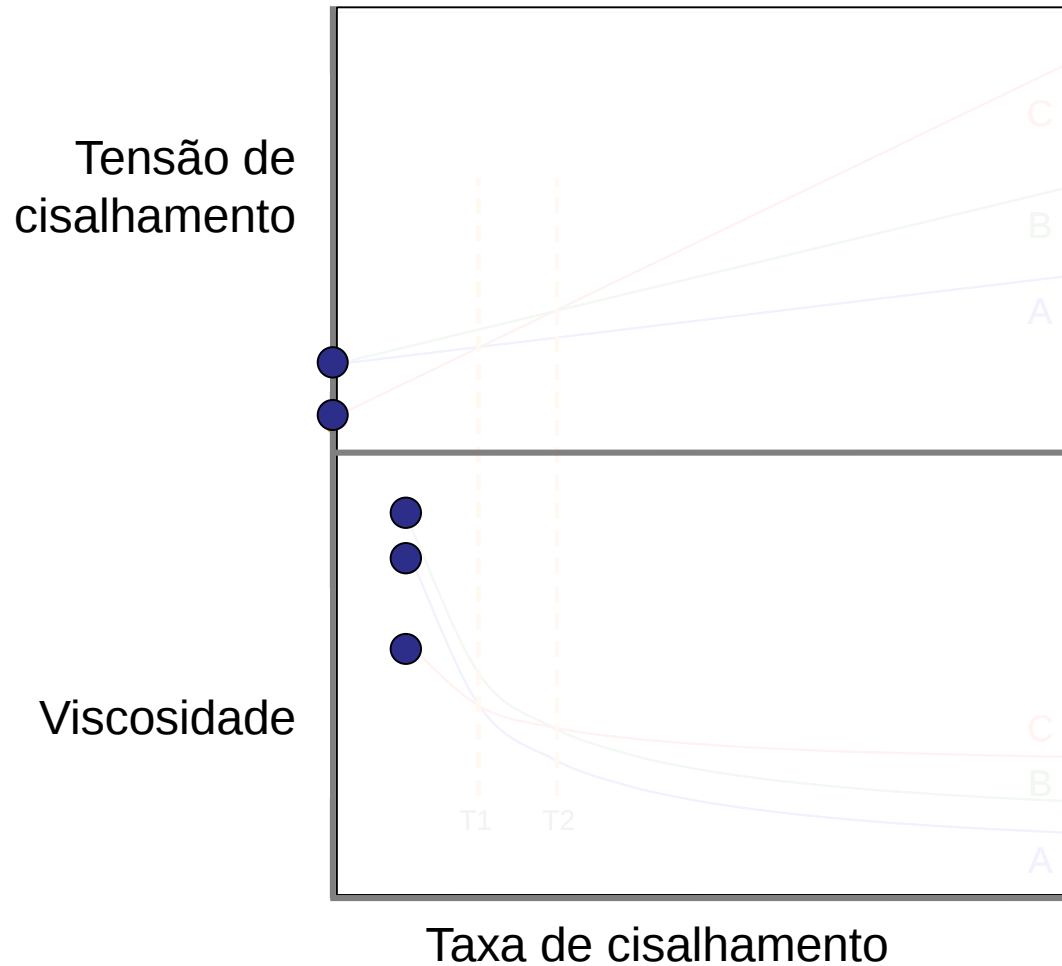
Possibilidades reológicas são ilimitadas

- (1) newtoniano
- (2) de Bingham
- (3) pseudoplástico
- (4) pseudoplástico com tensão de escoamento
- (5) dilatante
- (6) dilatante com tensão de escoamento

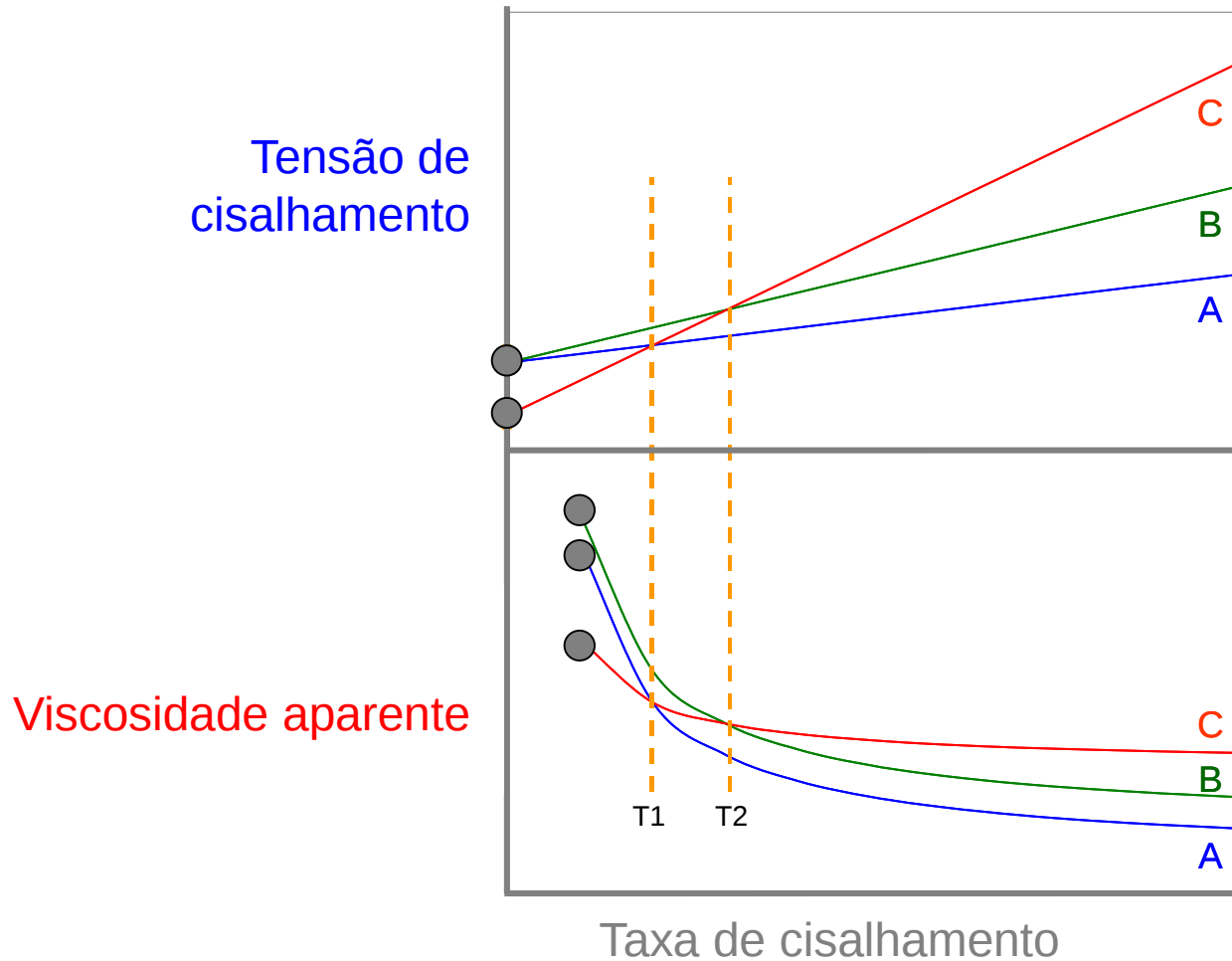


**Tensão de
escoamento**

Comportamentos reológicos básicos

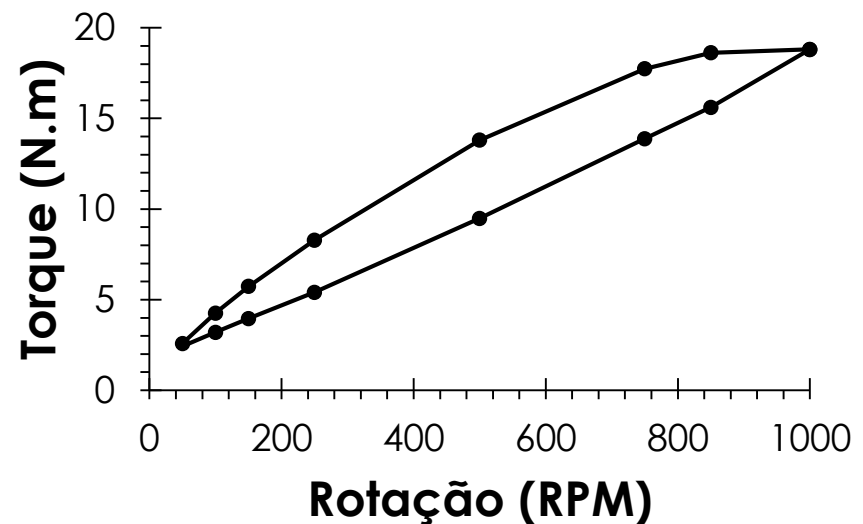
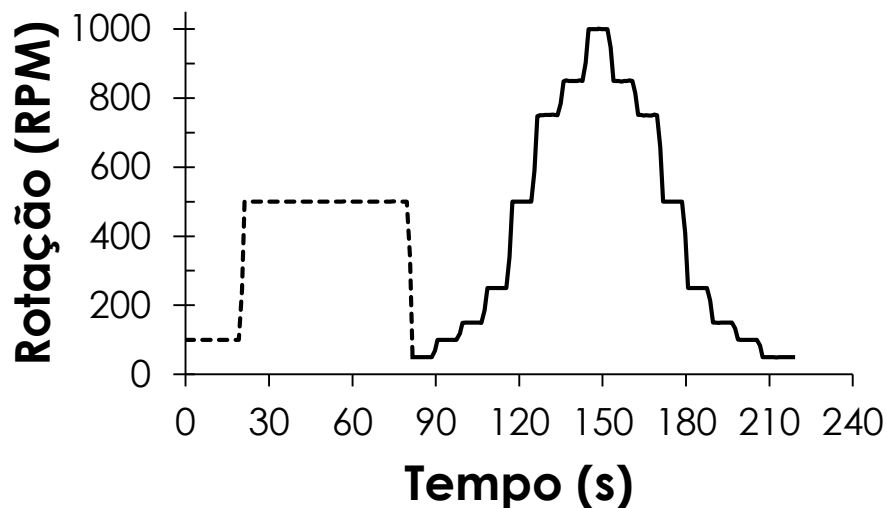


Comportamentos reológicos básicos



Reometria rotacional

- Estudo utiliza cerca de 18L de concreto
- Impõe-se ciclos de cisalhamento
- Etapa de pre-homogeneização
- Variação de velocidade 50 – 1000 – 50 RPM
- Patamares de velocidade (9s)
- Obtenção do Torque (N.m) em função da rotação

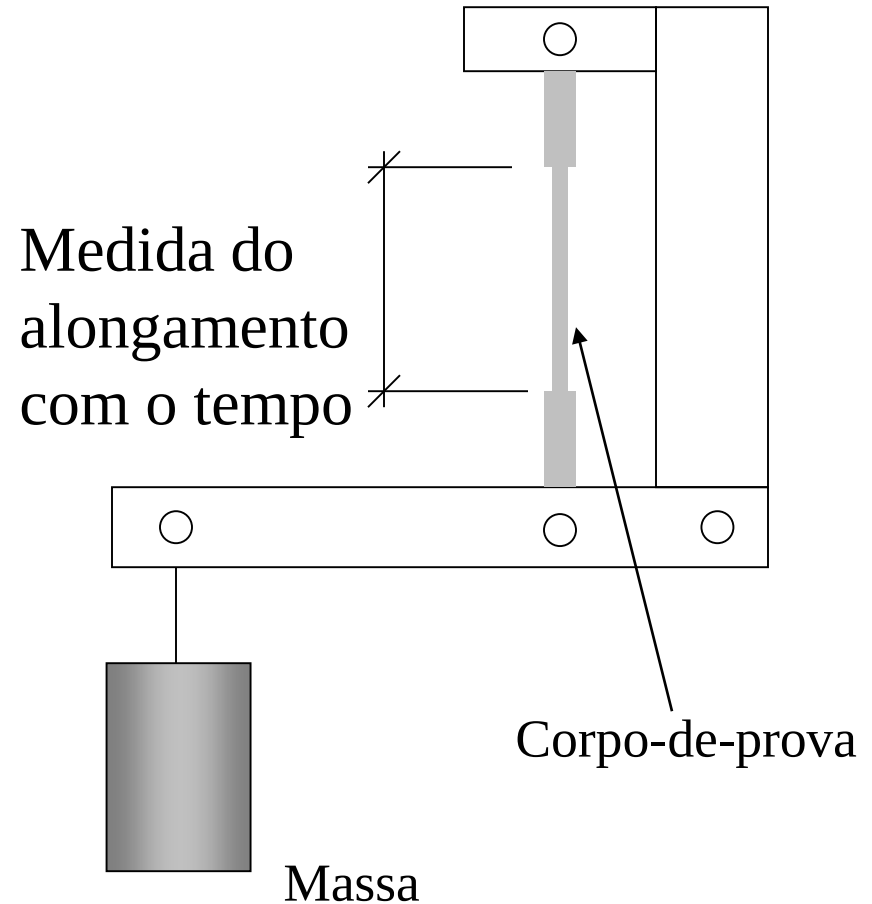


Deformação lenta

- Deformação em função do tempo para uma carga (ou tensão) constante: **FLUÊNCIA**
- OCORRÊNCIA: Observada em metais e materiais amorfos como vidros e polímeros. Cristais iônicos e covalentes apresentam menor nível de deformação viscosa: quase tudo.

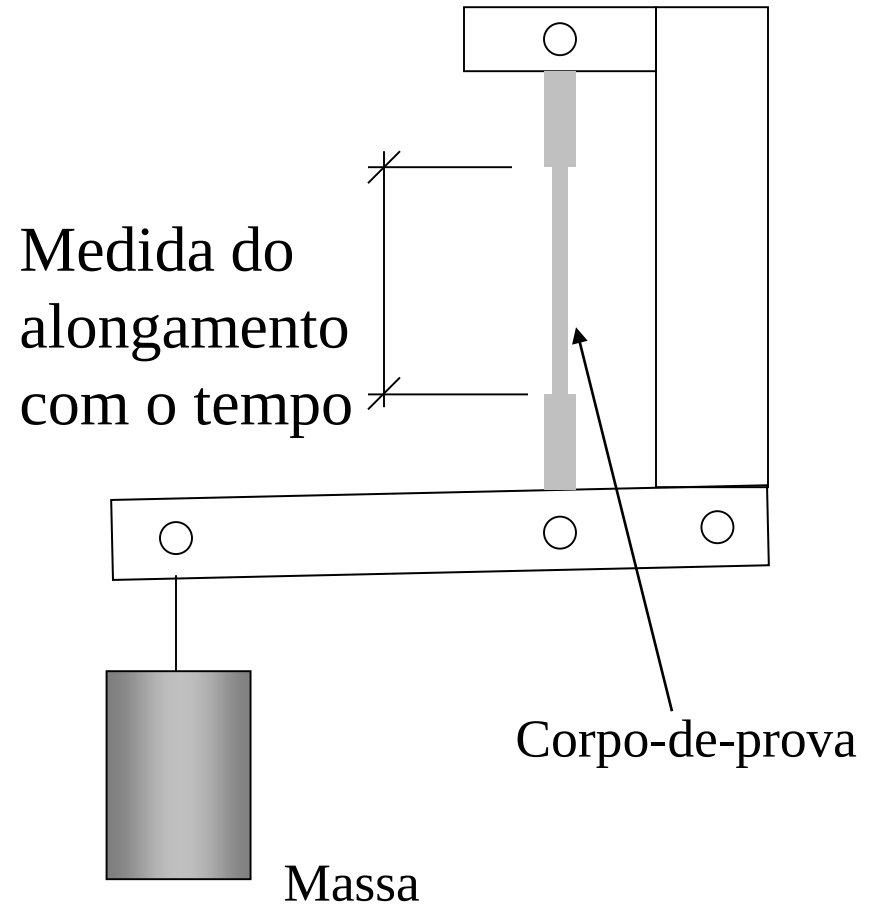
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



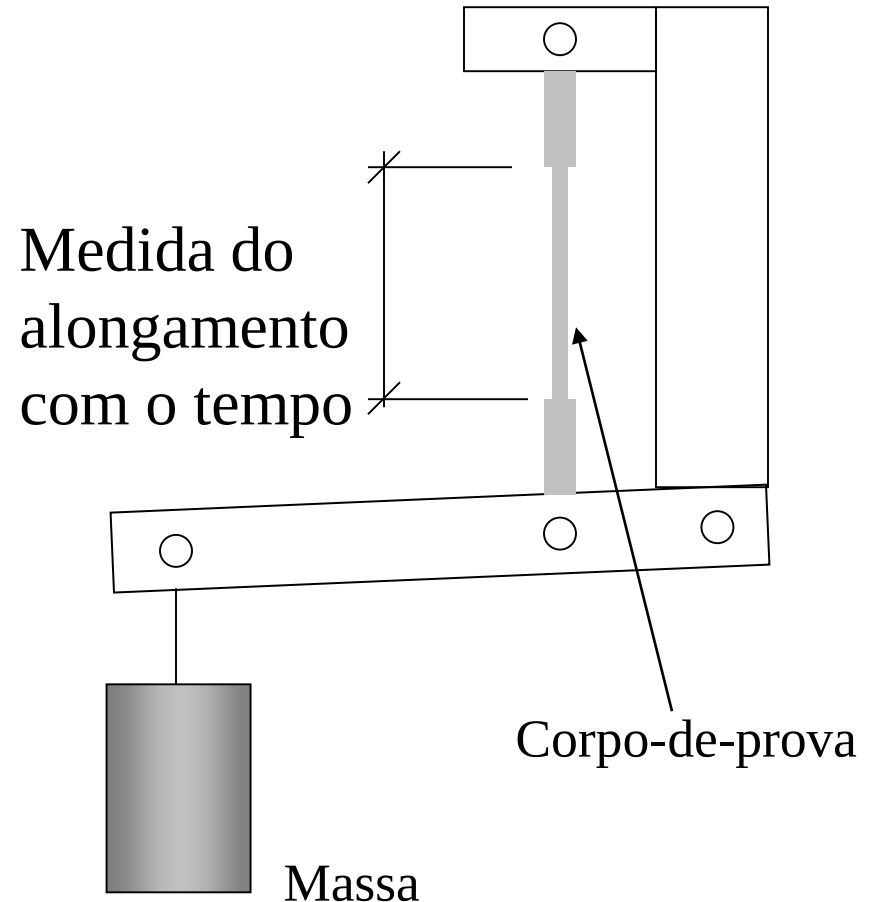
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



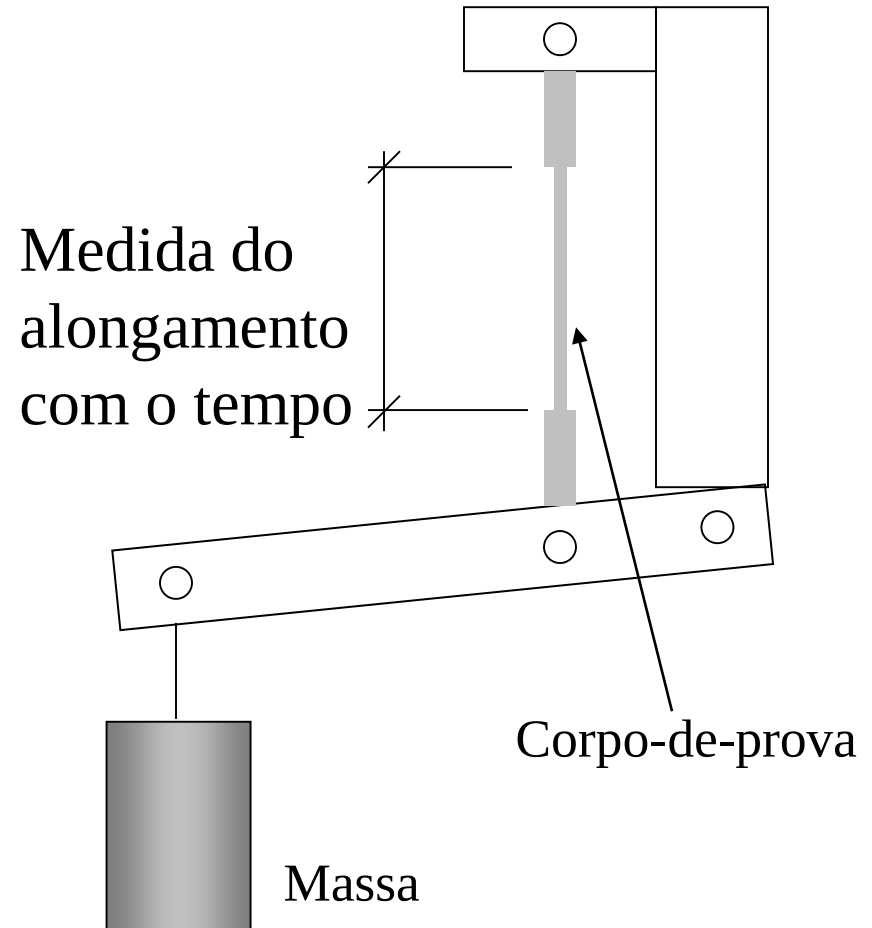
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



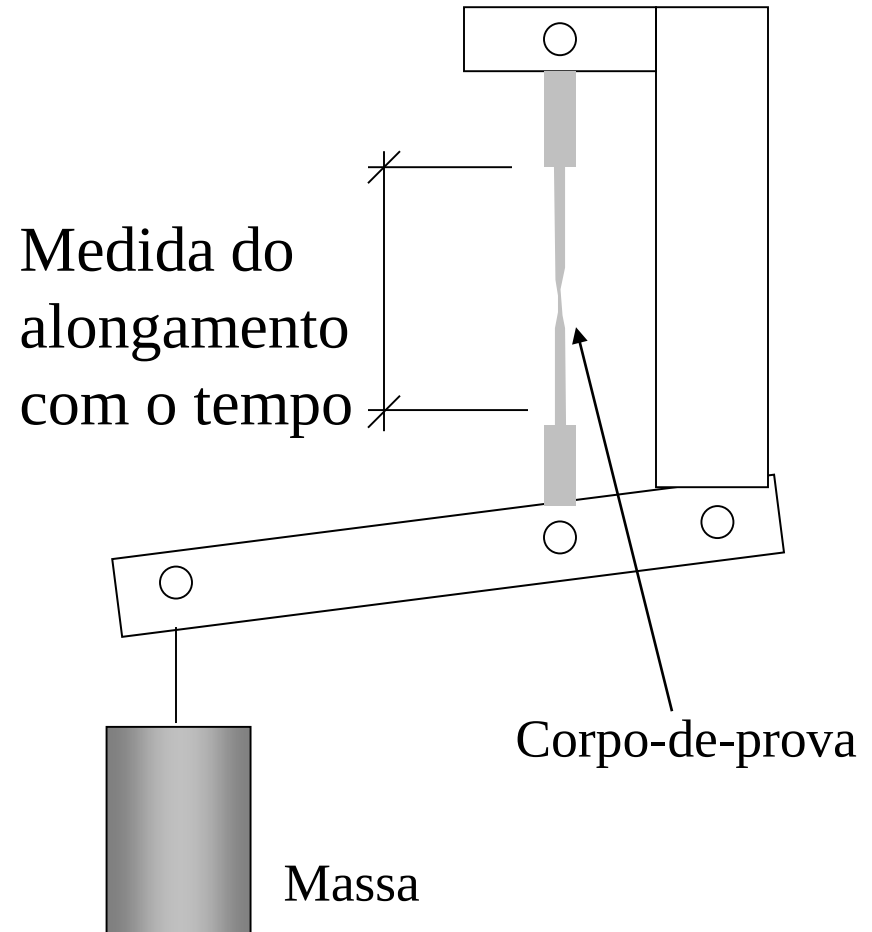
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



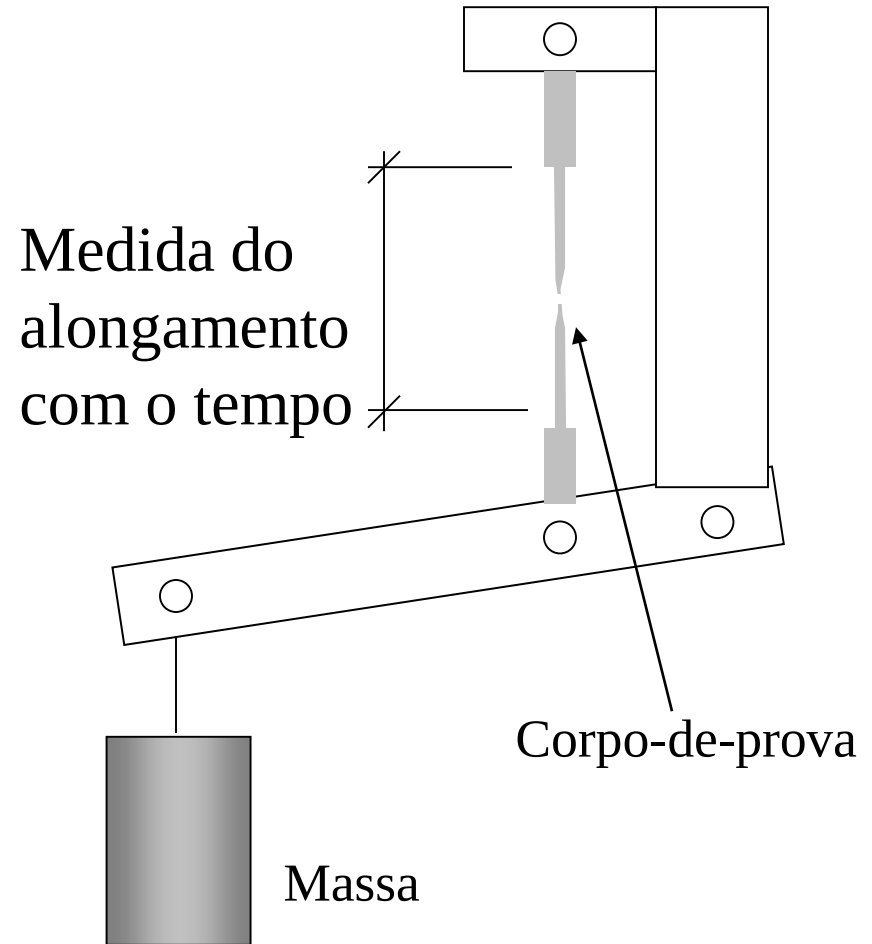
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



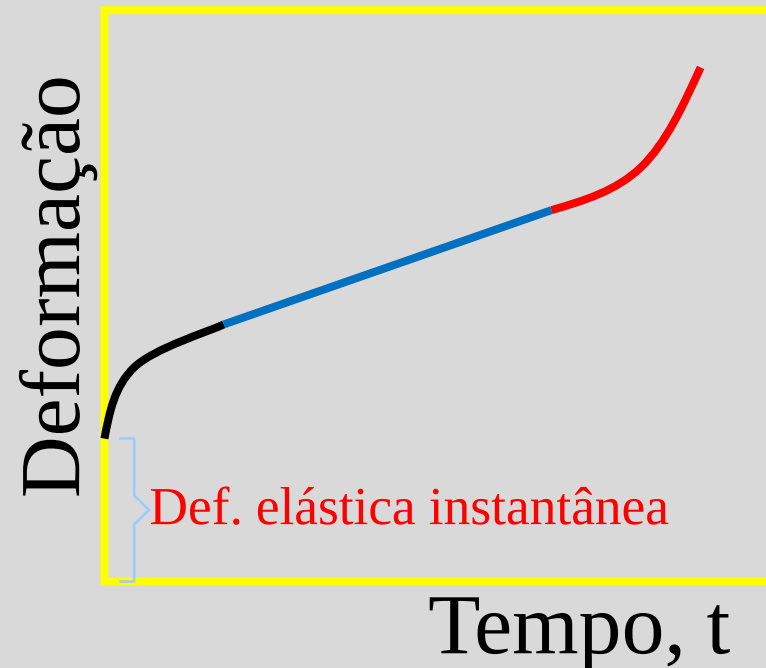
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



Fluência

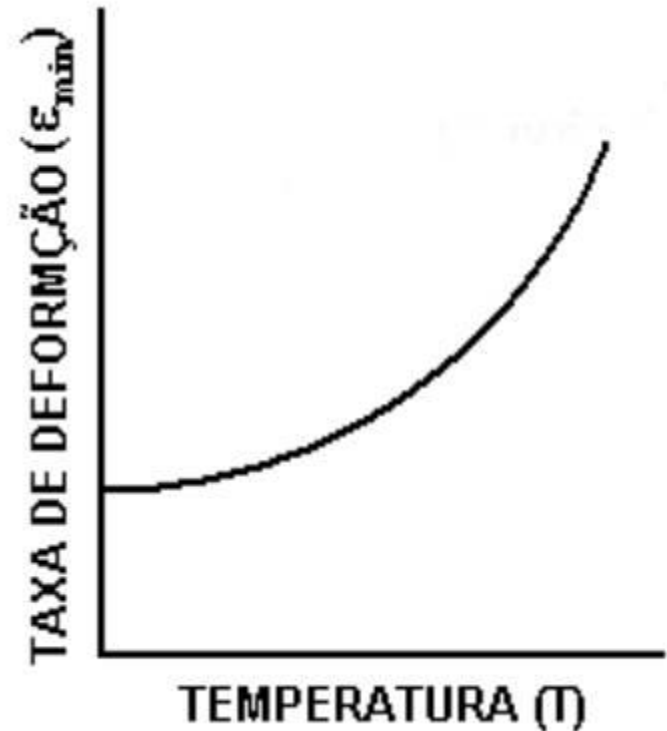
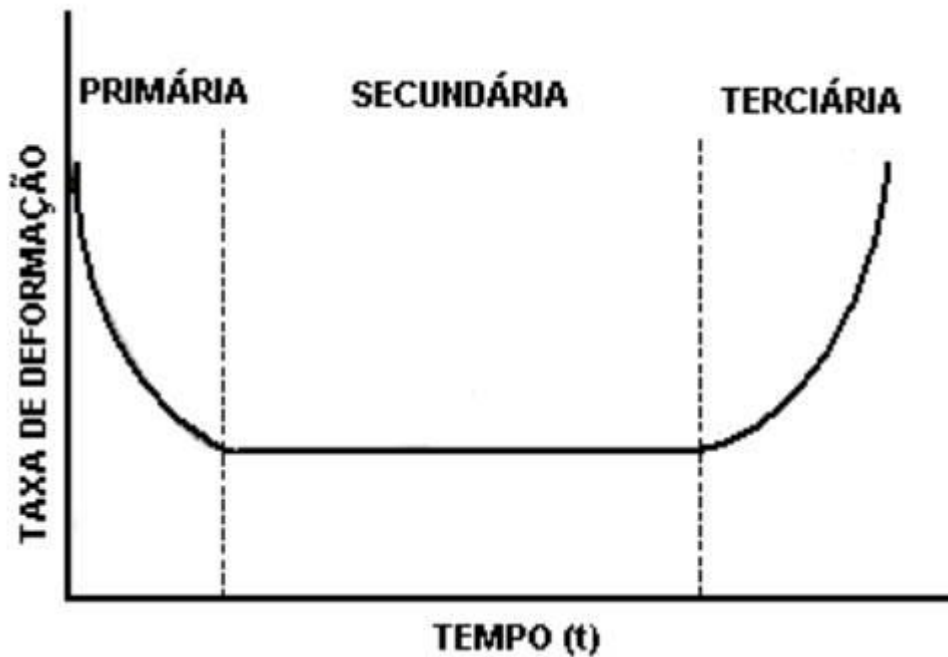
- ☀ Primário ou transiente
 - ☀ diminui devido ao endurecimento
 - ☀ similar à elasticidade retardada e recuperável
- Secundário ou constante
 - equilíbrio entre o endurecimento e a relaxação
 - viscosa ou plástica
- Terciário
 - após a estricção



Taxa de
deformação

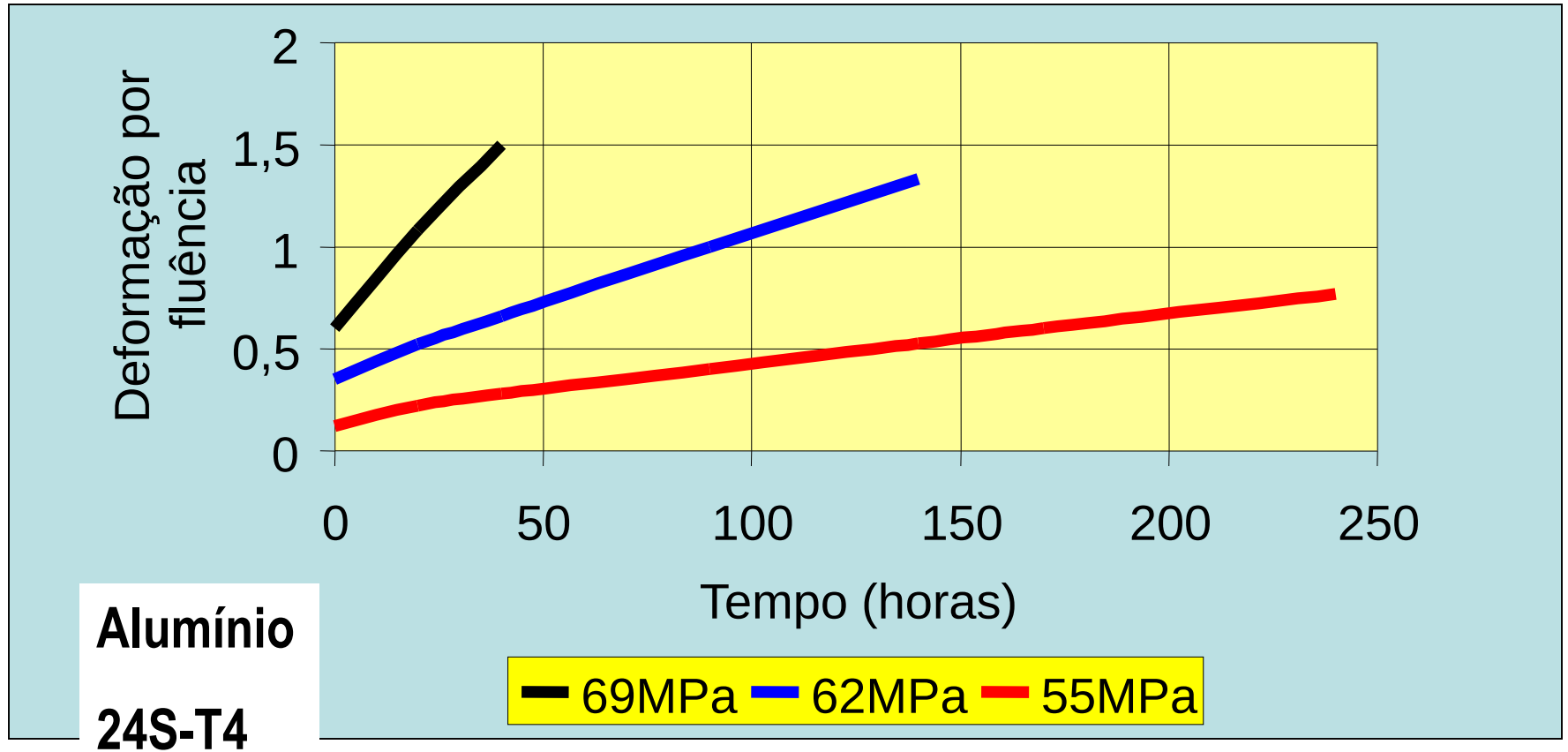
X

Tempo e
temperatura



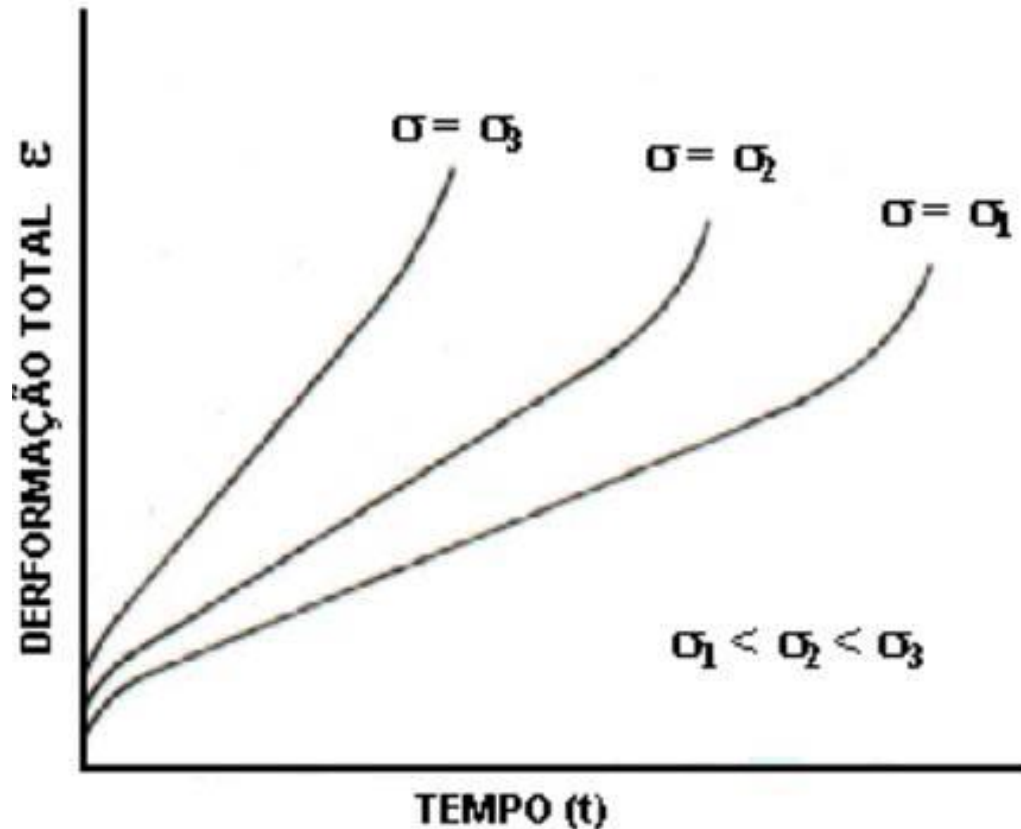
Fluência

- ☀ Efeito de σ/σ_0 (similar à T)
 - ✳ Quanto maior σ/σ_0 maior é a fluência
(Análise sobre fluência secundária)

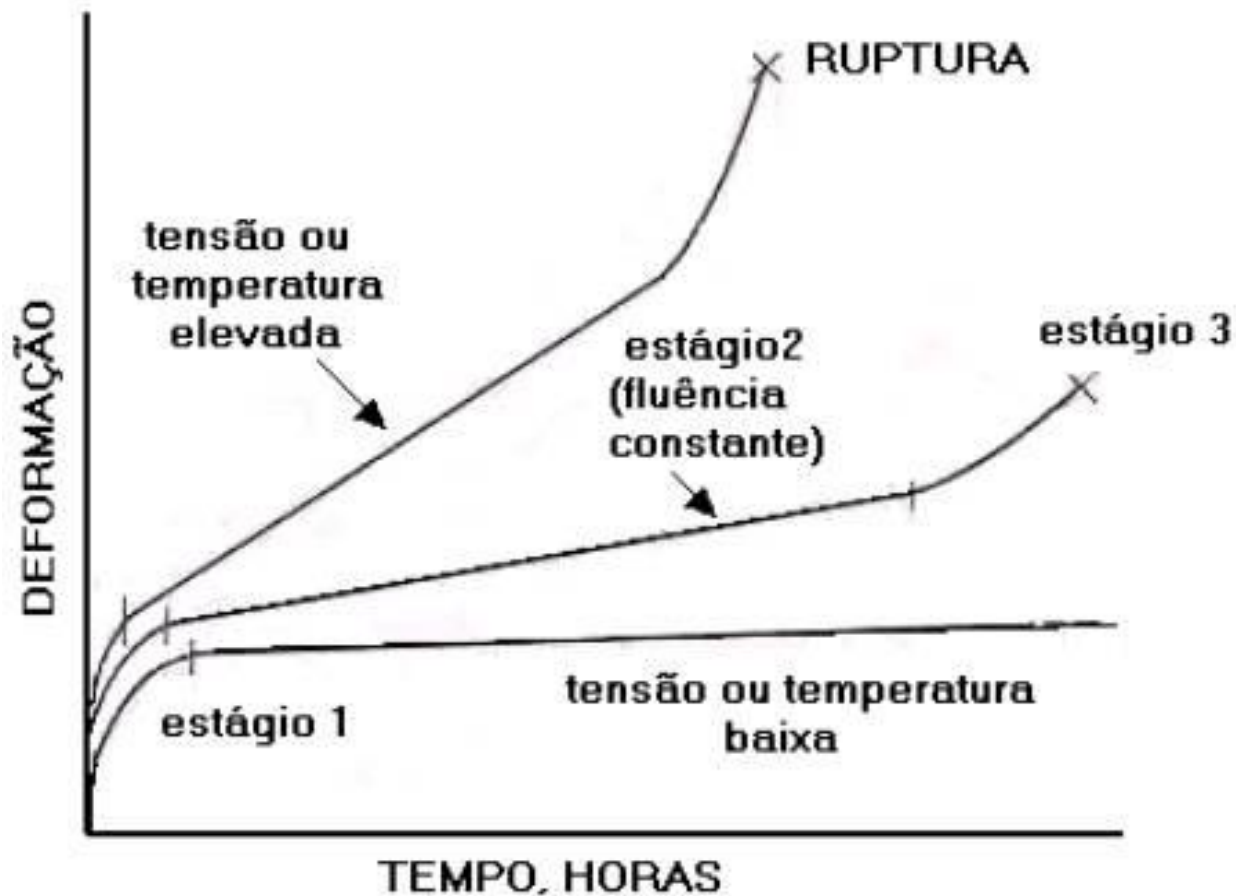


Fluência

- ☀ Efeito de σ/σ_0 (similar à T)
 - ✳ Quanto maior σ/σ_0 maior é a fluência (Análise sobre fluência total)



FLUÊNCIA EM METAIS



Comportamento viscoelástico em polímeros

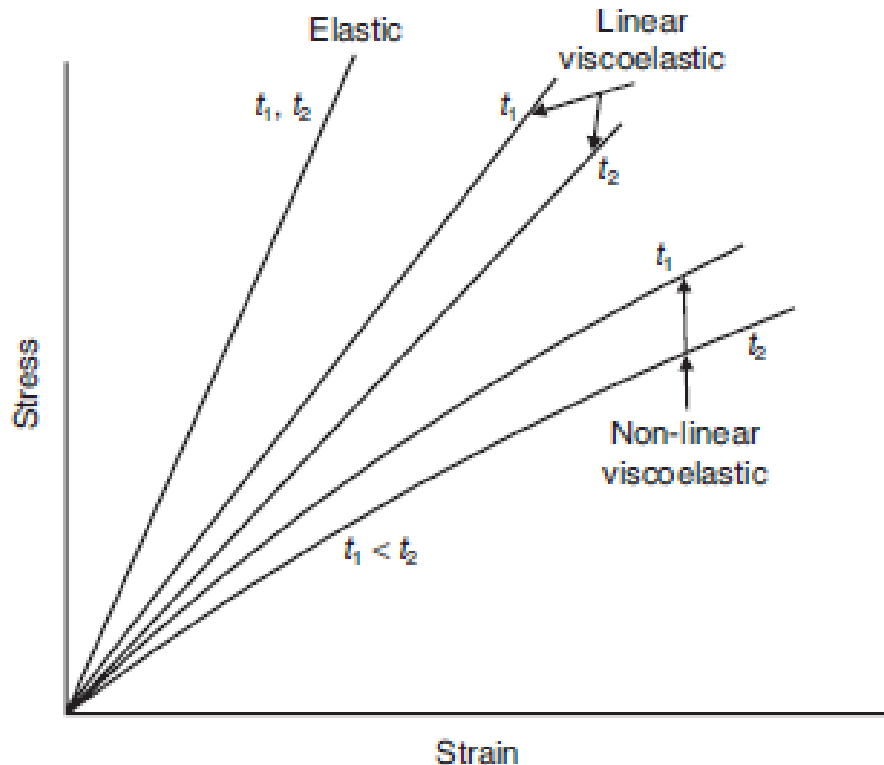


Fig. 38.3 Stress-strain behaviour of elastic and viscoelastic materials at two values of time.

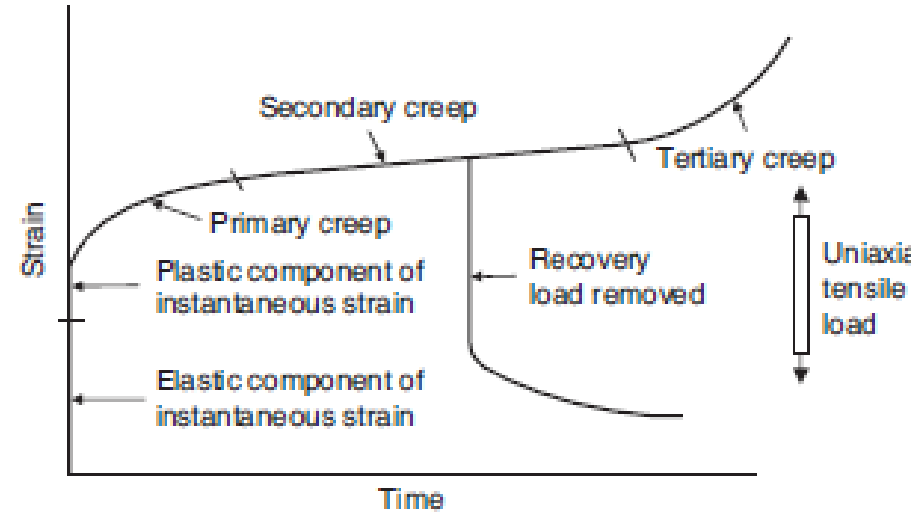


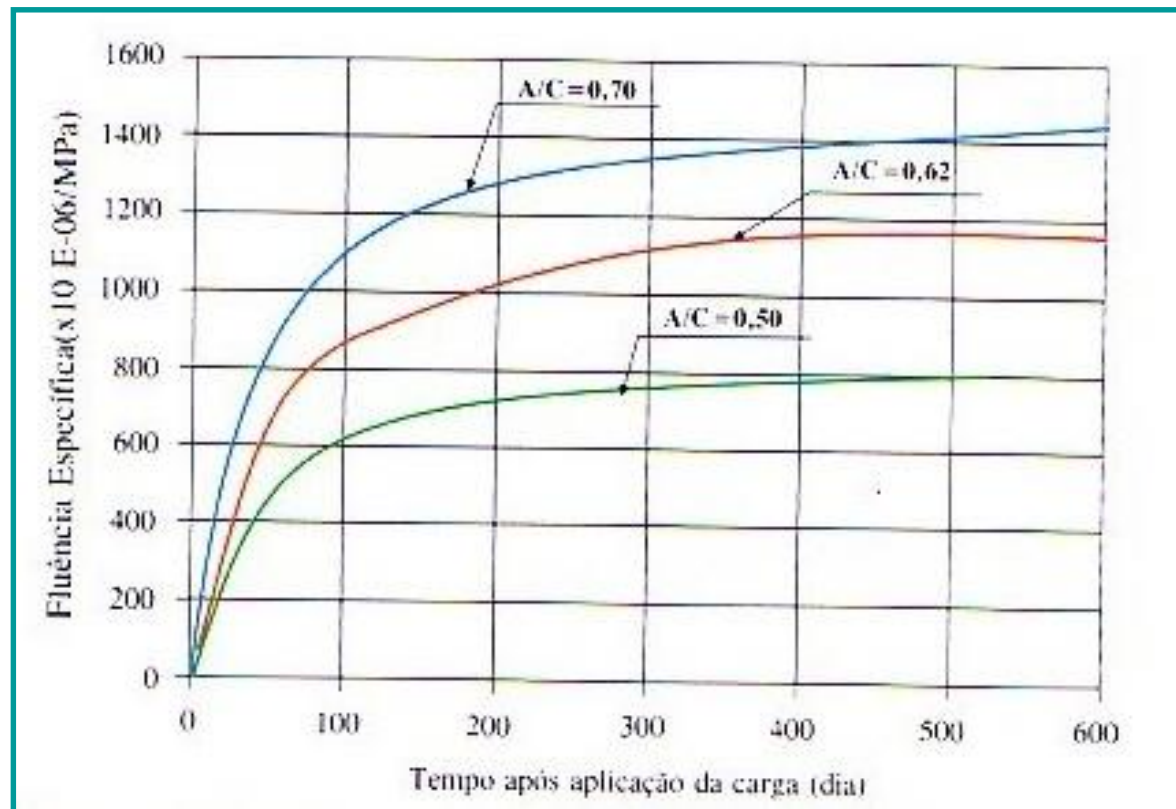
Fig. 38.2 Total creep curve for a polymer under a uniaxial tensile stress.

Como ocorre a
fluência no concreto?

Pode haver ruptura
por fluência no
concreto?

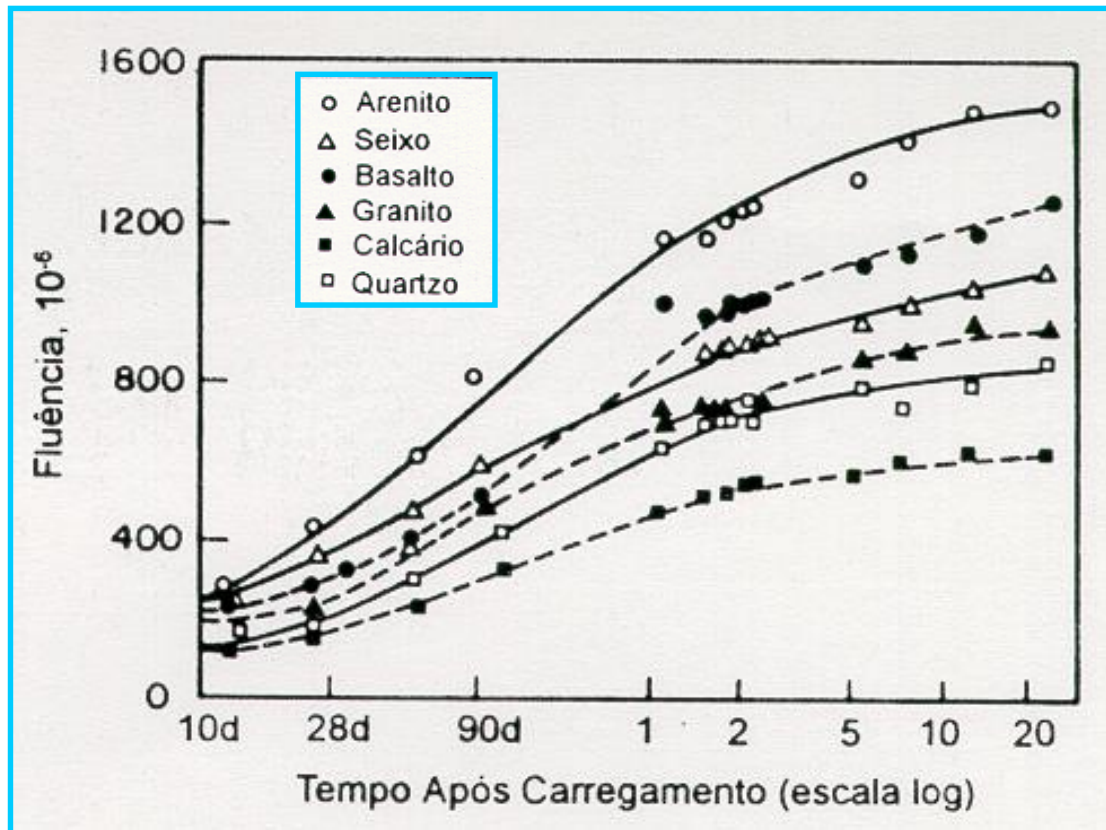
Deformação por Fluência

- Reduzir a quantidade de água
- Reduzir o volume de pasta e a relação água/cimento



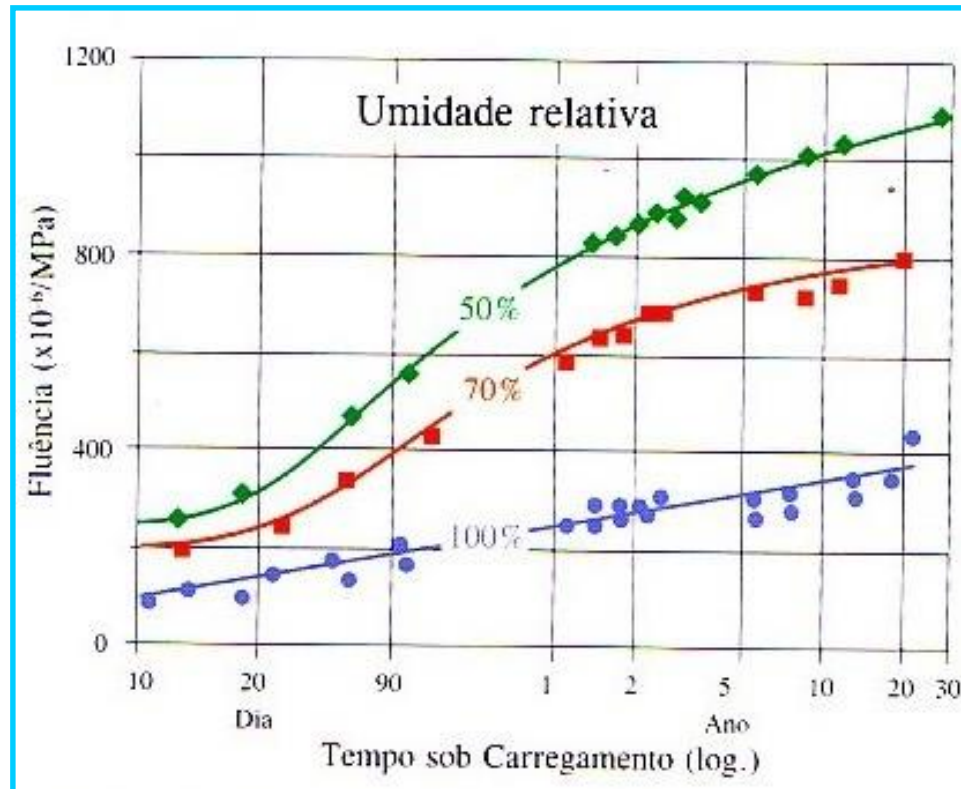
Deformação por Fluência

- Aumentar o volume de agregado e selecionando o mais rígido



Deformação por Fluência

- Considerar adequadamente as condições ambientais locais



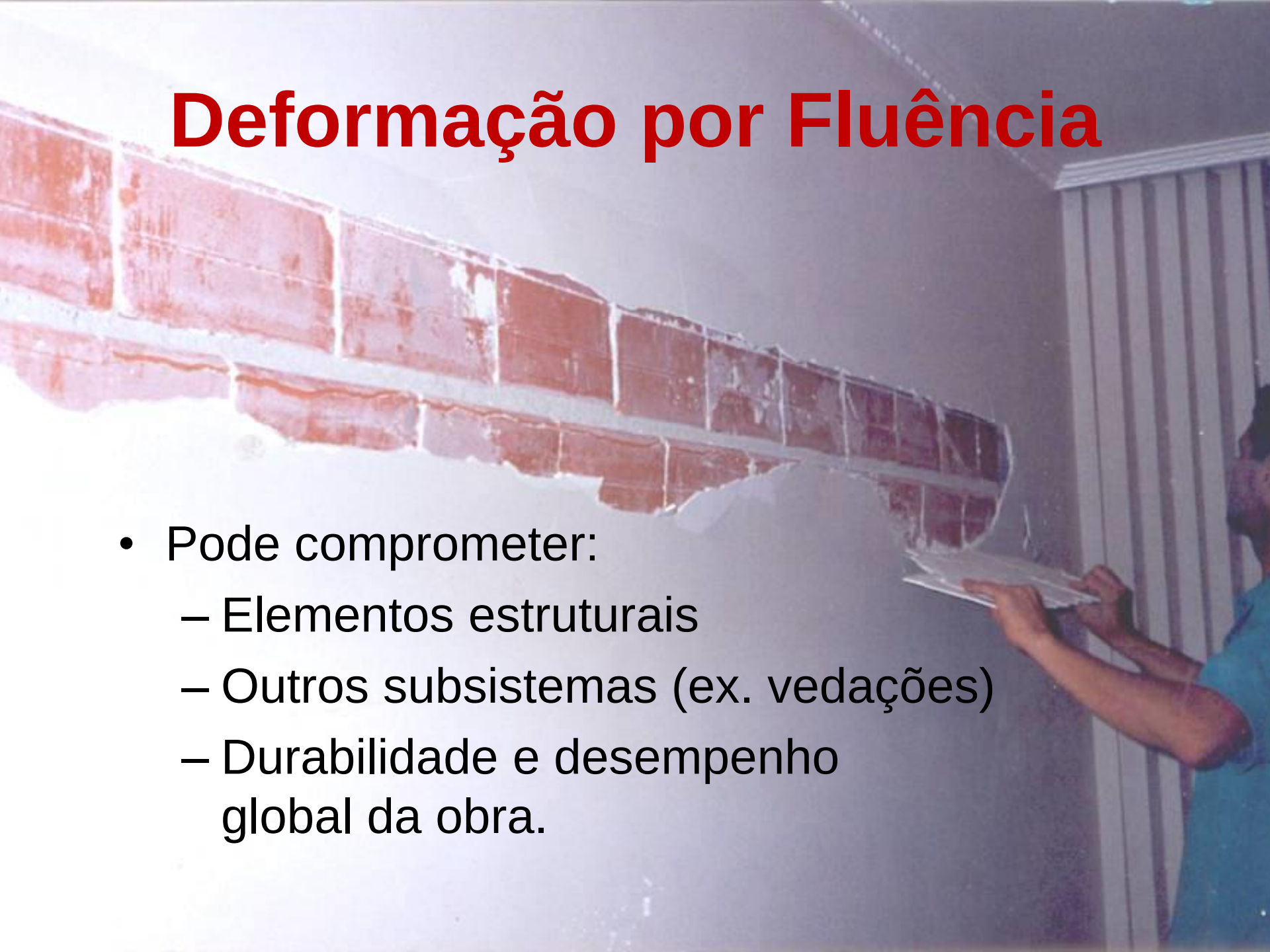
Modelo de previsão (NBR 6118)

- Considerar a relação Área/Volume da peça

Umidade ambiente (%)		40%		55%		75%		90%	
Espessura Equivalente $2A_v/u$ (cm)		20	60	20	60	20	60	20	60
$\phi(t_\infty, t_0)$	5	4,4	3,9	3,8	3,3	3,0	2,6	2,3	2,1
	30	3,0	2,9	2,6	2,5	2,0	2,0	1,6	1,6
	60	3,0	2,6	2,2	2,2	1,7	1,8	1,4	1,4

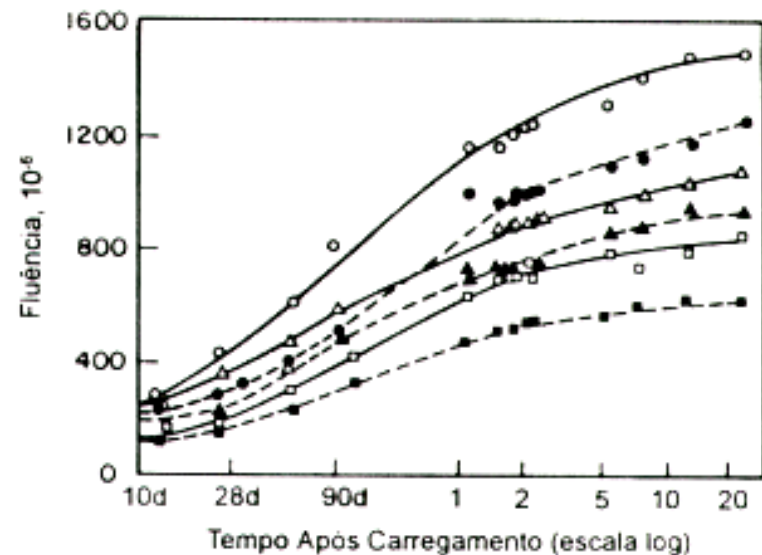
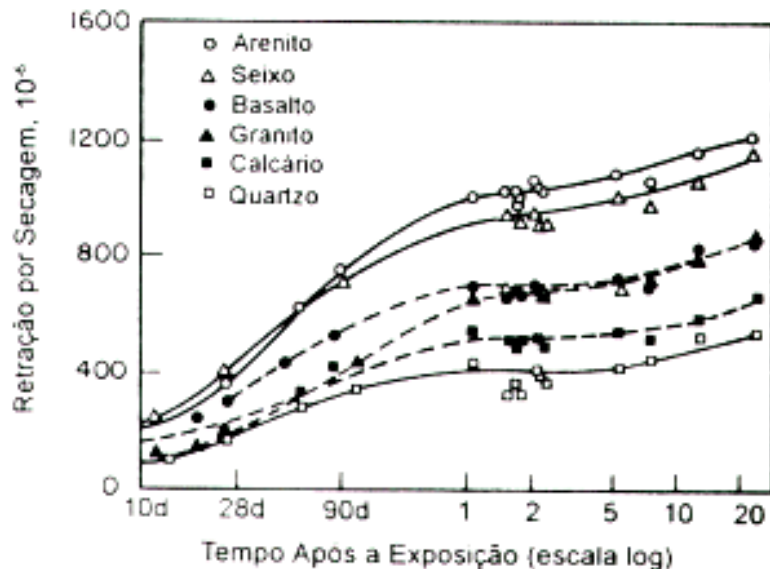
Deformação por Fluência

- Pode comprometer:
 - Elementos estruturais
 - Outros subsistemas (ex. vedações)
 - Durabilidade e desempenho global da obra.



Retração e fluência

- Dependem da movimentação de água no material
- As tensões e deformações dependem do módulo de elasticidade



HÁ FLUÊNCIA EM MADEIRA?

Fluência na madeira

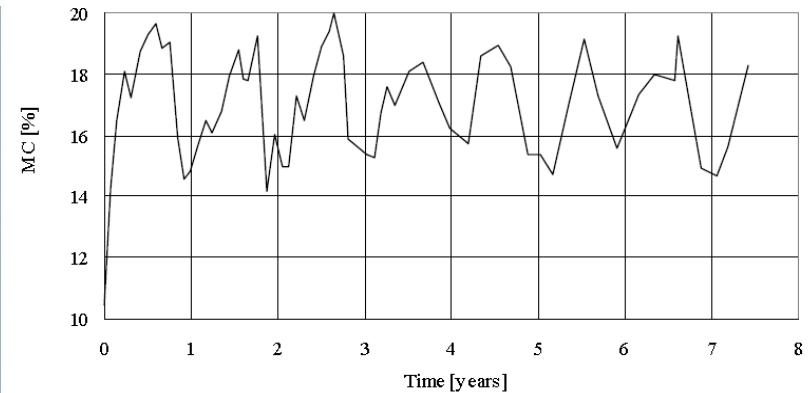
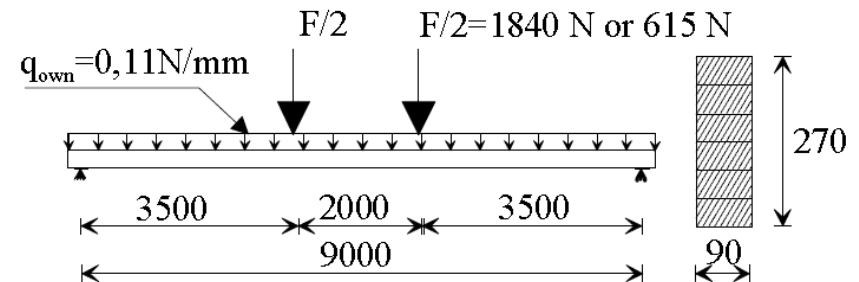


Figure 3. Mean moisture content of 3 end-sealed, untreated 16 to 22 mm thick boards in sheltered environment.



Fluência na madeira

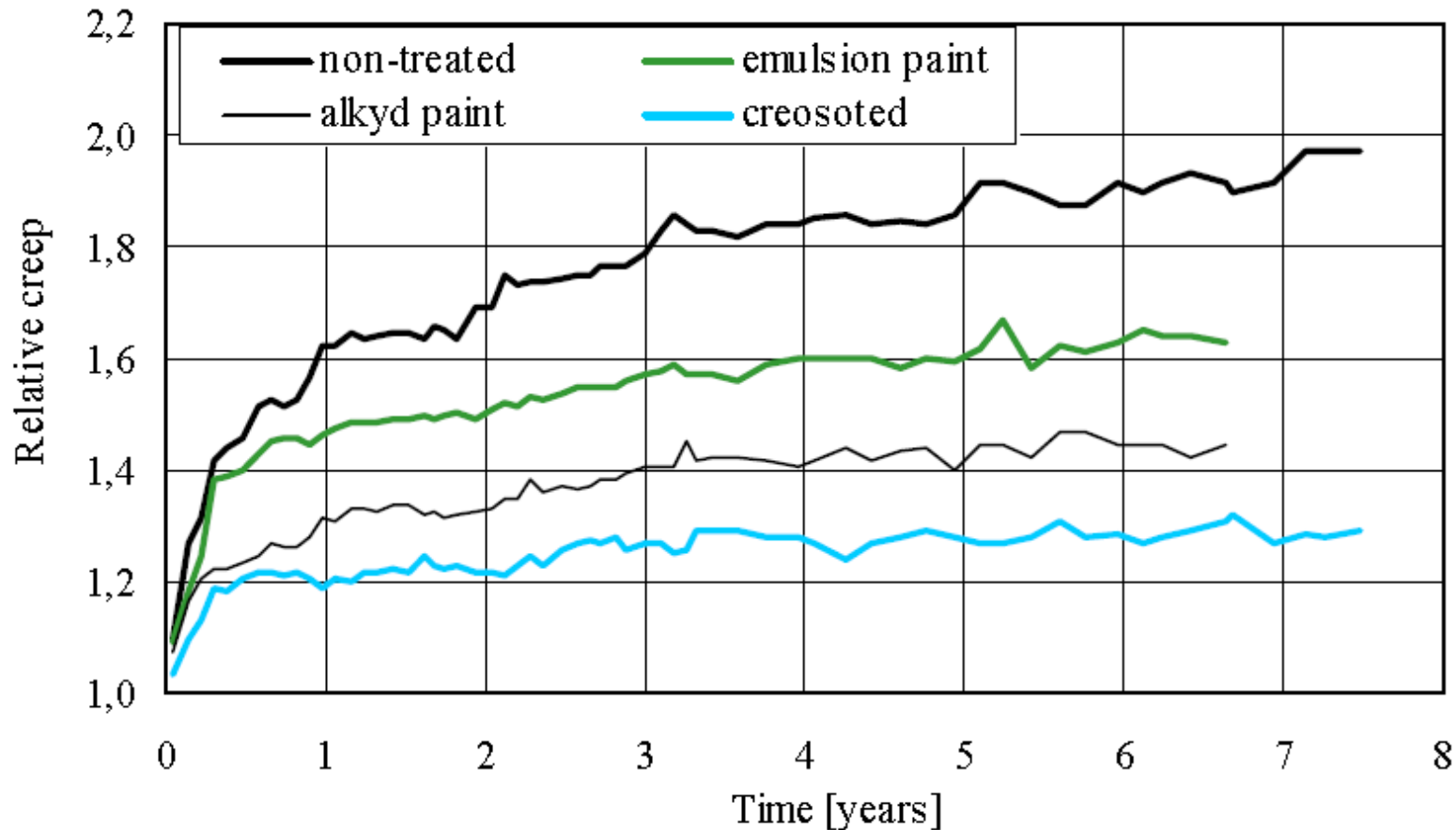
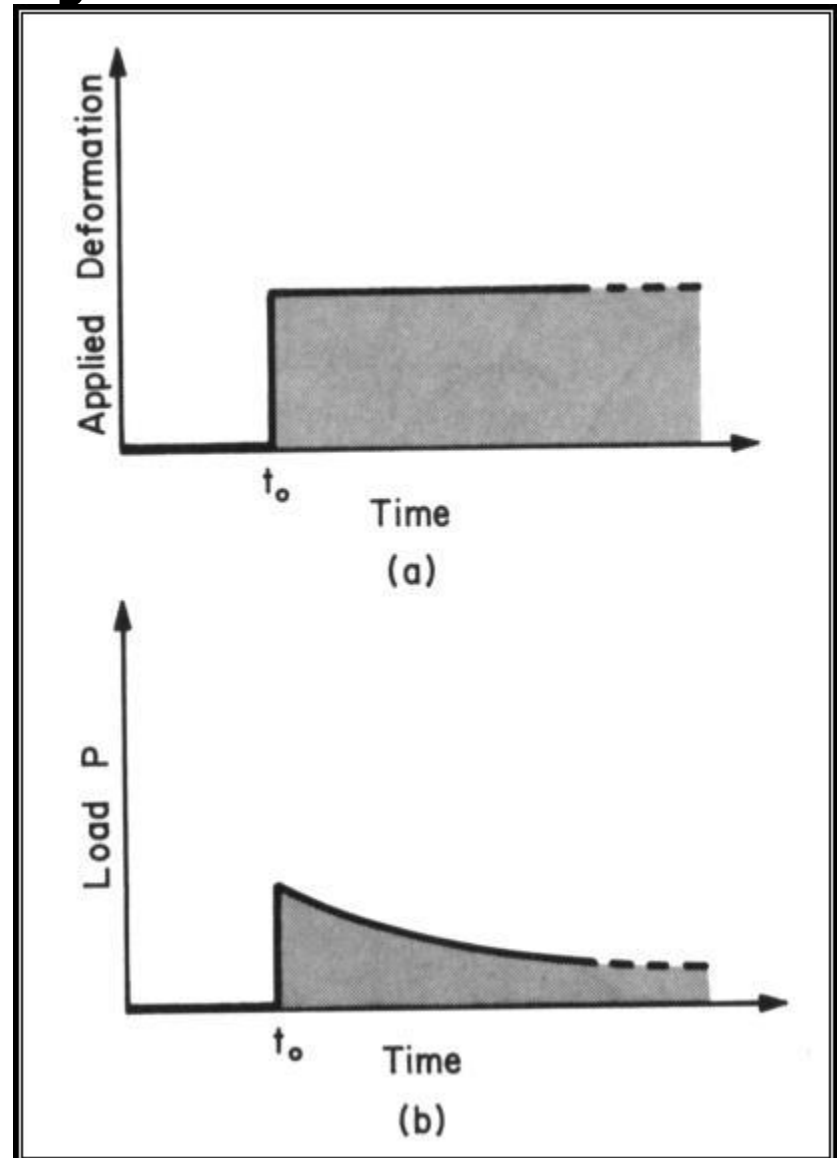


Figure 4. Average relative creep in sheltered environment for different surface coatings and treatments (pine, 7 MPa).

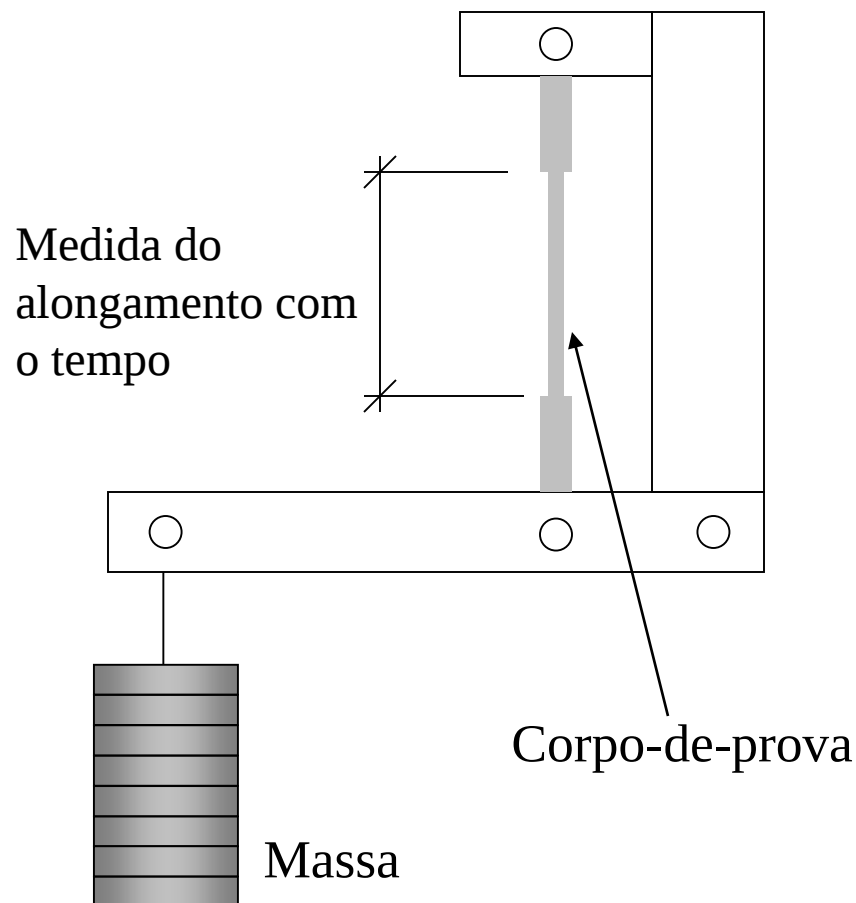
Relaxação

- Perda de tensão ao longo do tempo
- Função do carregamento inicial



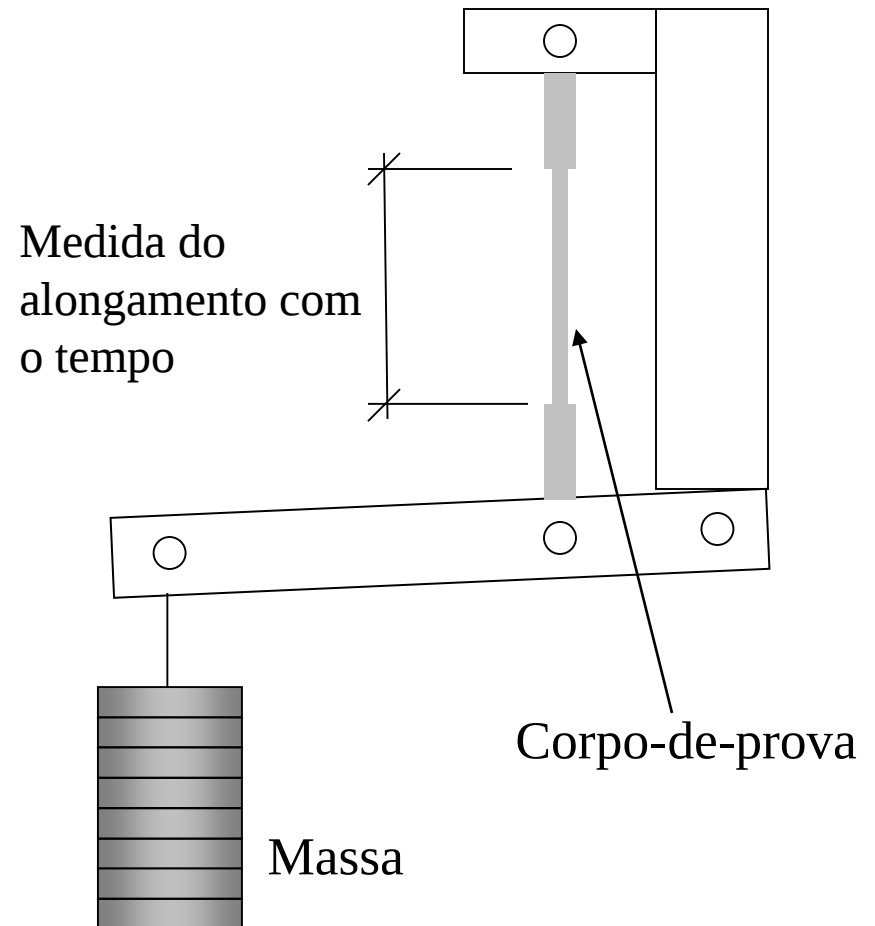
Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



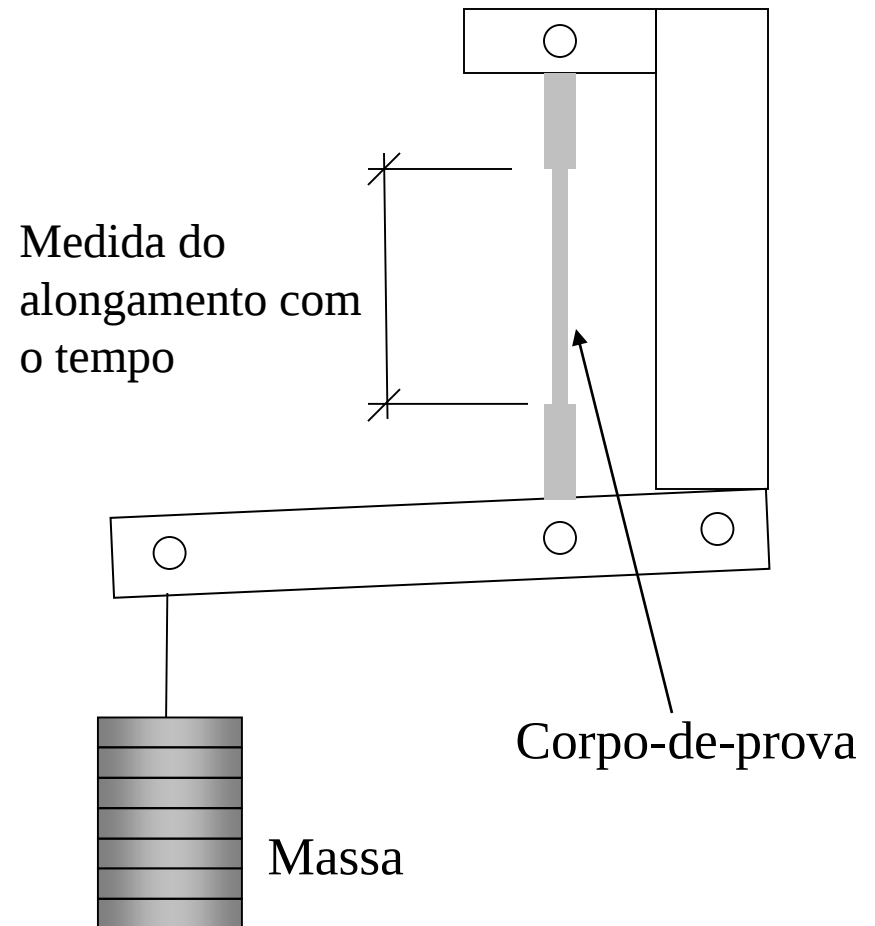
Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



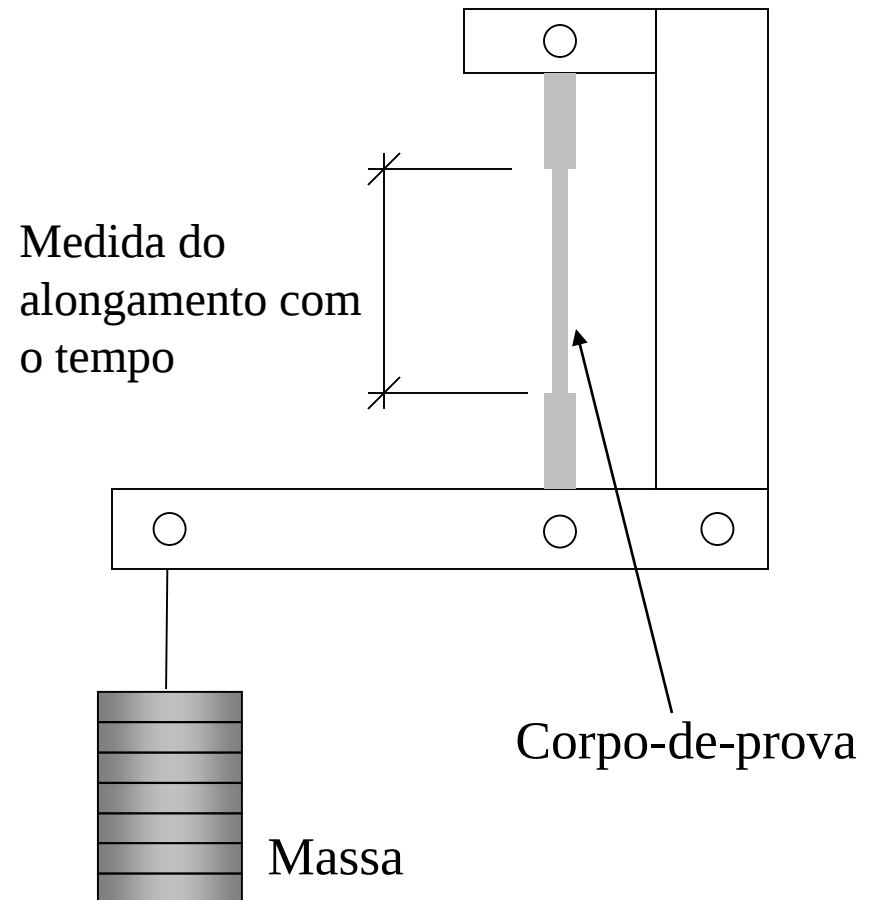
Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



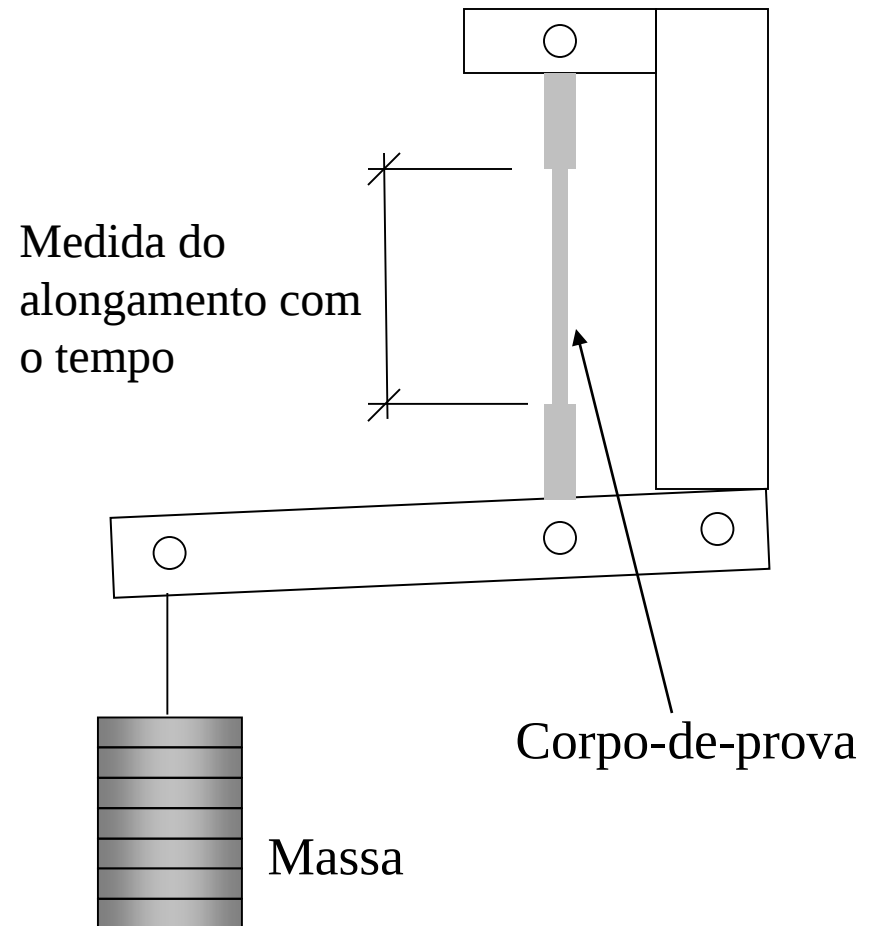
Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



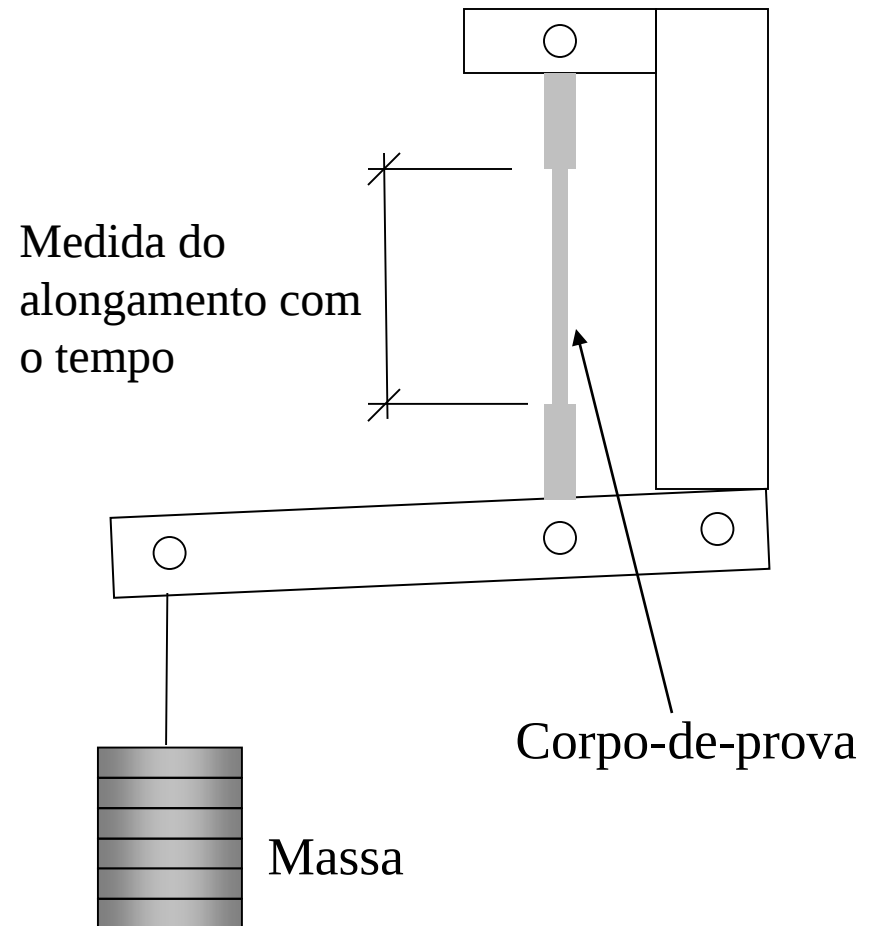
Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



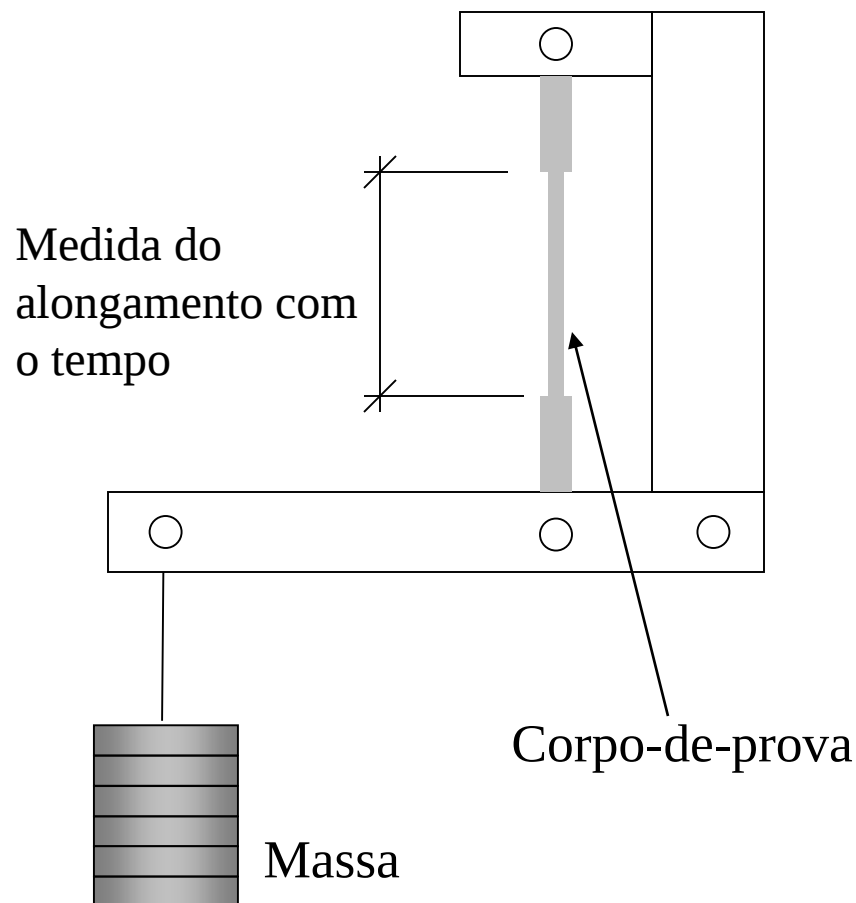
Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



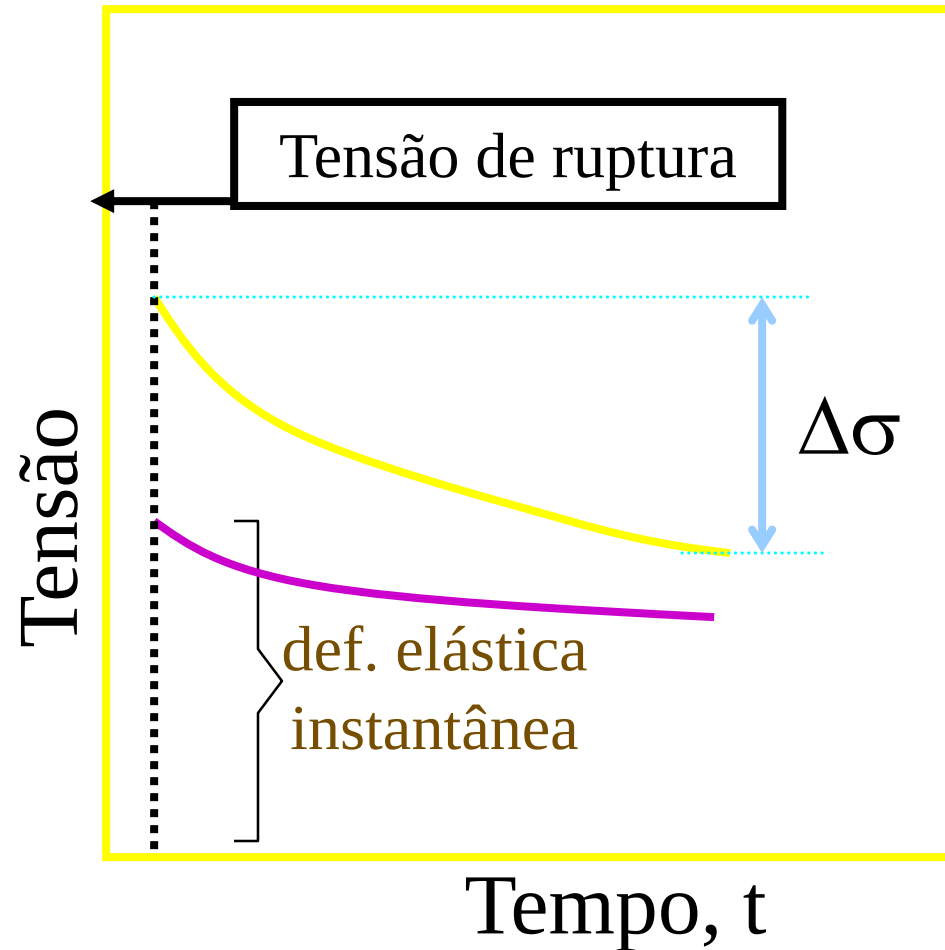
Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



Relaxação

- Perda de tensão ao longo do tempo
- Função do carregamento inicial

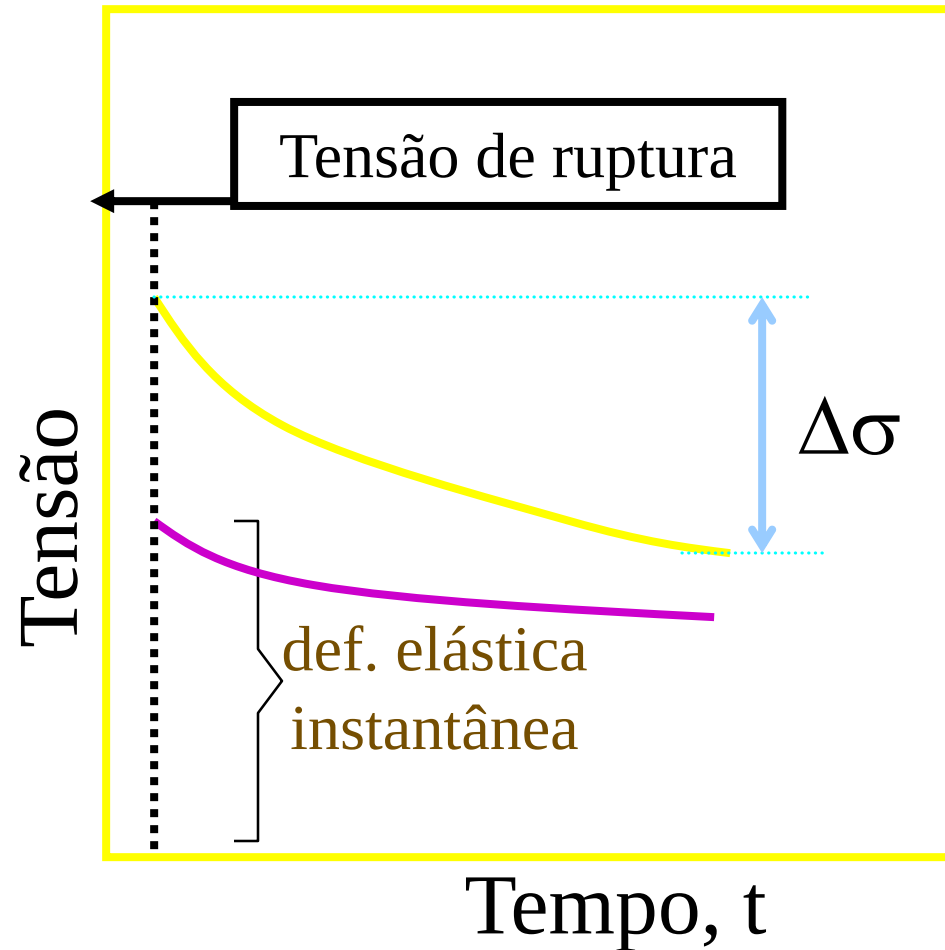


Carregamento inicial elevado

Carregamento inicial baixo

Relaxação

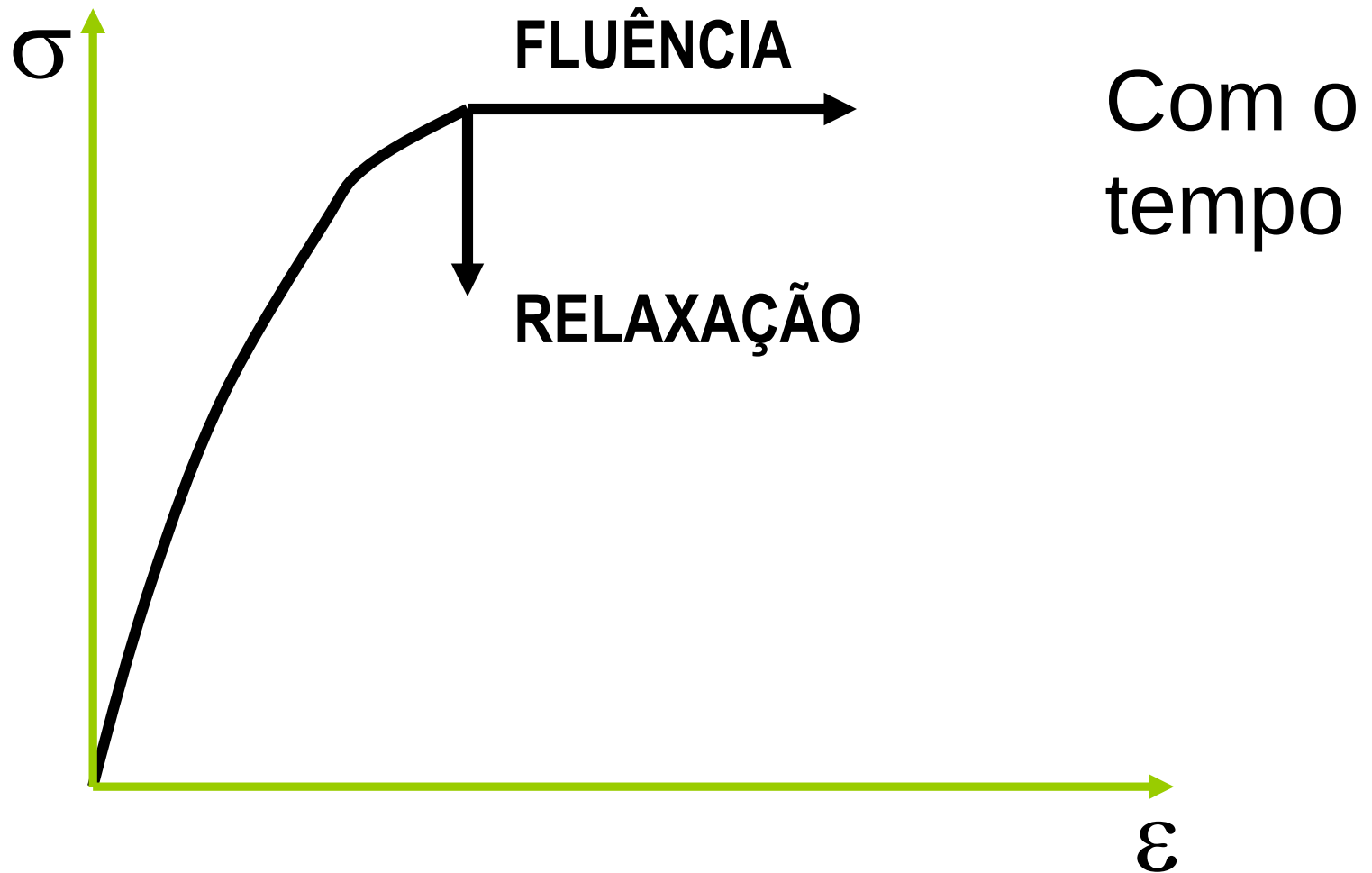
- Tensão variável a temperatura constante.
- Deformação constante
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



Carregamento inicial elevado

Carregamento inicial baixo

Fluência X Relaxação



Pontos importantes:

Fratura retardada $\neq$ Fratura por fluência

Como ocorre a fratura por fluência?

Qual é a diferença entre ruptura por fadiga e ruptura por fluência?