



# **MECÂNICA DOS SÓLIDOS**

## **TENSÕES ADMISSÍVEIS E O PRINCÍPIO DE SAINT VENANT**

Prof. Dr. Daniel Caetano

2019 - 1

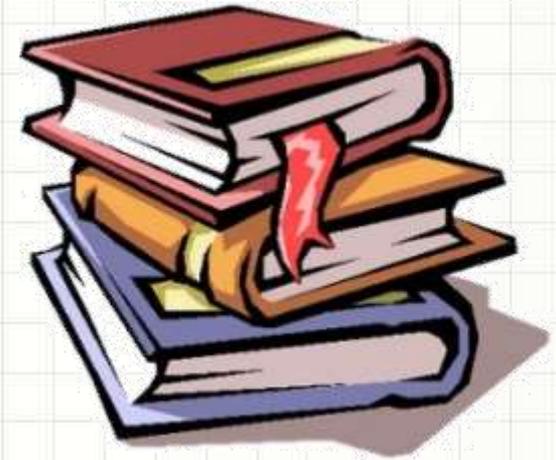
# Objetivos

- Compreender o conceito de coeficiente de segurança
- Compreender o conceito de tensão admissível
- Compreender o Princípio de Saint Venant

- **Atividade Aula 11 – SAVA!**



# Material de Estudo



---

## Material

## Acesso ao Material

Apresentação

<http://www.caetano.eng.br/>  
(Mecânica dos Sólidos – Aula 11)

Material Didático

-

Minha Biblioteca

-

Biblioteca Virtual

Resistência dos Materiais (Hibbeler, 7ª, cap. 3), pgs.  
85 e 86

Material Adicional

Dogma do Fator de Segurança:  
<https://tinyurl.com/y4rl5oww>

---

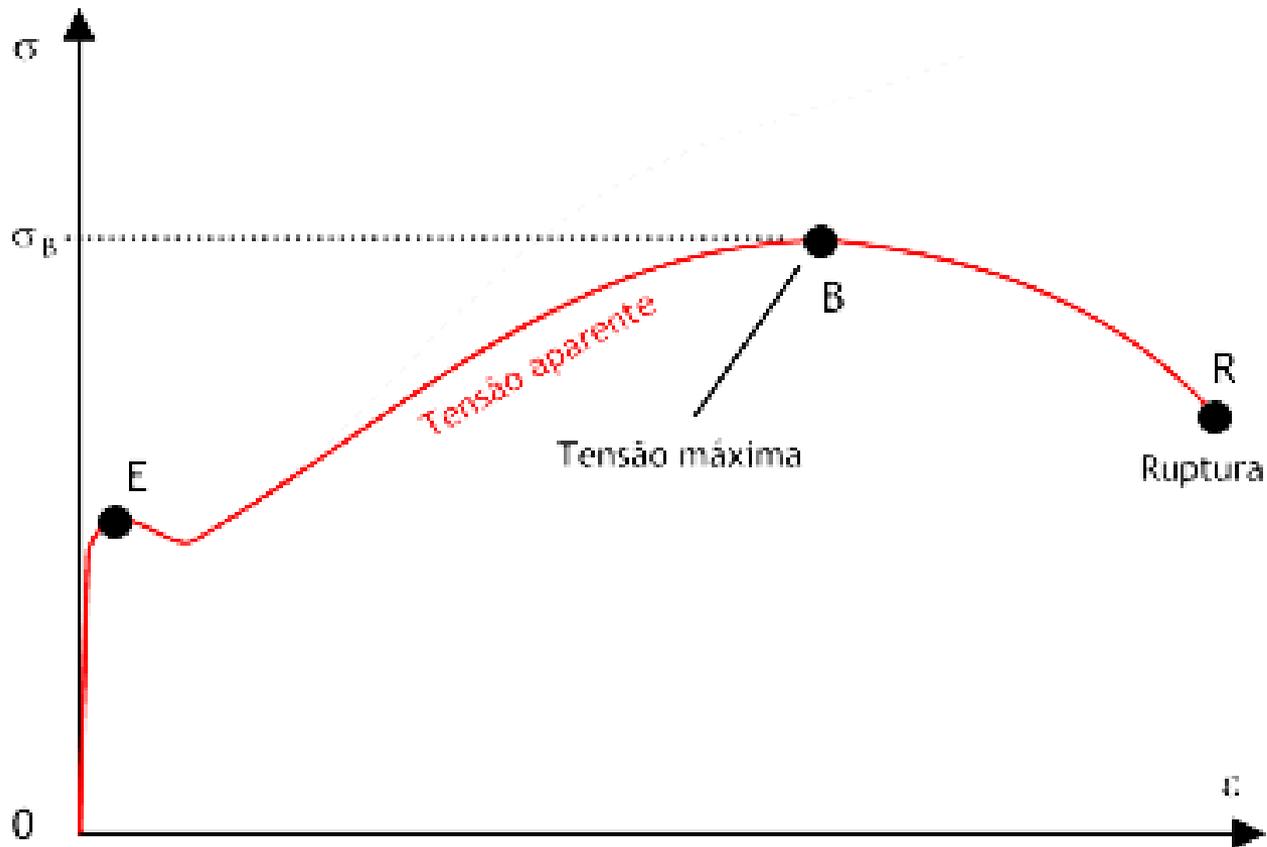


**RETOMANDO:**

# **RESISTÊNCIA E RIGIDEZ**

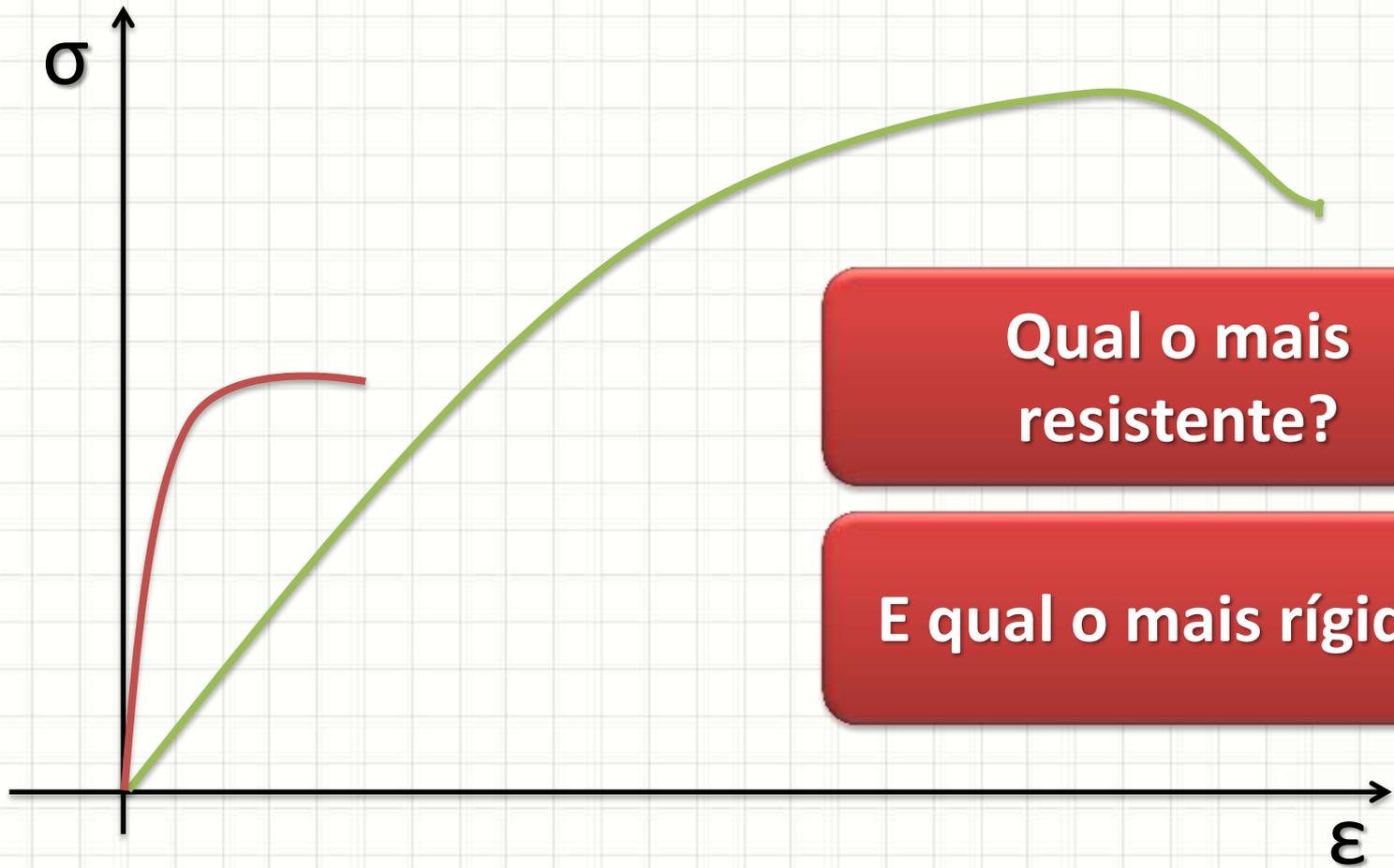
# Tensão x Deformação

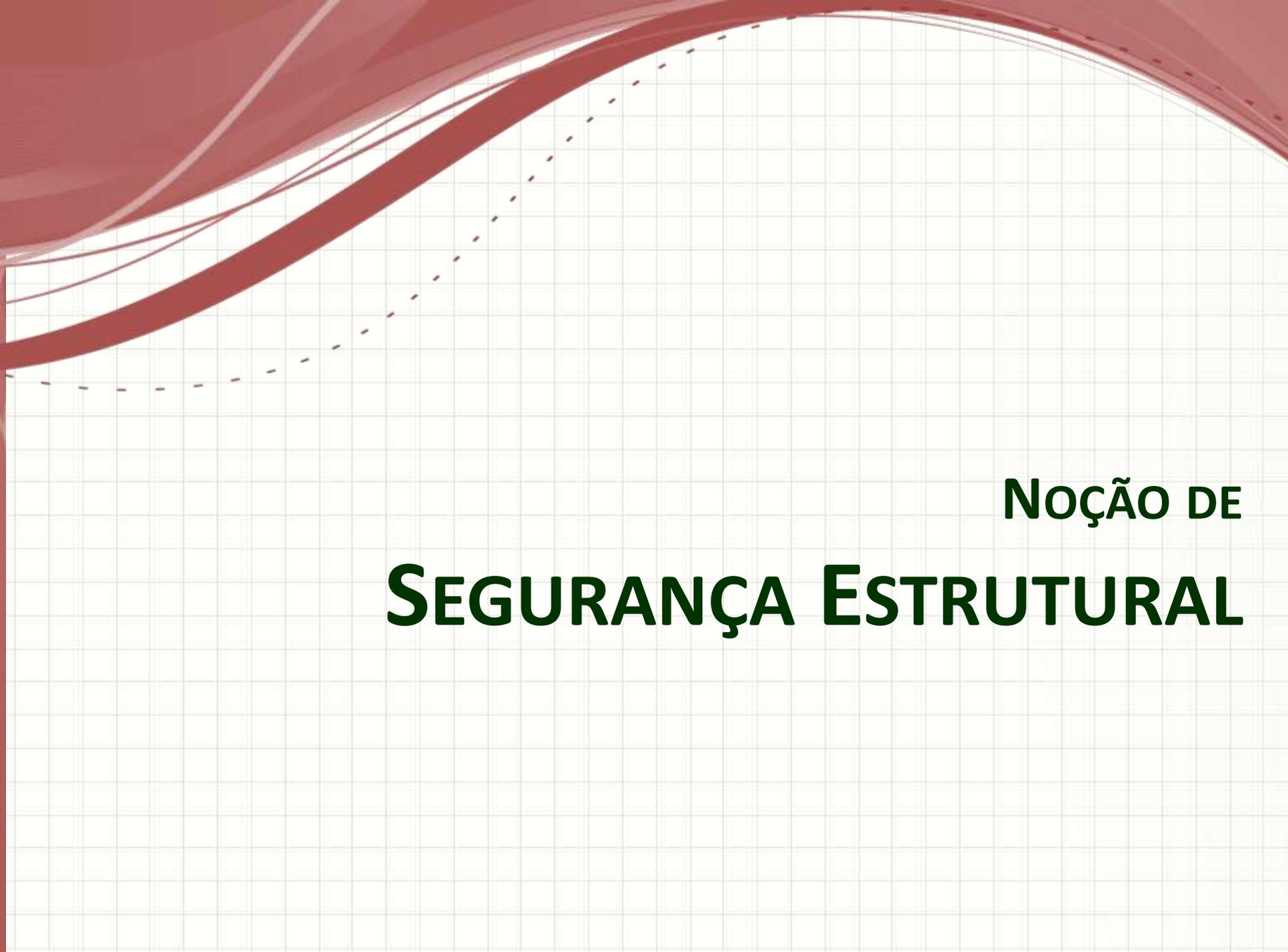
- Material Elastoplástico / Dúctil



# Tensão x Deformação

- Resistência x Rigidez





**NOÇÃO DE  
SEGURANÇA ESTRUTURAL**

# Segurança Estrutural

- Normas da ABNT impõem exigências
  - Tipos de carregamento a considerar
    - Pessoas, veículos, vento, água...
  - Magnitude mínima de alguns carregamentos
  - Distribuição desses carregamentos
  - Critérios para escolha e aceitação de materiais
  - Métodos construtivos
    - E as boas práticas associadas
  - Dentre diversos outros aspectos
- Esses são pontos de projeto e controle!

# Segurança Estrutural

- Toda estrutura é executada com perfeição?



# Segurança Estrutural

- Mesmo se bem feita, e o material?



# Segurança Estrutural

- E se deu tudo certo, mas o uso mudou?



# Valores de Segurança

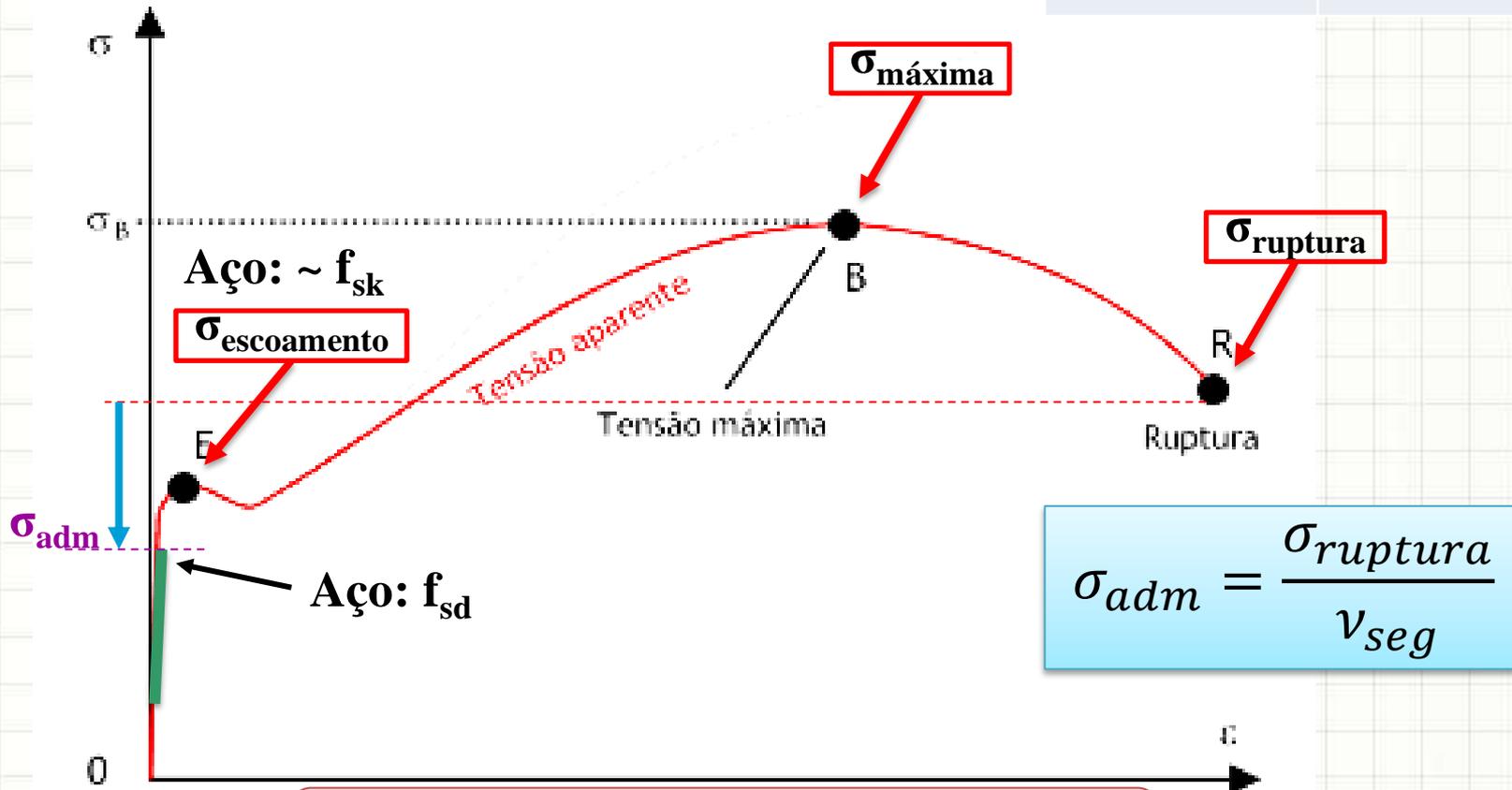
- Normas estruturais definem
  - Como medir e definir tensões aceitáveis
    - Em limite de serviço e no limite último
    - Entre uma coisa e outra, deterioração deve ser visível



# Tensões de Projeto

- Tensão x Deformação

Material	$v_{seg}$
Aço	1,5 a 2
Ferro Fundido	4 a 8
Madeira	2,5 a 7,5
Alvenaria	5 a 20



Os gráficos e limites para tração podem ser diferentes dos da compressão!

# Coeficientes de Segurança

- Normas estruturais definem
  - Coeficientes de magnificação de cargas
    - Amplificam os esforços
    - Considerar eventuais mudanças no uso
    - Ex.: estruturas de concreto: 1,4
      - Carga é 20kN? Considera-se 28kN para cálculo
  - Coeficientes redutores de resistência
    - Tratam os materiais como se fosse mais fracos
    - Considerar eventuais falhas construtivas
    - Ex.: estruturas em aço: 1,15
      - Material resiste 250MPa? Cálculo com 217MPa

# Exemplo

- Um pilar de área  $0,5\text{m}^2$ , construído com concreto de  $\sigma_{adm} = 32\text{MPa}$ , está sob a ação de uma carga de compressão de 100 toneladas. Considerando a gravidade de  $9,81\text{m/s}^2$  e que os coeficientes de segurança de carga e material são ambos 1,4, verifique se o pilar resiste ao esforço descrito.

$$\sigma_{adm,proj} = \frac{32 \cdot 10^6}{1,4} = 22 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$P_{proj} = 100 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 1,4 = 1,373 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$\sigma_{proj} = \frac{1,373 \cdot 10^6}{0,5} = 2,65 \text{ MPa}$$

**Ok!**

# Exercício

- Uma cordoalha de aço de área  $0,075\text{m}^2$ , construída com aço de  $\sigma_{\text{adm}} = 500\text{MPa}$ , está sob a ação de uma carga de tração de  $25\text{MN}$ . Considerando que o coeficiente de segurança de carga é  $1,4$  e o de material é  $1,15$ , verifique se o cabo resiste ao esforço descrito.

# Exercício

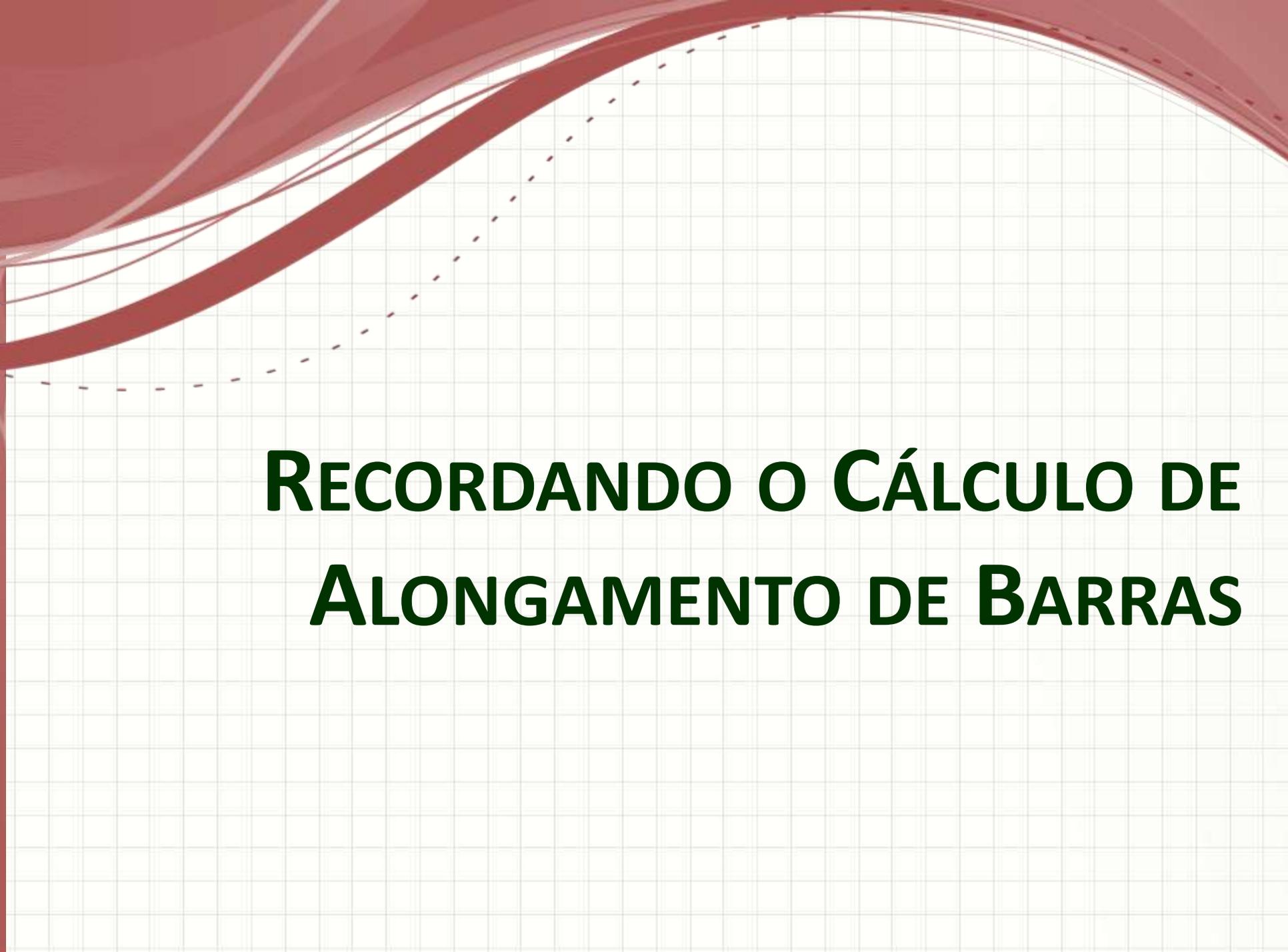
- Uma cordoalha de aço de área  $0,075\text{m}^2$ , construída com aço de  $\sigma_{adm} = 500\text{MPa}$ , está sob a ação de uma carga de tração de  $25\text{MN}$ . Considerando que o coeficiente de segurança de carga é  $1,4$  e o de material é  $1,15$ , verifique se o cabo resiste ao esforço descrito.

$$\sigma_{adm,proj} = \frac{500 \cdot 10^6}{1,15} = 434 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$P_{proj} = 25 \cdot 10^6 \cdot 1,4 = 35 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$\sigma_{proj} = \frac{35 \cdot 10^6}{0,075} = 467 \text{ MPa}$$

**Não Ok!**



# **RECORDANDO O CÁLCULO DE ALONGAMENTO DE BARRAS**

# Calcular o alongamento da barra



$$A = 0,1\text{m}^2$$
$$E = 50\text{GPa}$$

- Como fazer?

$$\sigma = F/A \quad \sigma = E \cdot \epsilon$$

$$\sigma = 10 \cdot 10^6 / 10^{-1}$$

$$\sigma = 100 \cdot 10^6 \text{Pa}$$

# Calcular o alongamento da barra



$$A = 0,1\text{m}^2$$
$$E = 50\text{GPa}$$

- Como fazer?

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad \sigma = 100 \cdot 10^6 \text{Pa}$$

$$\epsilon = \sigma / E$$

$$\epsilon = 100 \cdot 10^6 / 50 \cdot 10^9$$

$$\epsilon = 2 \cdot 10^{-3}$$

# Calcular o alongamento da barra



$$A = 0,1\text{m}^2$$
$$E = 50\text{GPa}$$

- Como fazer?

$$\epsilon = 0,002 \text{ m/m}$$

$$\delta = \epsilon \cdot L$$

$$\delta = 0,002 \cdot 10$$

$$\delta = 0,02 \text{ m}$$

# Calcular o alongamento da barra

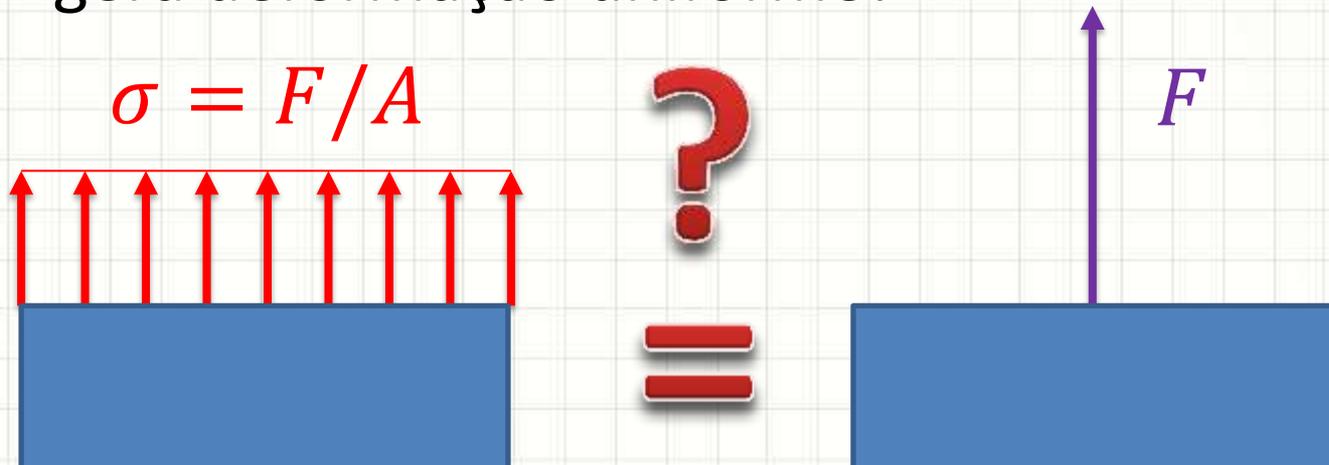


$$A = 0,1\text{m}^2$$
$$E = 50\text{GPa}$$

$$\delta = 0,02\text{ m}$$
$$\sigma = E \cdot \epsilon$$
$$\sigma = F / A$$

Pressupostos?

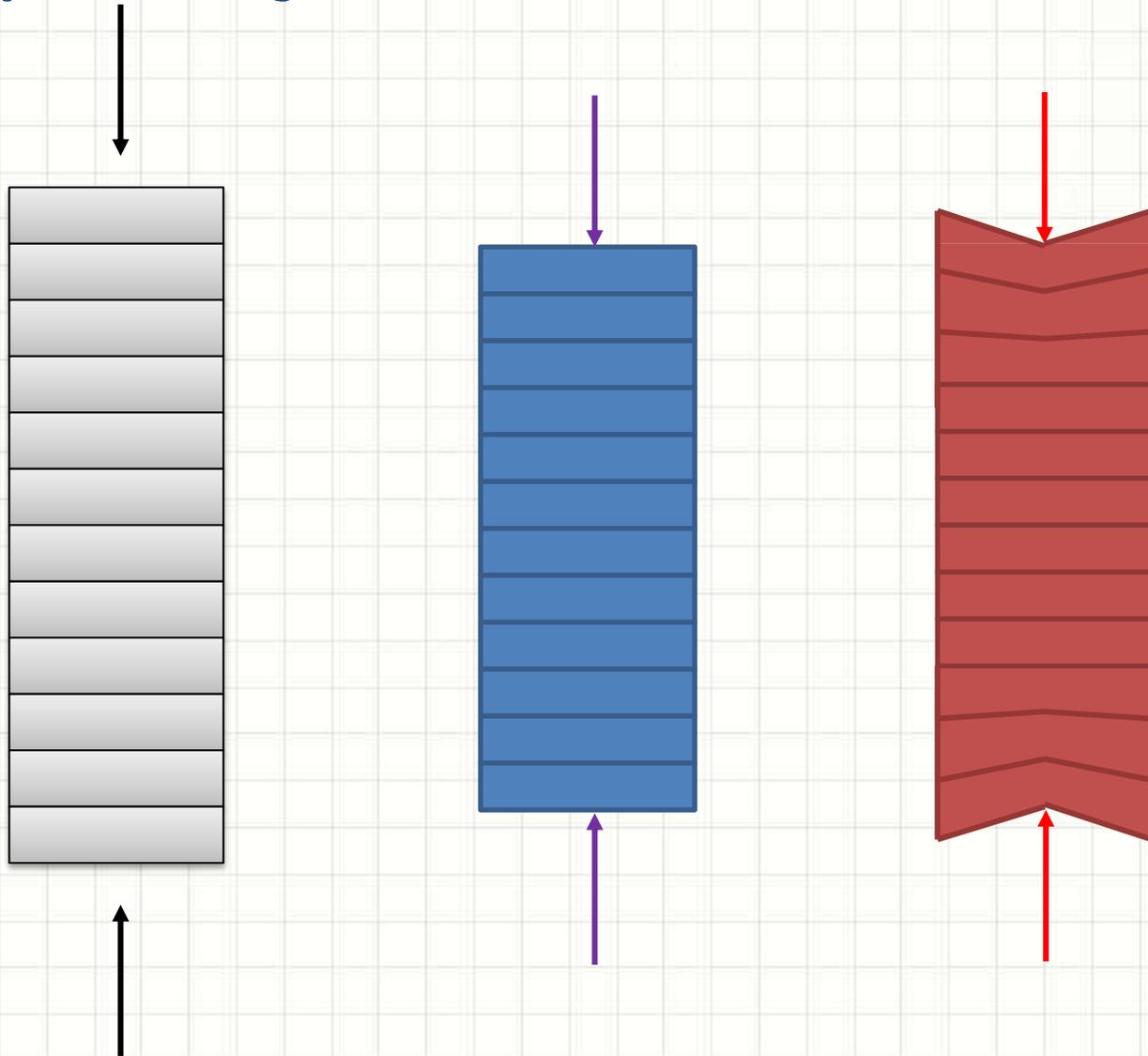
- Tensão é uniforme e...
  - gera deformação uniforme!





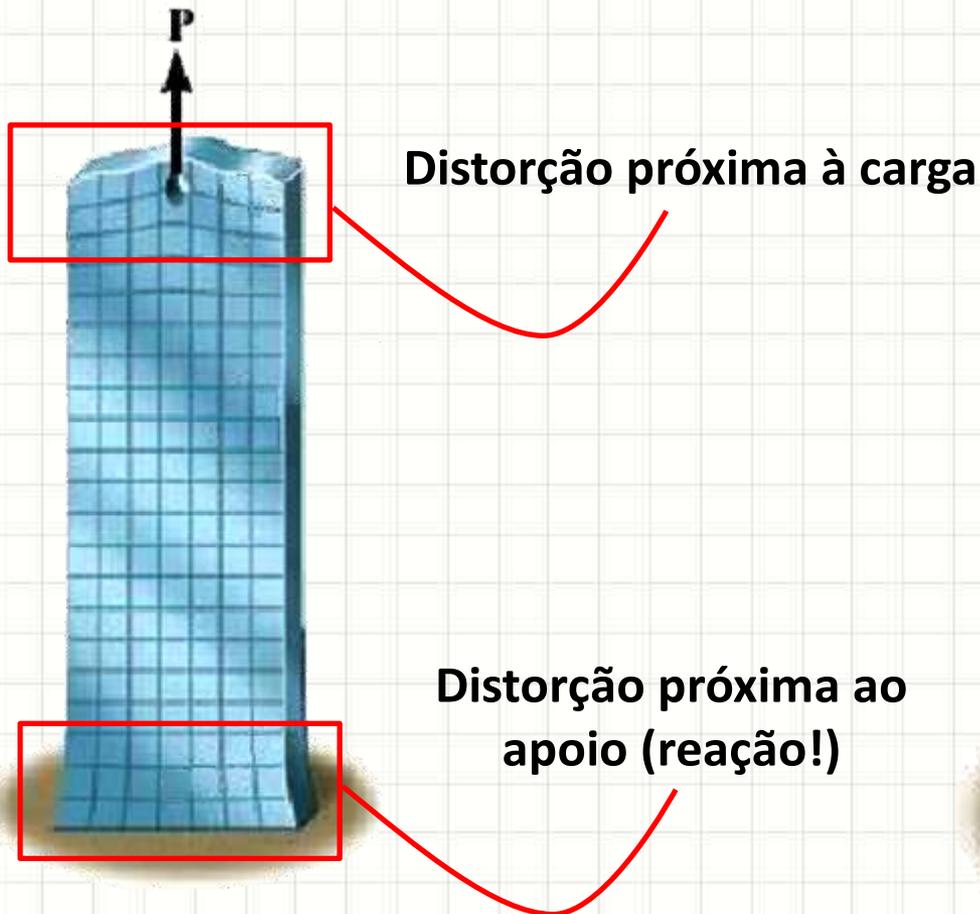
# **O PRINCÍPIO DE SAINT-VENANT**

# Simplificação x Realidade



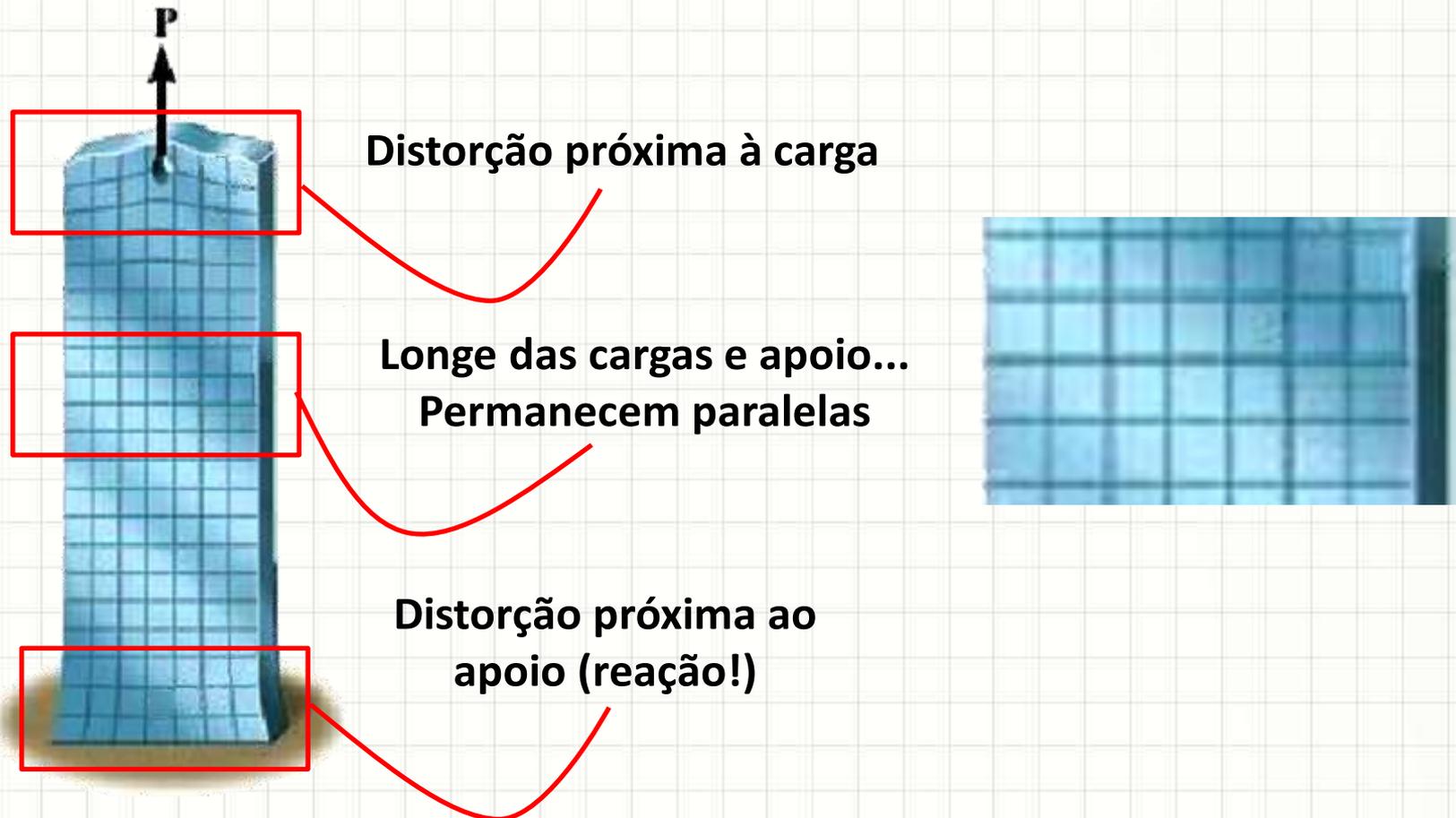
# Princípio de Saint-Venant

- Distorção na deformação: próxima à carga



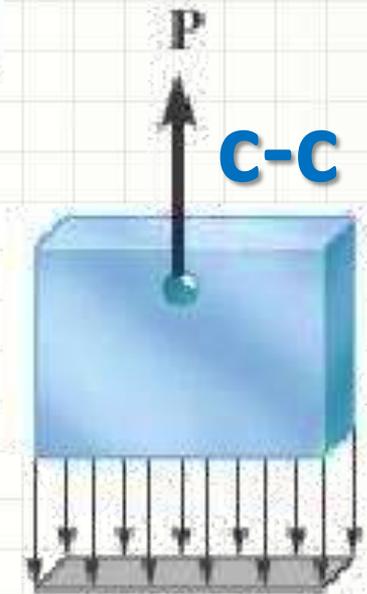
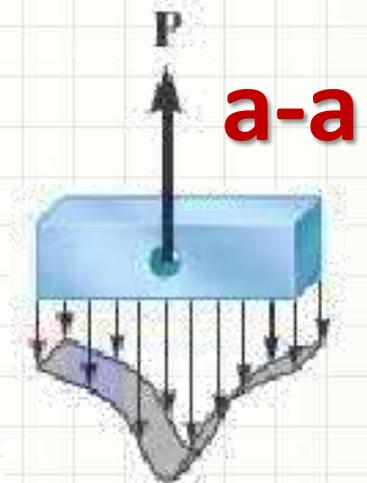
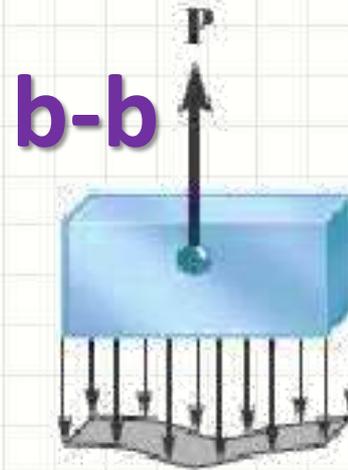
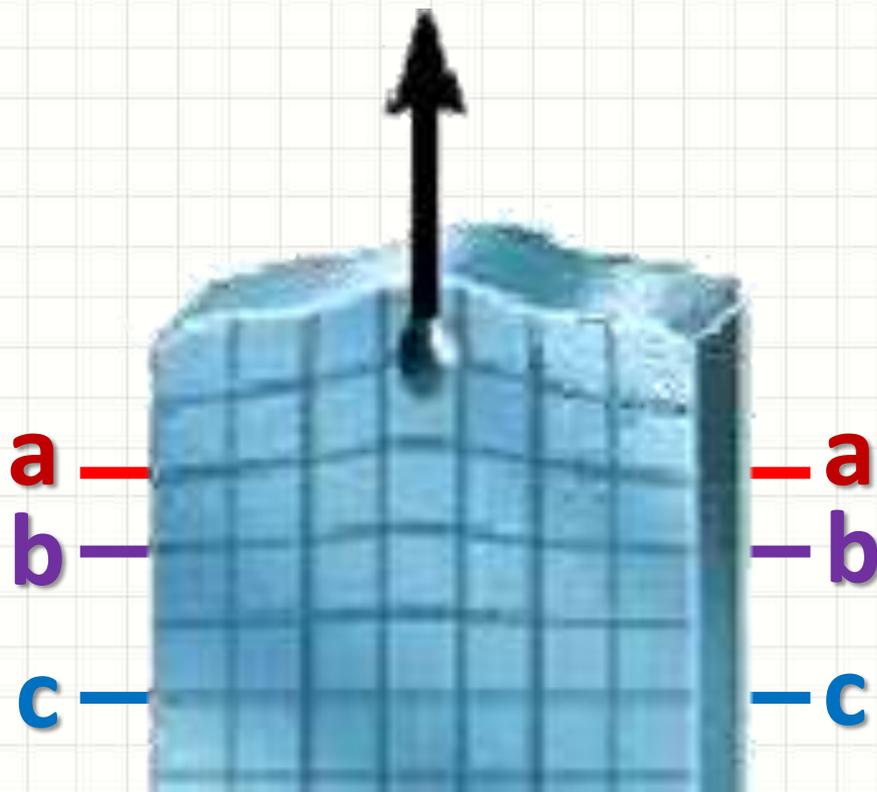
# Princípio de Saint-Venant

- Distorção na deformação: próxima à carga



# Princípio de Saint-Venant

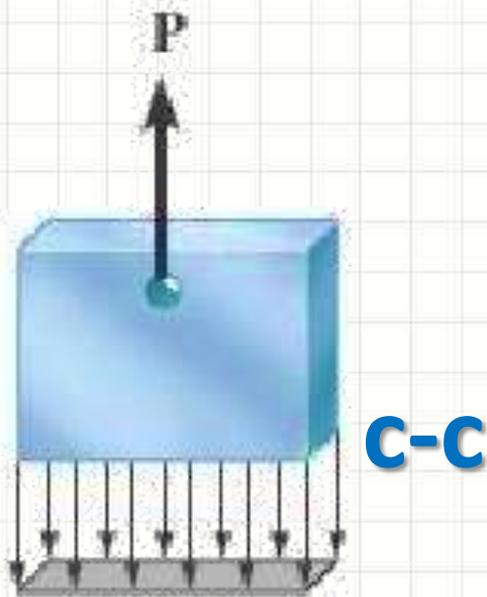
- A tensão é igual em **a-a**, **b-b** e **c-c**?
  - A tensão se uniformiza...



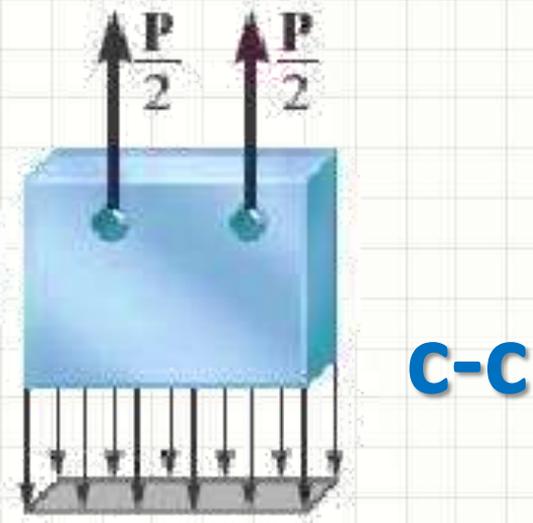
$$\sigma_{méd} = \frac{P}{A}$$

# Princípio de Saint-Venant

- Uniformização independe da distribuição da carga!
  - Depende da resultante!



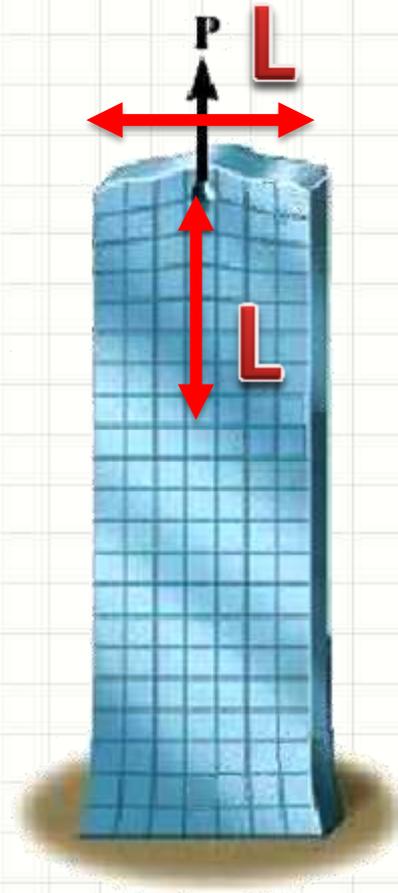
$$\sigma_{méd} = \frac{P}{A}$$



$$\sigma_{méd} = \frac{P}{A}$$

# Princípio de Saint-Venant

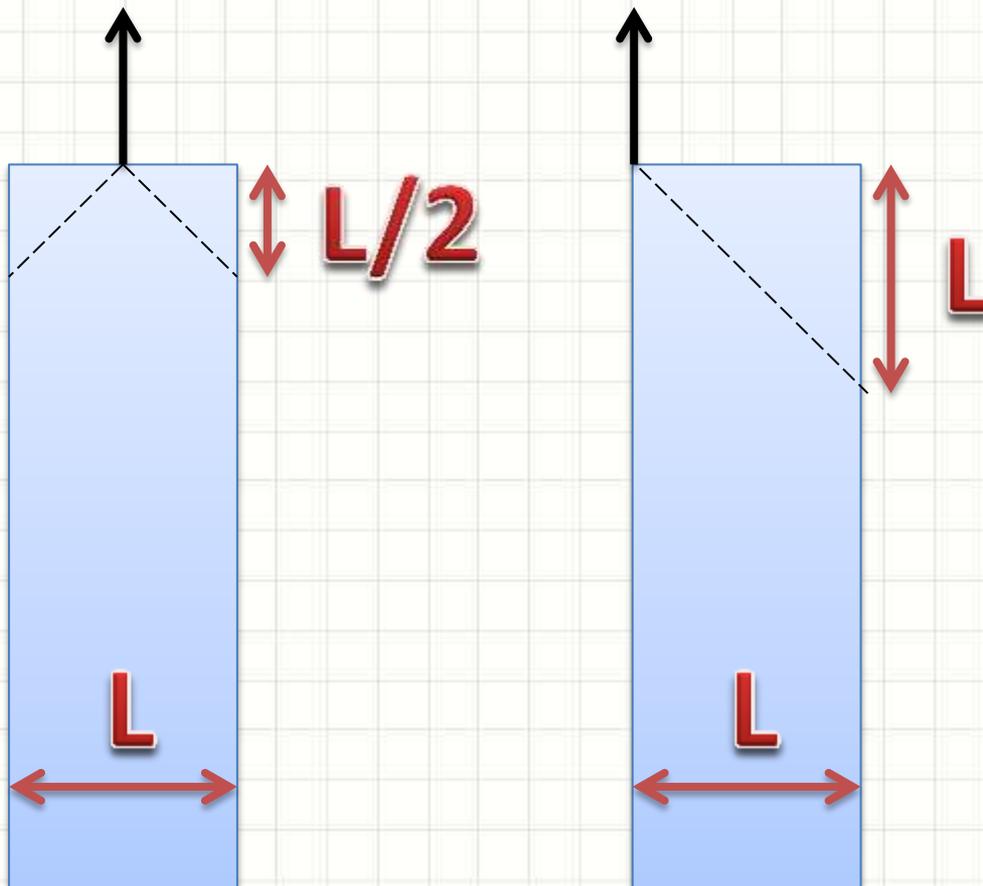
- Quanto longe da aplicação se uniformiza?

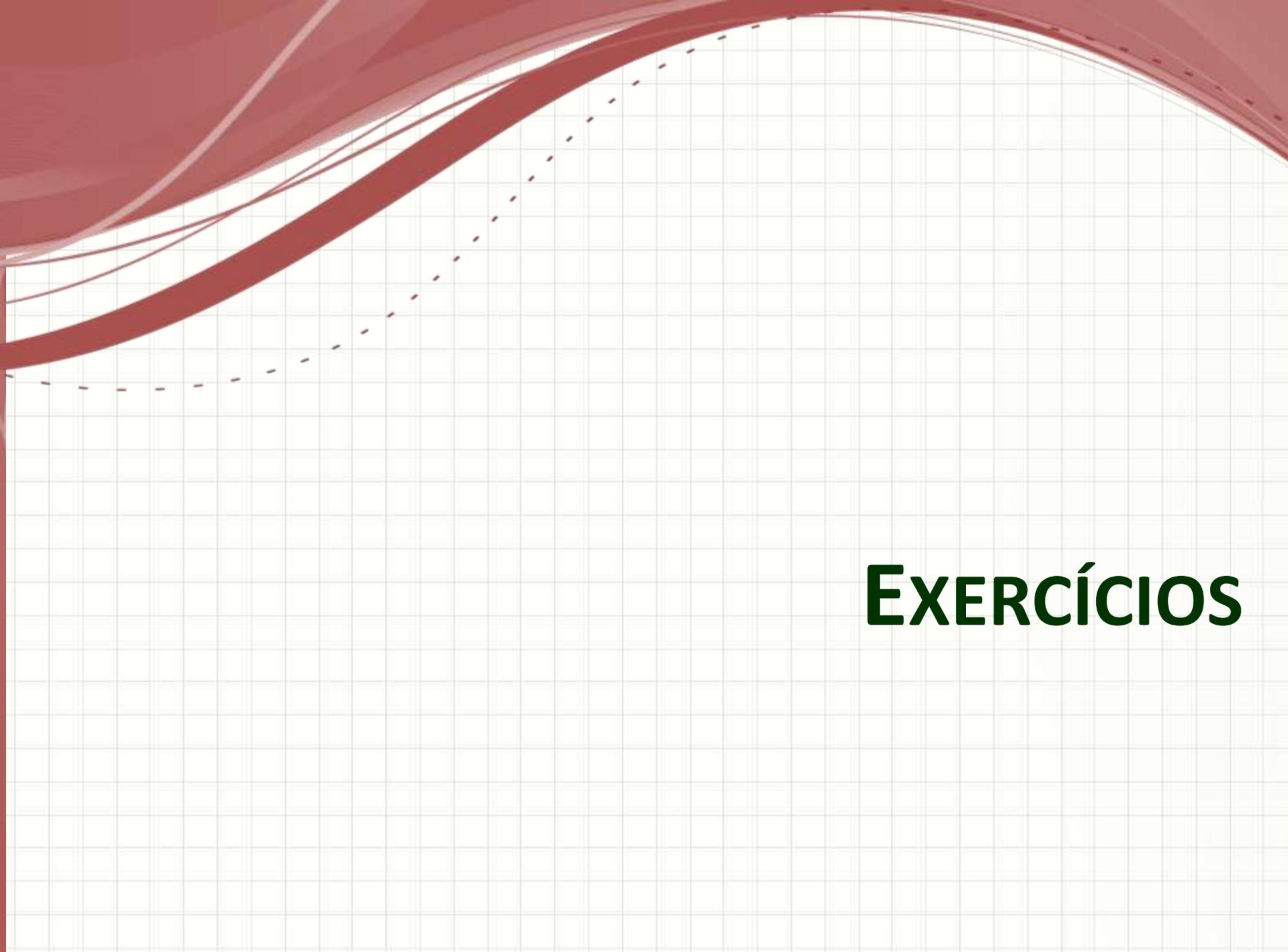


L por quê?

# Princípio de Saint-Venant

- O espraramento é em  $45^\circ$
- Mas não há pressuposição de posição!





# EXERCÍCIOS

# Exercício

- Uma barra de 10m de comprimento e área  $0,05\text{m}^2$  será usada sob a ação de uma carga de tração de 10MN. Considerando um coeficiente de segurança de carga 1,4 e um de material de 1,15, qual deve ser a tensão admissível do material para que a viga resista ao esforço?

# Exercício

- Uma barra de 10m de comprimento e área 0,05m<sup>2</sup> será usada sob a ação de uma carga de tração de 10MN. Considerando um coeficiente de segurança de carga 1,4 e um de material de 1,15, qual deve ser a tensão admissível do material para que a viga resista ao esforço?

$$P_{proj} = 10 \cdot 10^6 \cdot 1,4 = 14 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$\sigma_{proj} = \frac{14 \cdot 10^6}{0,05} = 280 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{adm,proj} = \frac{\sigma_{adm}}{1,15} \geq 280 \cdot 10^6 \quad \sigma_{adm} \geq 322 \text{ MPa}$$

# Exercício

- O pilar de uma ponte, com 15m de comprimento e uma área de  $0,2\text{m}^2$ , feito de concreto de 20MPa, foi projetado para resistir ao peso próprio de 150 toneladas + esforços exigidos pela norma. No entanto, talvez seja necessário passar por ela um veículo com uma carga não usual. Para avaliar se será possível permitir esse tráfego, considerando coeficientes de segurança de carga e de material de 1,4, qual é a carga extra máxima que podemos admitir, em kN?

# Exercício

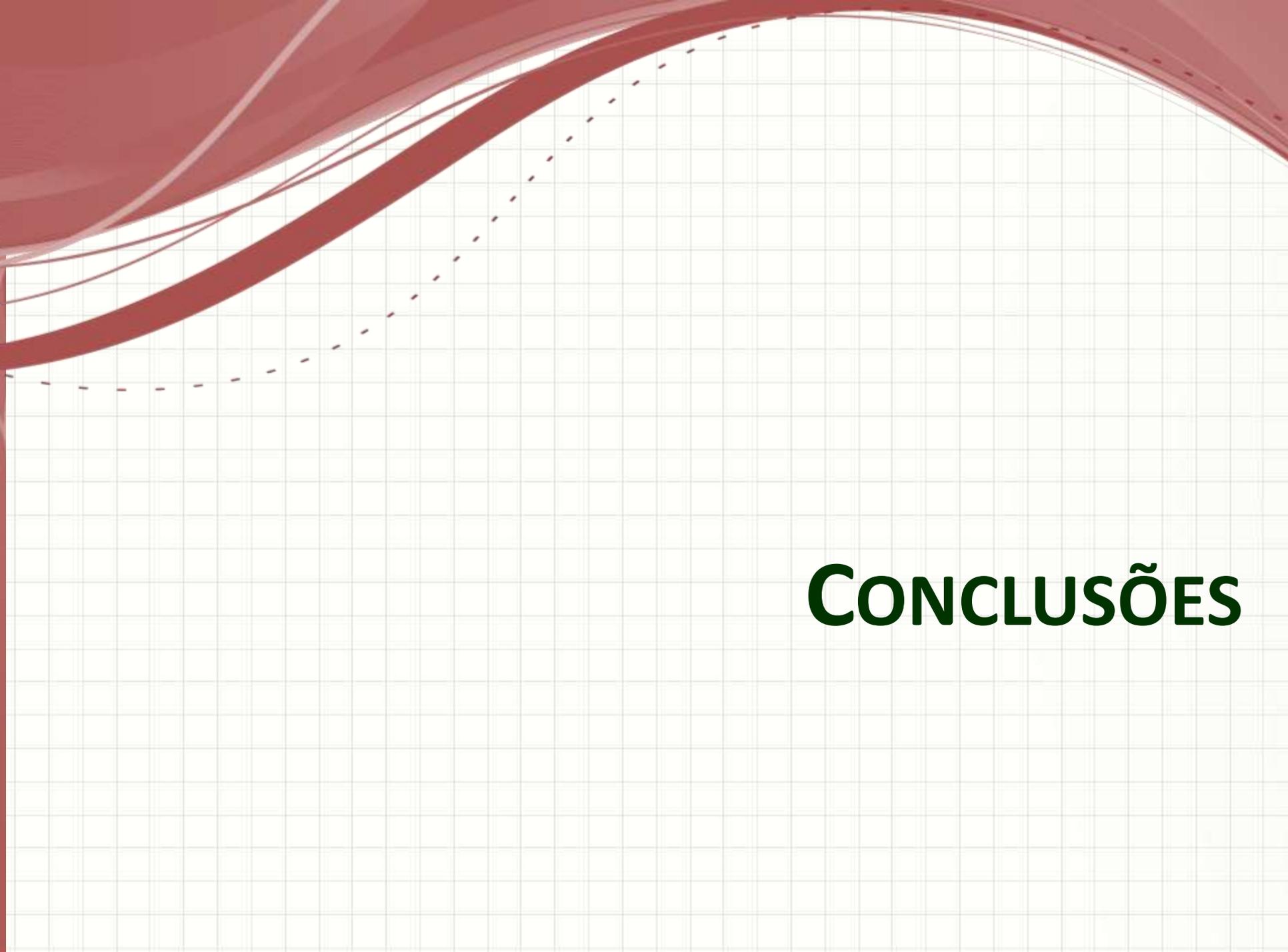
- O pilar de uma ponte, com 15m de comprimento e uma área de  $0,2\text{m}^2$ , feito de concreto de 20MPa, foi projetado para resistir ao peso próprio de 150 toneladas + esforços exigidos pela norma. No entanto, talvez seja necessário passar por ela um veículo com uma carga não usual. Para avaliar se será possível permitir esse tráfego, considerando coeficientes de segurança de carga e de material de 1,4, qual é a carga extra máxima que podemos admitir, em kN?

$$\sigma_{adm,proj} = \frac{20 \cdot 10^6}{1,4} = 14,2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{proj} = \frac{P_{proj}}{0,2} \leq 14,2 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad P_{proj} \leq 2,84 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$P \cdot 1,4 = P_{proj} \leq 2,84 \cdot 10^6 \text{ N} \quad P \leq 2 \cdot 10^6 \text{ N}$$

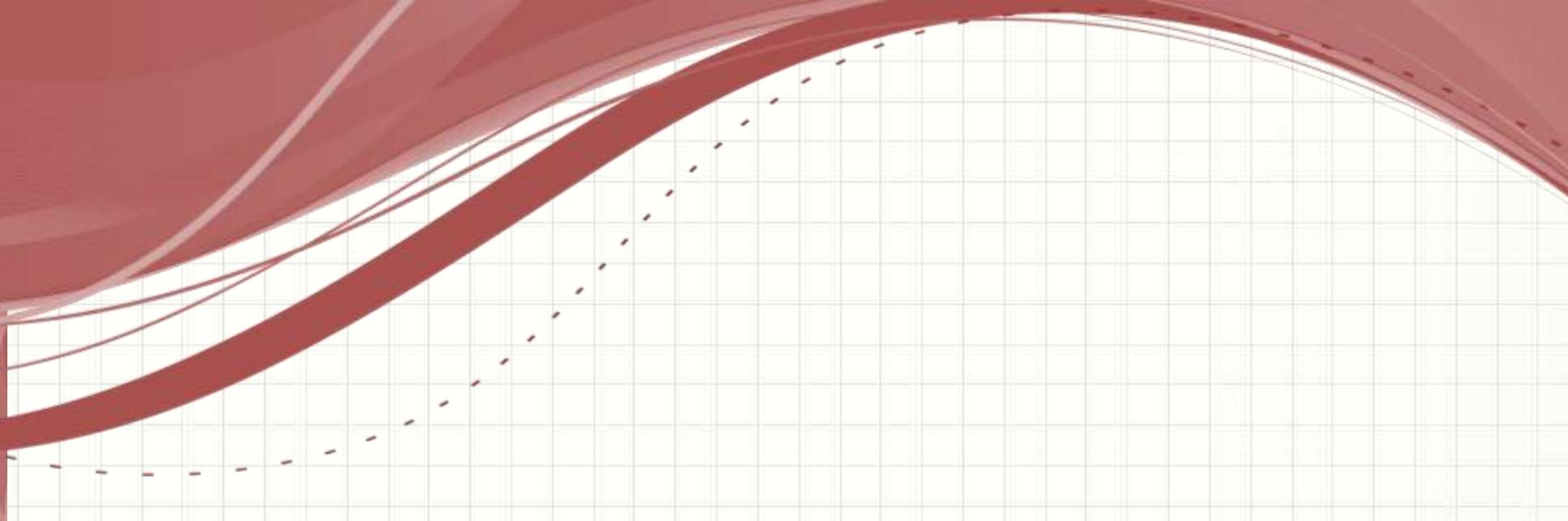
$$P_{extra} \leq 500 \text{ kN}$$



**CONCLUSÕES**

# Resumo

- Materiais e execução: Falhas
  - Coeficientes de segurança
    - Considerar efeitos imponderáveis
  - Princípio de Saint Venant
    - Aplicabilidade em barras
  - **TAREFA:** Exercícios Aula 11
- 
- Tensões e deformações em vigas simples
    - Cálculo de esforços e deformações



**PERGUNTAS?**

# Exercício para casa

- Uma cordoalha de 15m e área  $0,07\text{m}^2$ , construída com aço de  $\sigma_{\text{adm}} = 600\text{MPa}$ , está sob a ação de uma carga de tração de 25MN. Considerando que o coeficiente de segurança de carga é 1,4 e o de material é 1,15, verifique se o cabo resiste ao esforço descrito.