



# Projeto Estrutural

Curso de Engenharia Naval e Oceânica  
Adriano Dayvson Marques Ferreira

**Projeto Estrutural**  
**Curso de Engenharia Naval**  
**Universidade Federal de Pernambuco**



## **Crêterios de Falha**

- Os elementos estruturais e os componentes de máquinas são projetados de modo que o material que os compõem, sendo material dúctil, não venha a escoar pela ação dos carregamentos esperados. Dessa forma quando o engenheiro precisa elaborar um projeto com um determinado material, o mesmo deve estabelecer um limite superior para o estado de tensão que defina a falha do material. Se o material for dúctil, geralmente a falha será especificada pelo início do escoamento; se o material for frágil, ela será especificada pela fratura.
- Esses modos de falha são prontamente definidos se o elemento estiver submetido a um estado de tensão uniaxial, como no caso de tensão simples; Caso o elemento esteja submetido a estados de tensão biaxial ou triaxial, o critério para ruptura fica mais difícil de estabelecer.
- Na prática da Engenharia estudam-se quatro teorias para prever a ruptura de um material submetido a um estado multiaxial de tensões. Utilizam-se estas teorias para se calcular as tensões admissíveis descritas em muitas normas de projeto.

## **Teoria da Tensão de Cisalhamento Máxima ou Critério do Escoamento de Tresca**

- O caso mais comum de escoamento de um material dúctil, como o aço, é o deslizamento que ocorre ao longo dos planos de contato dos cristais que, aleatoriamente ordenados, formam o próprio material. Esse deslizamento deve-se a tensão de cisalhamento e, se fizermos um corpo de prova com uma tira fina altamente polida e a submetemos a um ensaio de tração simples poderá ser visto como a tensão provoca o escoamento do material como está no esboço da Figura 1.

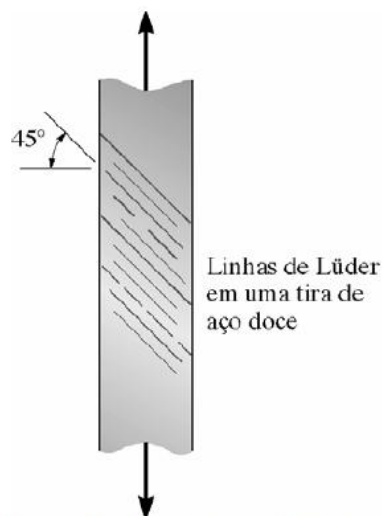


Figura1 - Escoamento do aço.

# Projeto Estrutural

## Curso de Engenharia Naval

### Universidade Federal de Pernambuco



- Considerando-se um elemento do material tirado de um corpo de prova para um ensaio de tração, submetido apenas ao limite de escoamento  $\sigma_E$ , como apresenta a Figura 2.a. A tensão de cisalhamento máxima é determinada a partir do círculo de Mohr apresentado na Figura 2.b. Dessa forma tem-se.

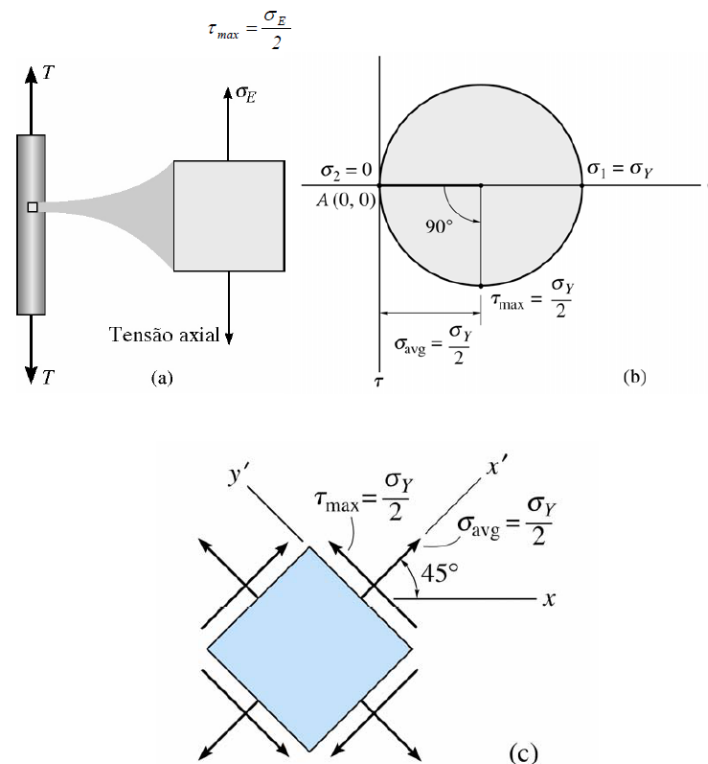


Figura 2 - Elemento de um material tirado de um corpo de prova.

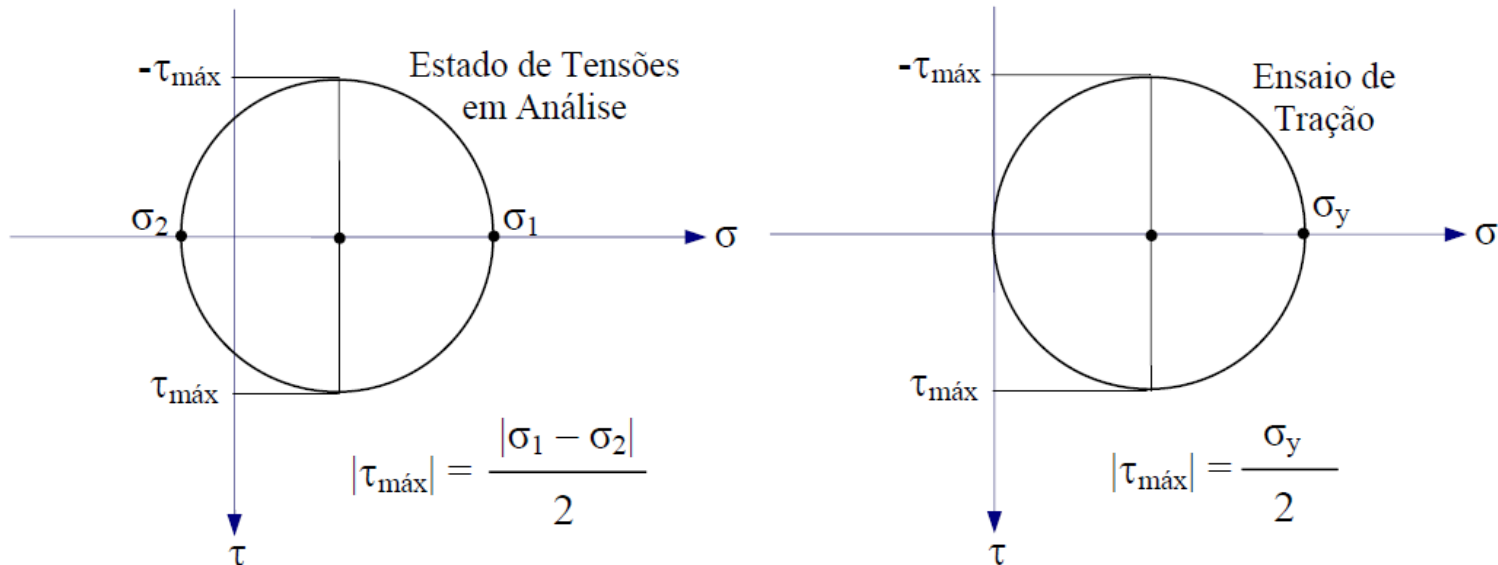
# Projeto Estrutural

## Curso de Engenharia Naval

### Universidade Federal de Pernambuco

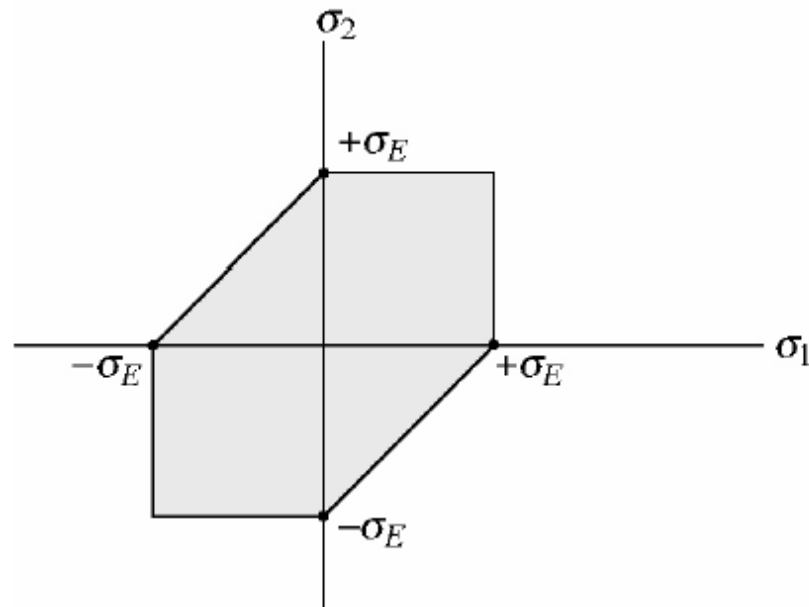


- A teoria de Tresca impõe que a máxima tensão cisalhante do estado de tensões analisado não pode ser igual ou maior que a máxima tensão cisalhante encontrada para o material num ensaio uniaxial de tração para que não ocorra ruptura, ou seja:



## Critério de Tresca

Um gráfico dessas equações é apresentado na Figura 3.



Teoria da tensão de cisalhamento máxima

Figura 3- Critério de Tresca

## Materiais frágeis: Teoria da tensão normal máxima – W. Rankine - 1800

- Materiais frágeis tendem a falhar subitamente por fratura sem escoamento aparente. Em um teste de tração, a fratura ocorre quando a tensão normal atinge o limite de resistência,  $\sigma_r$  como apresenta a Figura 8a.
- Em um ensaio de torção a fratura ocorre devido à tensão de tração máxima, uma vez que o plano de fratura do elemento está a  $45^\circ$  em relação à direção do cisalhamento, como apresenta a Figura 8.b. A superfície da fratura é helicoidal.
- Através de experimentos se chegou a conclusão que a tensão de tração necessária para fraturar um corpo de prova em um teste de torção é aproximadamente a mesma necessária para fraturar um corpo de prova sob tração simples.

## Teoria da tensão normal máxima

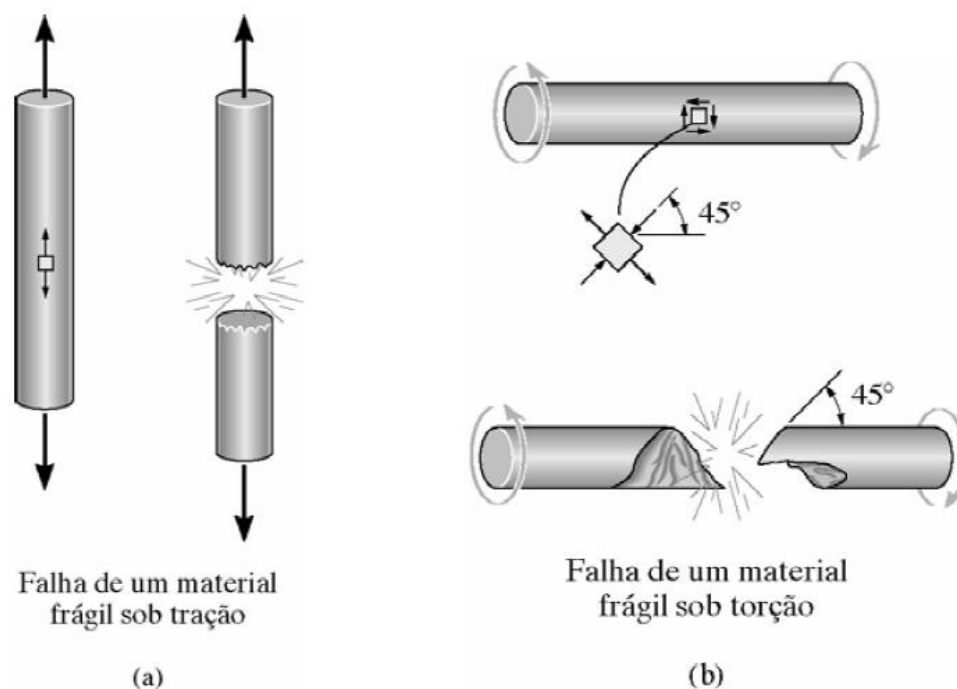


Figura 8 –Falha de materiais frágeis.



## Teoria da tensão normal máxima – W. Rankine - 1800

- A teoria da tensão normal máxima estabelece que um material frágil falha quando a tensão principal máxima  $\sigma_1$  atinge um valor limite igual ao limite de resistência que o material suporta quando submetido a tração simples.
- Caso o material esteja submetido ao estado plano de tensões tem-se que:

$$|\sigma_1| = \sigma_r$$

$$|\sigma_2| = \sigma_r$$

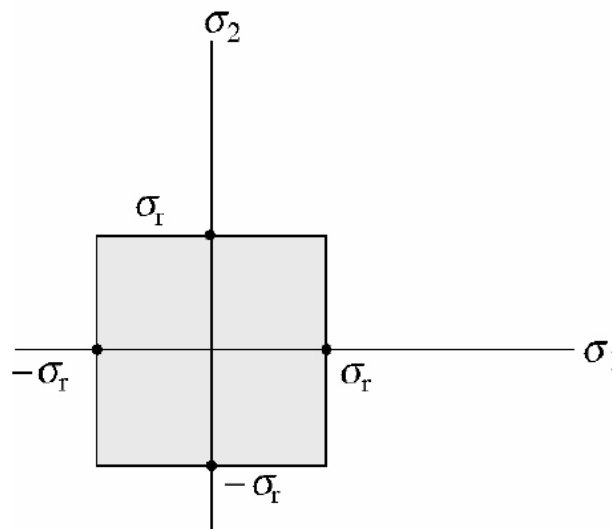
# Projeto Estrutural

## Curso de Engenharia Naval

### Universidade Federal de Pernambuco



- A eq. (14) apresenta-se graficamente na Figura 9. Através da Figura 9, verifica-se que se a coordenada da tensão ( $\sigma_1, \sigma_2$ ) em um ponto do material caia no limite ou fora da área sombreada, supõe-se que o material sofrerá fratura. Essa teoria é válida para materiais frágeis cujos diagramas tensão-deformação sejam similares tanto sob tração quanto sobre compressão.



Teoria da tensão normal máxima  
Figura 9- Teoria da tensão normal máxima

## Critério de Falha de Mohr

- Aplicada a materiais frágeis onde as propriedades de tração e compressão são diferentes.
- Usa-se um critério baseado no círculo de Mohr para prever a falha do material.
- Passos para se aplicar o critério de falha de Mohr
- 1- Executam-se três ensaios no material, um ensaio de tração uniaxial, um de compressão uniaxial que são usados para se determinar os limites de resistência a tração e a compressão  $(\sigma_r)_t$  e  $(\sigma_r)_c$ , respectivamente.
- 2- Executa-se um ensaio de torção para determinar o limite de resistência ao cisalhamento,  $\tau_r$ , do material.
- 3- O círculo de Mohr é construído para cada uma dessas condições de tensão como apresenta a
- Figura 10.

**Projeto Estrutural**  
**Curso de Engenharia Naval**  
**Universidade Federal de Pernambuco**



- O círculo A representa a condição de tensão  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0, \sigma_3 = -(\sigma_r)_c$ , O círculo B representa a condição de tensão  $\sigma_1 = (\sigma_r)_t, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$  e o Círculo C representa a condição de cisalhamento puro provocada por  $\tau_r$ , os três círculos estão contidos em um envelope de falha indicado pela curva extrapolada desenhada tangencialmente a eles.

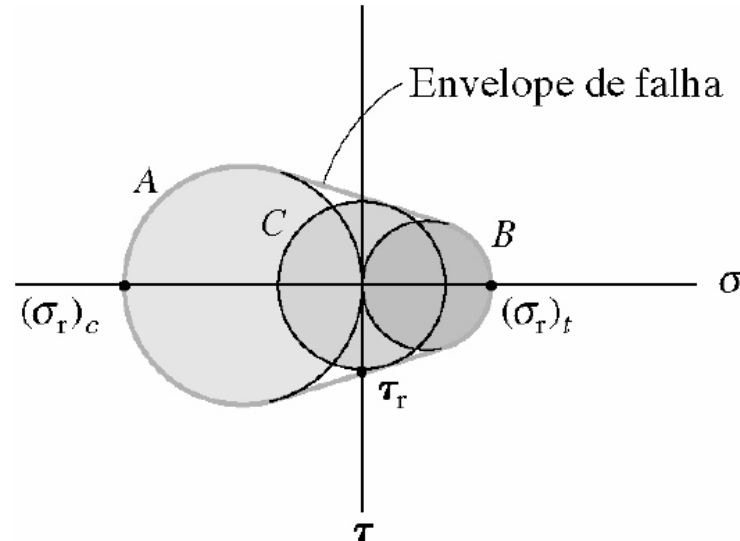


Figura 10- Critério de falha de Mohr

**Projeto Estrutural**  
**Curso de Engenharia Naval**  
**Universidade Federal de Pernambuco**



- 4- Caso o estado plano de tensões em determinado ponto seja representado por um círculo contido dentro do envelope, diz-se que o material não falhará. Se o círculo tiver um ponto de tangencia com o envelope ou se estender além deste, então ocorrerá falha.
- 5- Representa-se o critério de outra forma como apresentado na Figura 11, que seria o gráfico das tensões principais,  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$  ( $\sigma_3=0$ ). A falha ocorre quando o valor absoluto de qualquer uma das tensões principais atinge um valor maior ou igual que  $(\sigma_r)_t$  ou  $(\sigma_r)_c$ , ou em geral se o estado de tensão em um ponto é definido pela coordenada da tensão  $(\sigma_1, \sigma_2)$ , localizada no limite ou fora da área sombreada.

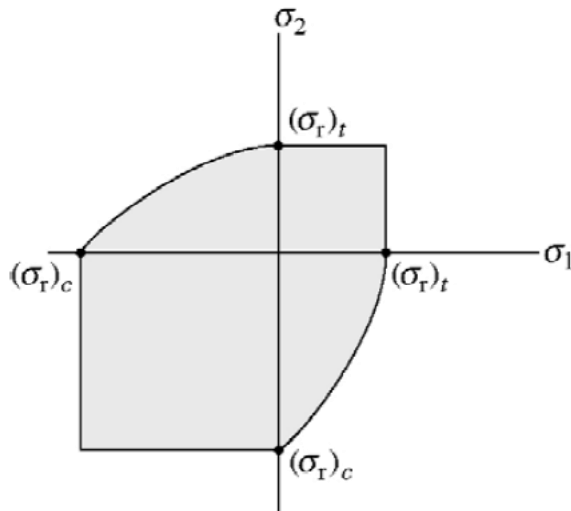
# Projeto Estrutural

## Curso de Engenharia Naval

### Universidade Federal de Pernambuco



- A utilidade deste critério é bastante limitada. A fratura por tração ocorre repentinamente e seu início depende das concentrações de tensão desenvolvidas em imperfeições microscópicas do material, tais como inclusões ou vazios, entalhes na superfície e pequenas trincas. Essas irregularidades variam de corpo de prova para corpo de prova e assim torna-se difícil definir a falha com base em um único teste. Nota-se também que trincas e irregularidades tendem a se fechar quando o corpo de prova é comprimido e, portanto, não constituem pontos de falha como ocorreria se o corpo-de-prova fosse submetido a tração.



Critério de falha de Mohr

Figura 11- Critério de falha de Mohr.

