

Módulo elástico

Módulo elástico nas direções globais X, Y e Z. Para um material elástico linear, o módulo elástico em uma determinada direção é definido como o valor da tensão nessa direção que causa uma deformação unitária na mesma direção. É também igual a razão entre a tensão e a deformação decorrente nessa direção. Os módulos elásticos são usados para análises estáticas, não lineares, de frequência e de flambagem. O módulo de elasticidade foi introduzido por Young e é frequentemente chamado de Módulo de Young.

Módulo de cisalhamento

O módulo de cisalhamento, também chamado módulo de rigidez, é a razão entre a tensão de cisalhamento em um plano dividida pela deformação de cisalhamento correspondente. Os módulos de cisalhamento são usados para análises estáticas, não lineares, de frequência, dinâmicas e de flambagem.

Coefficiente de Poisson.

O alongamento do material na direção longitudinal é acompanhada por contrações nas direções laterais. Se um corpo é sujeito a uma tensão de tração na direção X, o coeficiente de Poisson ν_{XY} é definido como a razão da contração lateral na direção Y dividida pelo esforço longitudinal na direção X. Os coeficientes de Poisson são quantidades adimensionais. Para materiais isotrópicos, os coeficientes de Poisson em todos os planos são iguais ($\nu_{XY} = \nu_{XZ} = \nu_{YZ}$). Os coeficientes de Poisson são usadas em análises estáticas, não lineares, de frequência, dinâmicas e de flambagem.

Coeficiente de expansão térmica.

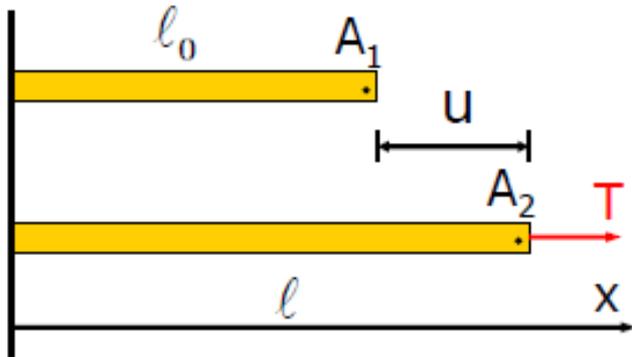
O Coeficiente de expansão térmica é definido como a mudança no comprimento por unidade de comprimento por grau de mudança na temperatura (mudança na deformação normal por unidade de temperatura). Os coeficientes de expansão térmica são usados para análises estáticas, não lineares, de frequência e de flambagem, se o carregamento térmico for utilizado. As análises de frequência só usarão essa propriedade se você considerar o resultado das cargas nas frequências (carregamento no plano).

Condutividade térmica

A Condutividade térmica indica a eficácia de um material na transferência da energia térmica por condução. É definida como a taxa de transferência de calor através da unidade de espessura do material por unidade de diferença de temperatura. As unidades de condutividade térmica são Btu/pol s °F no sistema britânico e W/m K no sistema SI. A condutividade térmica é usada nas análises de estado estável e térmicas transientes.

DESLOCAMENTO/DEFORMAÇÃO

Exemplo de uma barra tracionada:



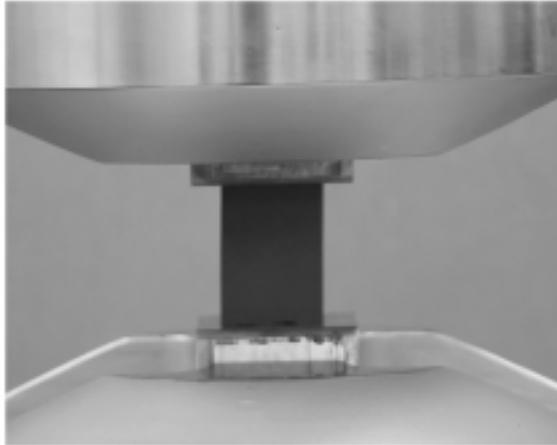
Deslocamento: $u = f(x)$

$$u = l - l_0$$

Deformação:

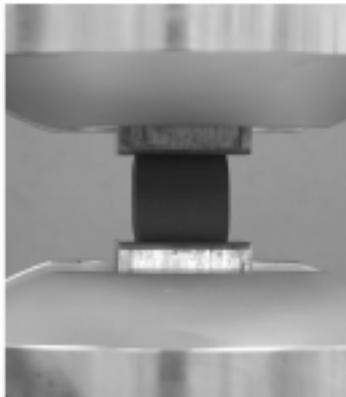
$$\epsilon_x = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Coeficiente de Poisson



Representa a relação entre as deformações lateral e longitudinal na faixa de elasticidade. A razão entre essas deformações é uma constante denominada coeficiente de Poisson.

$$\nu = - \frac{\epsilon_{lat}}{\epsilon_{long}}$$



O sinal negativo é utilizado pois o alongamento longitudinal (deformação positiva) provoca contração lateral (deformação negativa) e vice-versa.

FATOR DE SEGURANÇA

O fator de segurança (F.S.) é a relação entre a carga de ruptura F_{rup} e a carga admissível F_{adm} .

O fator de segurança é um número maior que 1 a fim de evitar maior possibilidade de falha.

Valores específicos dependem dos tipos de materiais usados e da finalidade pretendida da estrutura ou máquina.

$$F.S. = \frac{F_{rup}}{F_{adm}}$$

$$F.S. = \frac{\sigma_{rup}}{\sigma_{adm}}$$

$$F.S. = \frac{\tau_{rup}}{\tau_{adm}}$$

O dimensionamento é a determinação das dimensões das peças. Para tanto é preciso fixar, para cada material, a tensão máxima que pode ser atingida, mantendo condições de segurança, quando da aplicação de esforços. Esta tensão recebe o nome de tensão admissível.

FATOR DE SEGURANÇA

Coeficiente	Carregamento	Tensão no material	Propriedades do material	Ambiente
1,2 - 1,5	Exatamente conhecido	Exatamente conhecida	Exatamente conhecidas	Totalmente sob controle
1,5 - 2,0	Bem conhecido	Bem conhecida	Exatamente conhecidas	Estável
2,0 - 2,5	Bem conhecido	Bem conhecida	Razoavelmente conhecidas	Normal
2,5 - 3,0	Razoavelmente conhecido	Razoavelmente conhecida	Ensaçadas aleatoriamente	Normal
3,0 - 4,0	Razoavelmente conhecido	Razoavelmente conhecida	Não ensaiadas	Normal
4,0 - 5,0	Pouco conhecido	Pouco conhecida	Não ensaiadas	Variável

Modelos de material

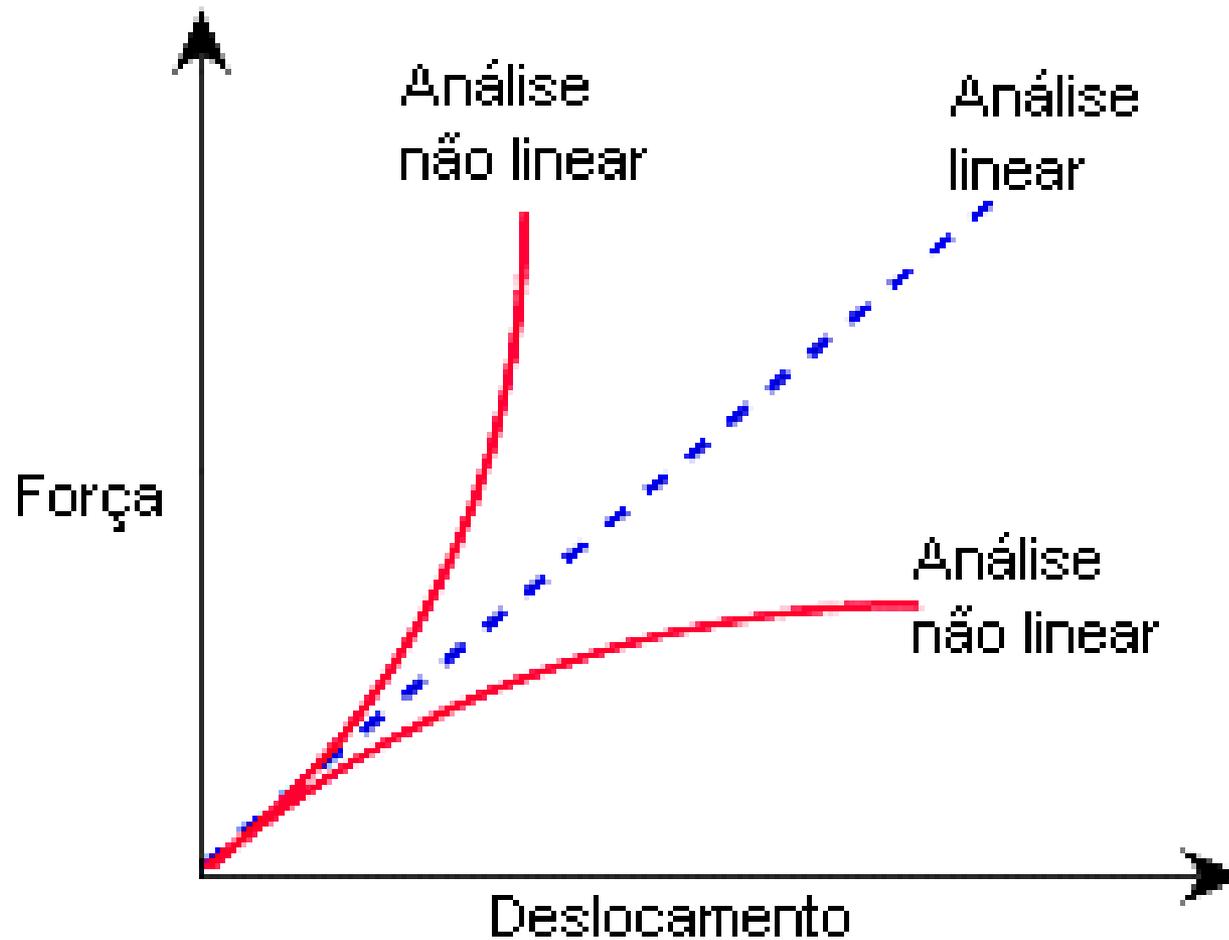
Um modelo de material descreve a relação tensão-deformação de um material. Os modelos de materiais disponíveis dependem do tipo de estudo ativo.

A seguir é apresentada uma lista dos modelos de material disponíveis em relação ao estudo ativo.

Modelo de material:	Structural and Thermal	Não linear	Teste de queda	Dinâmica linear
Isotrópico linear elástico	✓	✓	✓	✓
Ortotrópico linear elástico	✓	✓		✓
Elástico não linear		✓		
Plasticidade		✓	✓ (modelo de von Mises)	
Hyperelasticity		✓		
Viscoelasticity		✓		
Fluência		✓		
Nitinol		✓		

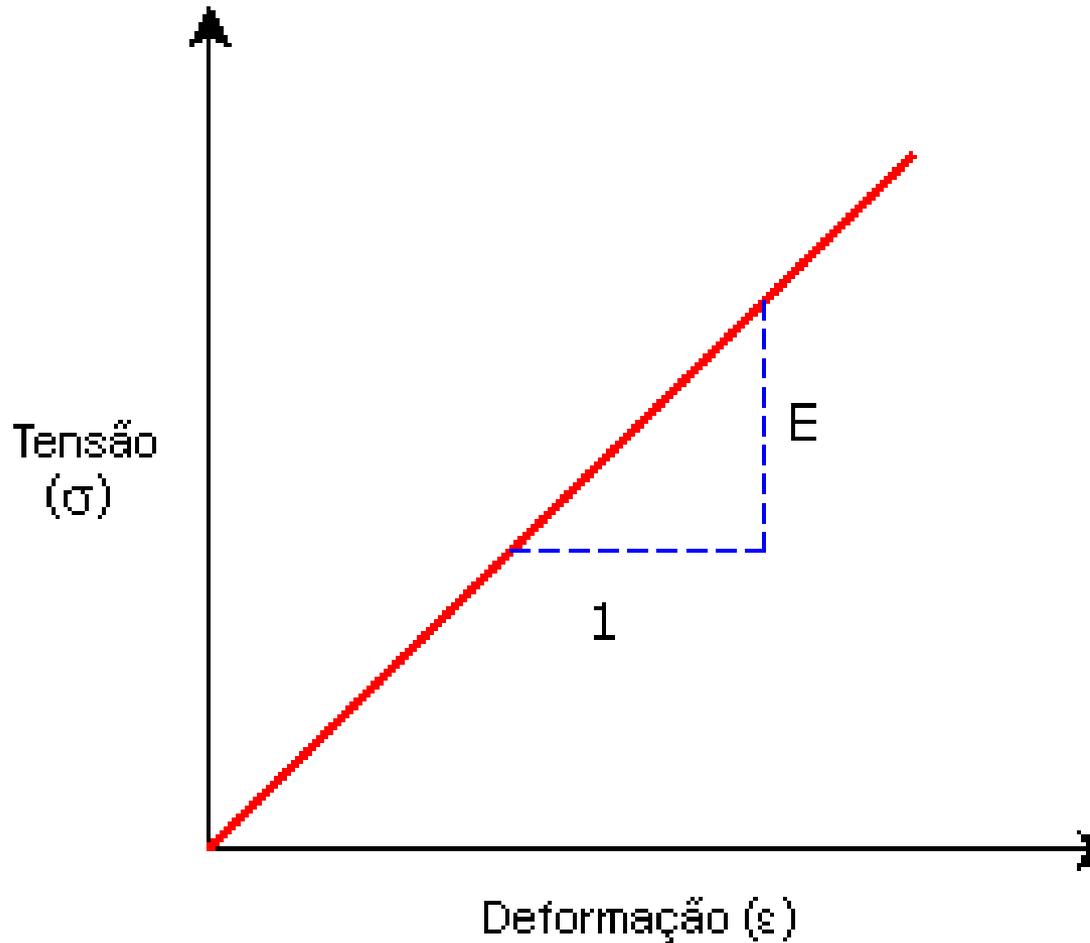
Além dos modelos de material mencionados acima, você pode definir propriedades de material dependentes da temperatura.

ANÁLISE LINEAR



Em um material linear, a relação tensão/deformação é linear.

A inclinação da linha é o módulo elástico do material (E)



Pressuposição de linearidade

A resposta induzida é diretamente proporcional às cargas aplicadas. Por exemplo, se você duplicar a magnitude das cargas, a resposta do modelo (deslocamentos, deformações e tensões) será duplicada. Você pode assumir a condição de linearidade se as seguintes condições forem satisfeitas: A tensão mais alta está no intervalo linear da curva de tensão-deformação, caracterizada por uma linha reta que começa na origem. À medida que a tensão aumenta, os materiais demonstram comportamento não linear acima de determinados níveis de tensão. Essa condição determina a tensão deve estar abaixo desse nível. Alguns materiais, como a borracha, demonstram uma relação não linear de tensão-deformação, mesmo para tensões baixas.

O deslocamento máximo é consideravelmente menor do que a dimensão característica do modelo. Por exemplo, o deslocamento máximo de uma placa deve ser consideravelmente menor do que sua espessura e o deslocamento máximo de uma viga deve ser consideravelmente menor do que a menor dimensão de sua seção transversal.

Pressuposição de elasticidade

As cargas não causam qualquer distorção permanente. Em outras palavras, presume-se que o modelo seja perfeitamente elástico. Um modelo perfeitamente elástico retorna à sua forma original quando as cargas são removidas.

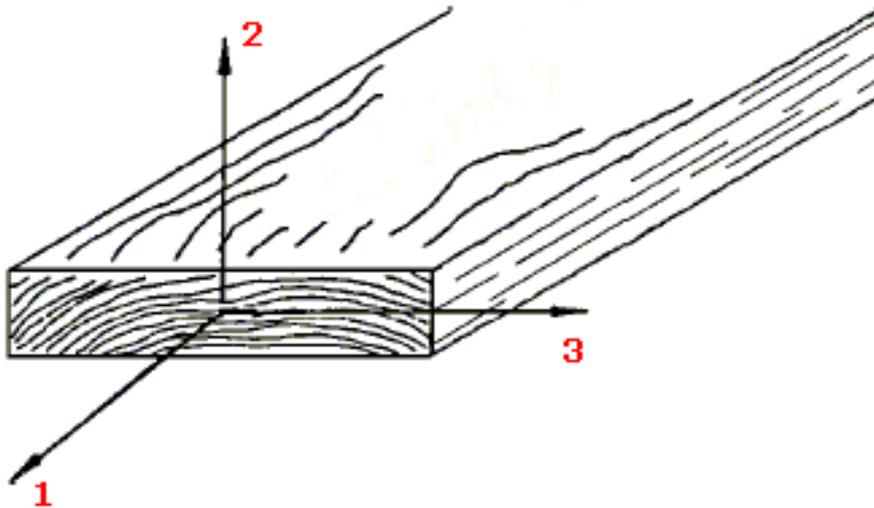
Materiais isotrópicos e ortotrópicos

Um material é isotrópico se suas propriedades mecânicas e térmicas são as mesmas em todas direções. Um material é ortotrópico se suas propriedades térmicas são únicas e independentes nas três direções mutuamente perpendiculares.

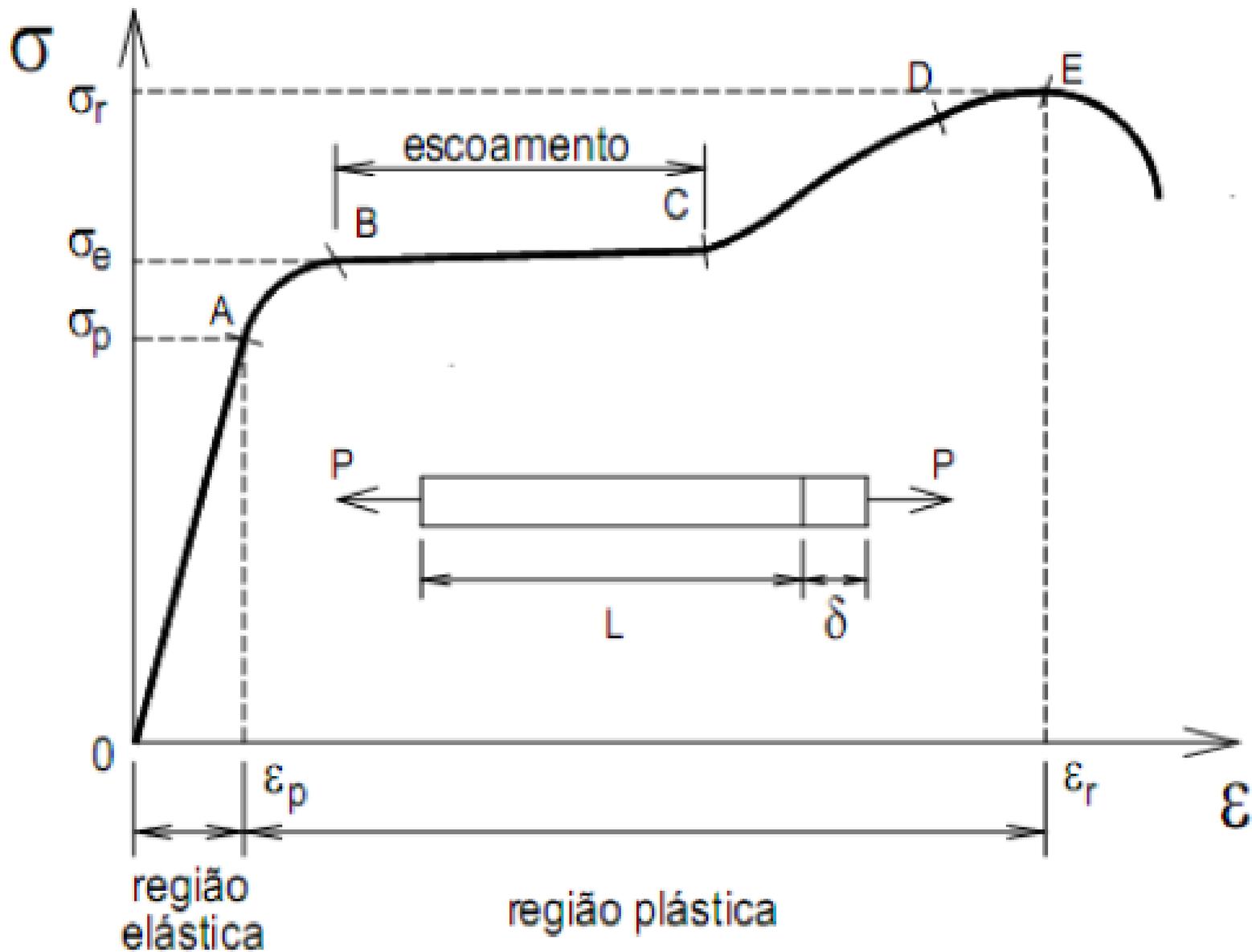
Os materiais isotrópicos podem ter estruturas microscópicas homogêneas ou não homogêneas. Por exemplo, o aço demonstra comportamento isotrópico, apesar de sua estrutura microscópica ser não homogênea.

Um material é ortotrópico se suas propriedades térmicas são únicas e independentes nas três direções mutuamente perpendiculares. Exemplos de materiais ortotrópicos são a madeira, vários cristais e metais laminados

Por exemplo, as propriedades mecânicas da madeira em um determinado ponto são descritas nas direções longitudinal, radial e tangencial. O eixo longitudinal (1) é paralelo à direção da fibra (grã); o eixo radial (2) é normal aos anéis de crescimento e o eixo tangencial (3) é tangente aos anéis de crescimento.



Diz-se que um material é isotrópico se suas propriedades não variam com a direção. Os materiais isotrópicos têm, portanto, módulos elásticos, coeficiente de Poisson, coeficientes de expansão e condutividade térmica, etc., idênticos em todas as direções. O termo isotérmico é algumas vezes usado para qualificar materiais sem direção preferencial quanto aos seus coeficientes de expansão térmica.



Componentes da tensão

VON	Tensão de von Mises
P1	tensão normal na primeira direção principal
P2	tensão normal na segunda direção principal
P3	tensão normal na terceira direção principal
INT:	Intensidade da tensão = P1-P3
SX	tensão normal na direção X da geometria de referência selecionada
SY	tensão normal na direção Y da geometria de referência selecionada
SZ	tensão normal na direção Z da geometria de referência selecionada
TXY	tensão de cisalhamento na direção Y agindo no plano YZ da geometria de referência selecionada
TXZ	tensão de cisalhamento na direção Z agindo no plano YZ da geometria de referência selecionada
TYZ	Shear stress in the Z-direction acting in the XZ plane of the selected reference geometry Shear stress in the Z-direction acting in the XZ plane of the selected reference geometry
ERR	Erro de norma de energia
CP:	Pressão de contato
ILTXZ	Cisalhamento interlaminar no plano XZ
ILTYZ	Cisalhamento interlaminar no plano YZ

Modelo de plasticidade - von Mises

$$F = \sqrt{3}\bar{\sigma} - \sigma_Y = 0$$

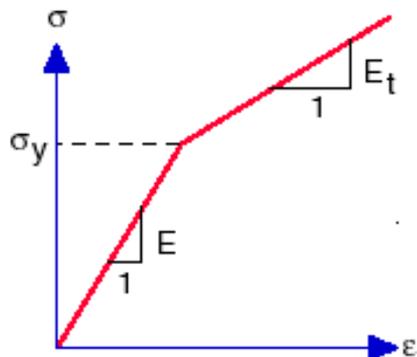
O critério de resistência pode ser escrito desta forma:

onde $\bar{\sigma}$ é a tensão eficaz e σ_Y é o limite de resistência dos testes uniaxiais. O modelo de von Mises pode ser usado para descrever o comportamento de metais. Devem ser observadas as considerações a seguir quando este modelo de materiais for usado:

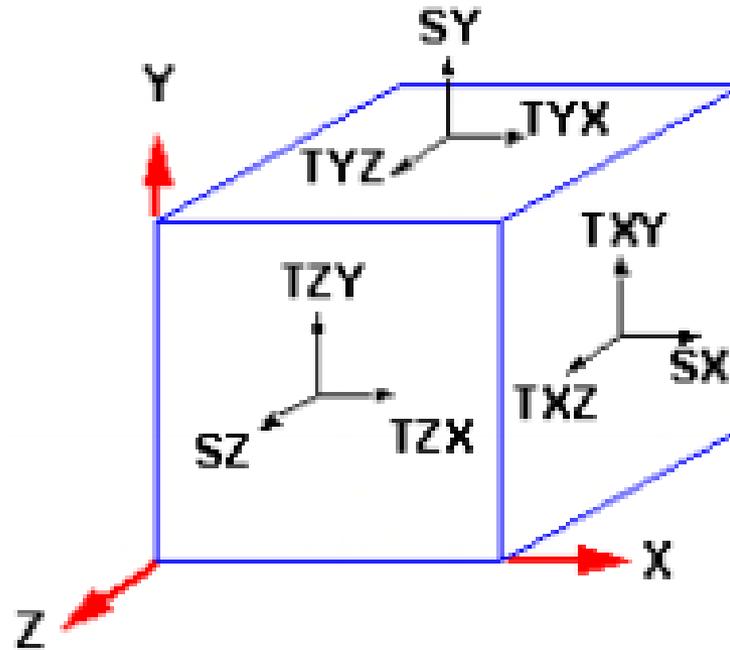
- É assumida uma plasticidade de pequena deformação quando são usados pequenos ou grandes deslocamentos.
- É feita uma pressuposição de regra de fluxo associada.
- As regras de endurecimento isotrópico e cinemático estão disponíveis. Uma combinação linear de endurecimento isotrópico e cinemático é implementada quando tanto o raio como o centro da superfície de escoamento no espaço desviatório podem variar com relação ao histórico de carregamento.

O parâmetro **RK** define a proporção de endurecimento cinemático e isotrópico. Para o endurecimento isotrópico puro, o parâmetro **RK** tem o valor 0. O raio da superfície de escoamento se expande mas seu centro permanece fixo no espaço desviatório. Para o endurecimento cinemático puro, o parâmetro **RK** tem o valor 1. O raio da superfície de escoamento se permanece constante enquanto seu centro pode se mover no espaço desviatório.

Para a plasticidade, é possível inserir uma curva de tensão-deformação uniaxial bilinear ou multilinear. Para a definição da curva de tensão-deformação bilinear, o limite de escoamento, o módulo elástico e o módulo tangente são inseridos pela caixa de diálogo Material. Para a definição da curva de tensão-deformação multilinear deve ser definida uma curva de tensão-deformação.

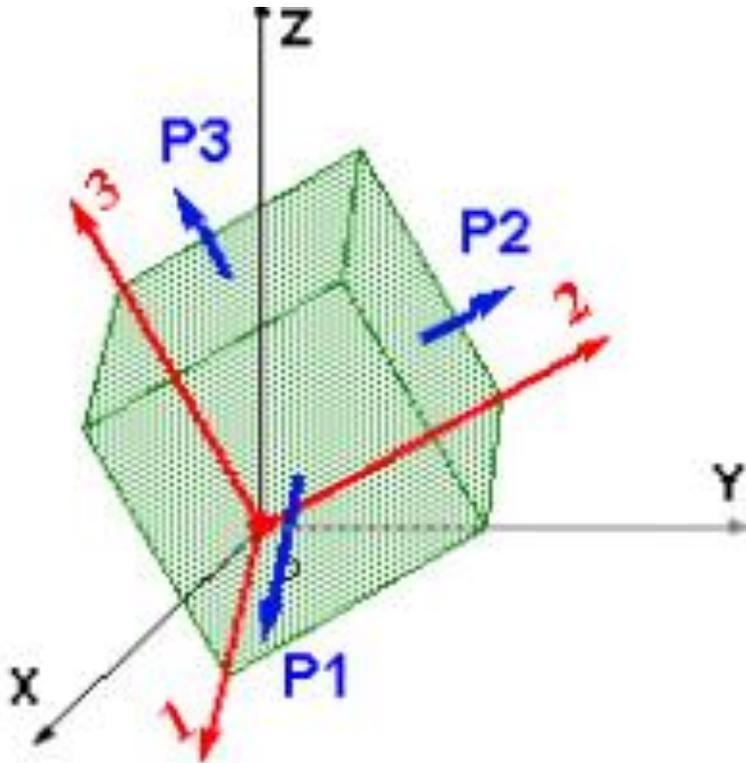


TENSÃO VON MISES – TENSÃO EQUIVALENTE



S_X , S_Y e S_Z são chamadas tensões normais.
 T_{XY} , ..., T_{ZY} são chamadas tensões de cisalhamento.

TENSÕES PRINCIPAIS



P1

Tensão normal na primeira direção principal (maior).

P2

Tensão normal na segunda direção principal (intermediária).

P3

Tensão normal na terceira direção principal (menor)

FATOR DE SEGURANÇA

Todos	Seleciona todos os corpos para plotar o fator de segurança.
Corpos selecionados	Seleciona um ou vários corpos no menu para plotar o fator de segurança.
Critério	Selecione um dos seguintes: Tensão de von Mises máxima Tensão de cisalhamento máxima (Tresca) Tensão de Mohr-Coulomb Tensão normal máxima Automático
Disponível somente para modelos com casca composta.	Critério de Tsai-Hill Critério de Tsai-Wu Critério de tensão máxima

FATOR DE SEGURANÇA

Ao selecionar Automático, o software seleciona o critério de falha mais adequado de todos os tipos de elementos. O software aplica as seguintes condições: O Critério de falha predeterminado atribuído na caixa de diálogo Material de cada material.

Se não atribuir um critério de falha predeterminado na caixa de diálogo Material, o software atribui o critério de tensão de Mohr-Coulomb. Se você tiver selecionado o critério Tensão de Von Mises máxima ou Cisalhamento máximo (Tresca) para o material de uma viga, o software usará o limite de escoamento como tensão permissível.

Se houver selecionado o critério Tensão normal máxima ou Mohr-Coulomb para o material de uma viga, o software usará a resistência à tração como tensão permissível.

FATOR DE SEGURANÇA



Unidades de medida

Ajusta as unidades de tensão.

Definir limite de tensão:

como o Limite de escoamento Define o limite de tensão como o limite de escoamento.

como o Limite &máximo Define o limite de tensão como o limite máximo.

como Definido pelo usuário. Ajusta o limite de tensão para um valor determinado pelo usuário.



Se o critério tensão de Mohr-Coulomb tiver sido selecionado na etapa anterior, você precisa definir os limites de tensão de tração e compressão.

Fator de multiplicação

Permite digitar um fator de multiplicação para cálculo do limite de tensão selecionado. Por exemplo, se você aplicar um fator de 0,5 para um limite de tensão de limite de escoamento de 2000 psi, o Fator de segurança usa $0,5 \times 2000 = 1000$ psi para o limite de tensão.

Resultados da viga.



Resultados de casca:

Selecione a face da casca para a qual deseja executar o Fator de segurança:

Superior

Inferior

Mínimo

Máximo



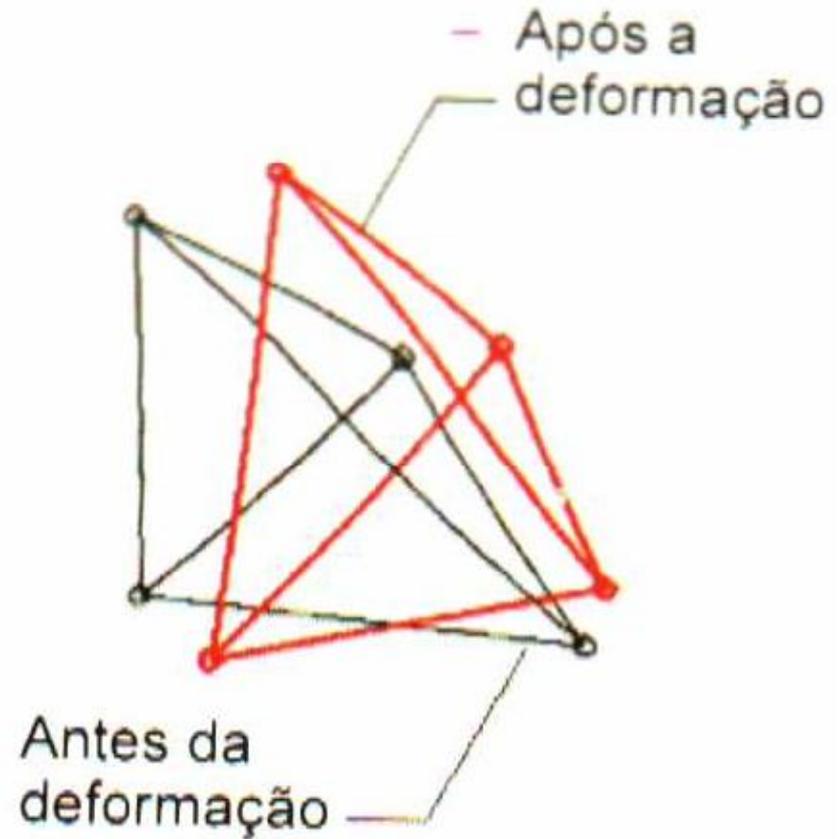
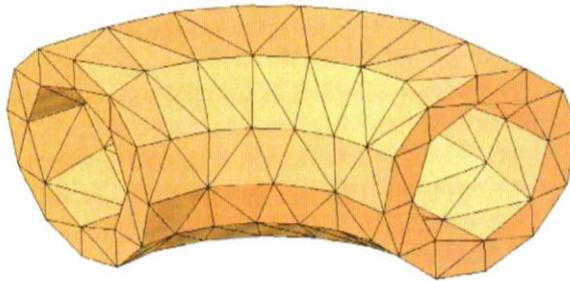
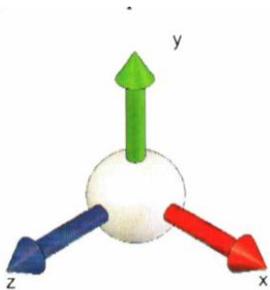
Execute duas verificações: uma para a face superior e a outra para a face inferior.

ELEMENTOS FINITOS

- Divisão da geometria em entidades relativamente pequenas, chamadas de elementos finitos, não são infinitamente pequenos, mas razoavelmente pequenos quando comparados com o tamanho global do modelo.
- O solver aproxima a solução desejada para o modelo inteiro com a montagem de soluções simples para elementos individuais.

ELEMENTO TETRAÉDRICOS SÓLIDOS DE PRIMEIRA ORDEM

- 4 PONTOS JACOBIANOS (NÓS)
- FACES PLANAS DEVEM PERMANECER APÓS PLANAS DEPOIS DOS ELEMENTOS SOFREREM UMA DEFORÇÃO SOB APLICAÇÃO DE CARGA
- CADA NÓ TEM 3 GRAUS DE LIBERDADE



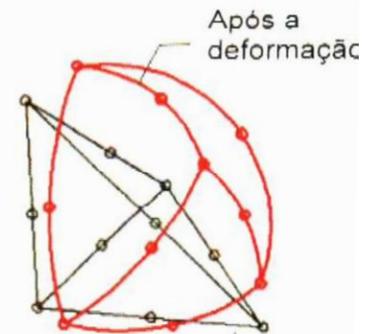
Elementos tetraédricos sólidos de segunda ordem

Os elementos tetraédricos sólidos de segunda ordem (alta qualidade) modelam o campo de deslocamento de segunda ordem (parabólico) e, conseqüentemente, o campo de tensão de primeira ordem (linear) (observe que a derivada de uma função parabólica é uma função linear). O campo de deslocamento de segunda ordem dá a esse tipo de elemento o nome de: elementos de segunda ordem.

Cada elemento tetraédrico de segunda ordem tem dez nós (quatro nós de canto e seis nós de meio) e cada nó tem três graus de liberdade.

As arestas e as faces dos elementos de segunda ordem podem assumir formas curvilíneas se os elementos precisarem mapear geometrias curvas e/ou quando experimentarem deformações sob uma carga.

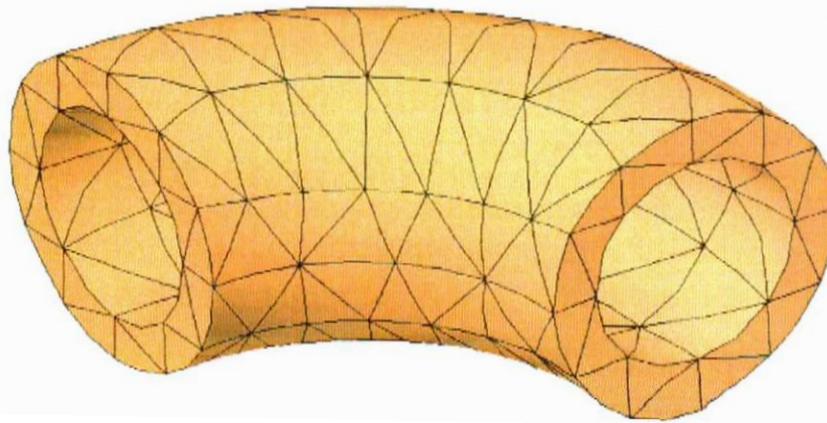
Por isso, estes elementos mapeiam precisamente a geometria curvilínea, como ilustrado na geometria abaixo.



Antes da deformação

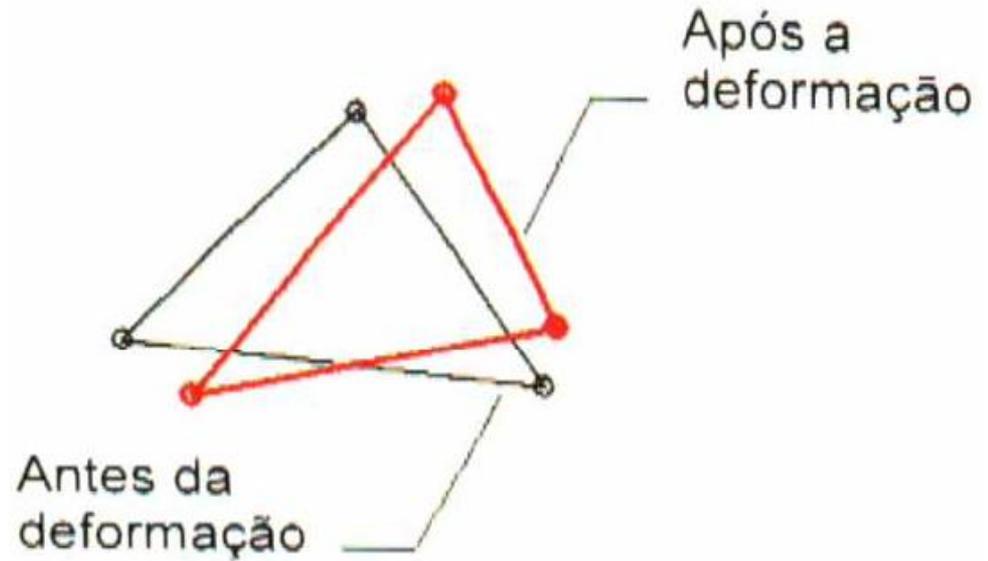
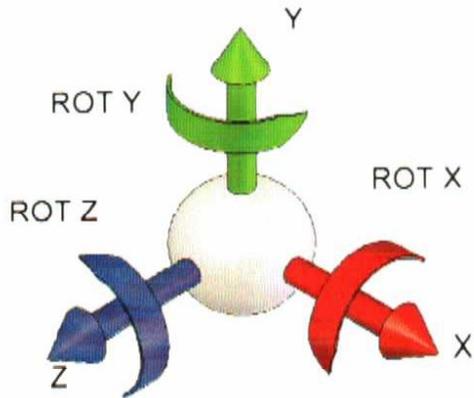
Após a deformação

10 NÓS



ELEMENTO DE CASCA TRIANGULARES DE PRIMEIRA ORDEM

- 3 PONTOS JACOBIANOS (NÓS)
- FACES PLANAS DEVEM PERMANECER APÓS PLANAS DEPOIS DOS ELEMENTOS SOFERREM UMA DEFORÇÃO SOB APLICAÇÃO DE CARGA
- CADA NÓ TEM 6 GRAUS DE LIBERDADE

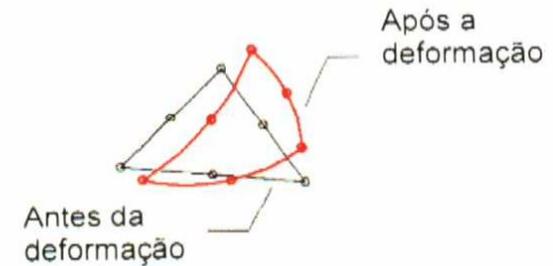


ELEMENTO DE CASCA TRIANGULARES DE SEGUNDA ORDEM

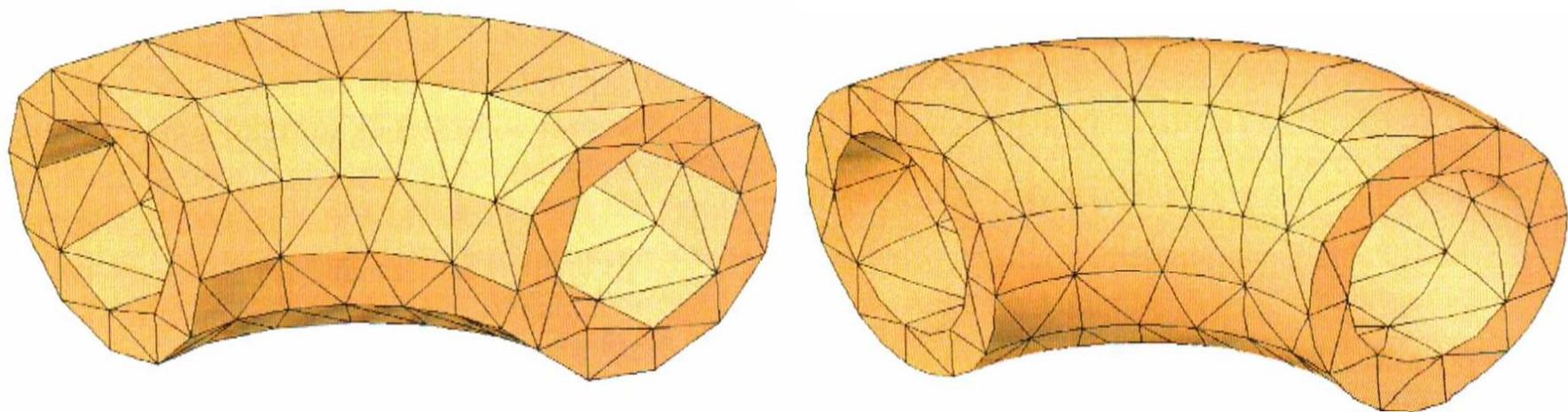
Elementos de casca triangulares de segunda ordem

Os elementos de casca triangulares de segunda ordem (alta qualidade) modelam o campo de deslocamento de segunda ordem e o campo de tensão de primeira ordem (linear).

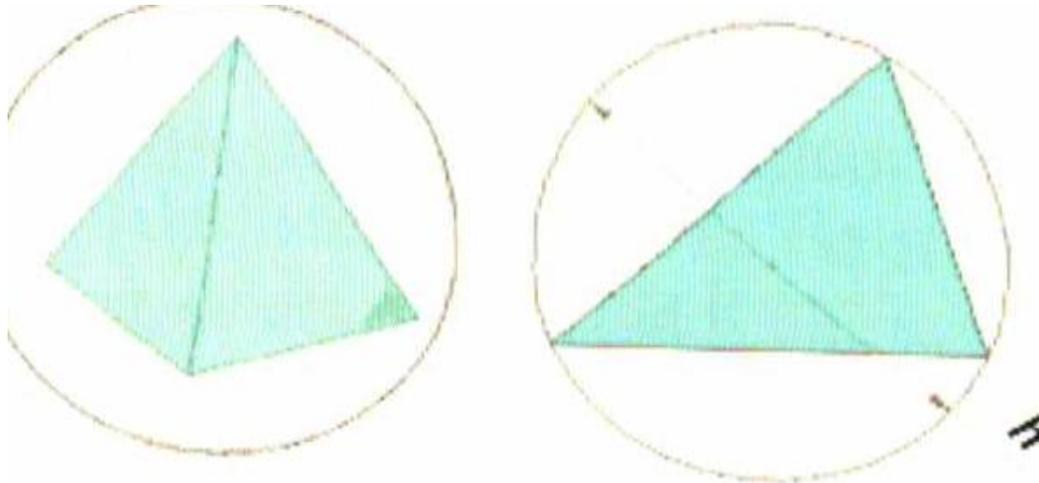
Cada elemento de casca de segunda ordem tem seis nós: três nós de canto e três no meio das arestas. As arestas e as faces dos elementos de casca de segunda ordem podem assumir formas curvilíneas no processo de geração de malha quando for necessário mapear geometrias curvas e/ou durante o processo de deformação sob uma carga.



COMPARATIVO CASCA – PRIMEIRA ORDEM COM SEGUNDA ORDEM



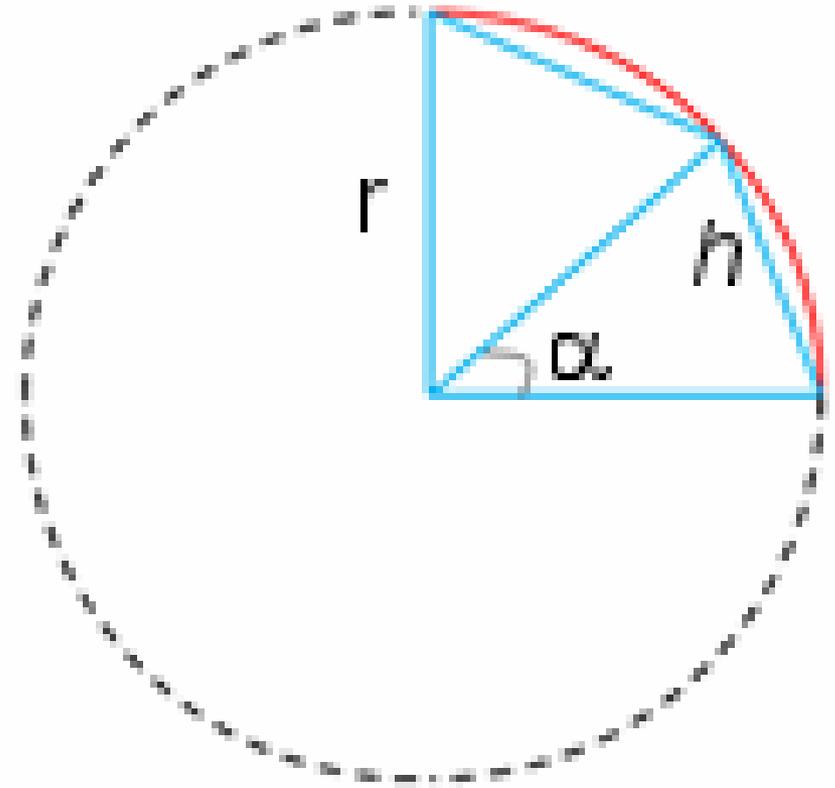
TAMANHO ELEMENTO



TAMANHO DO ELEMENTO É DEFINIDO COMO DIÂMETRO DE UMA ESFERA QUE DELIMITA O ELEMENTO

TAMANHO ELEMENTO

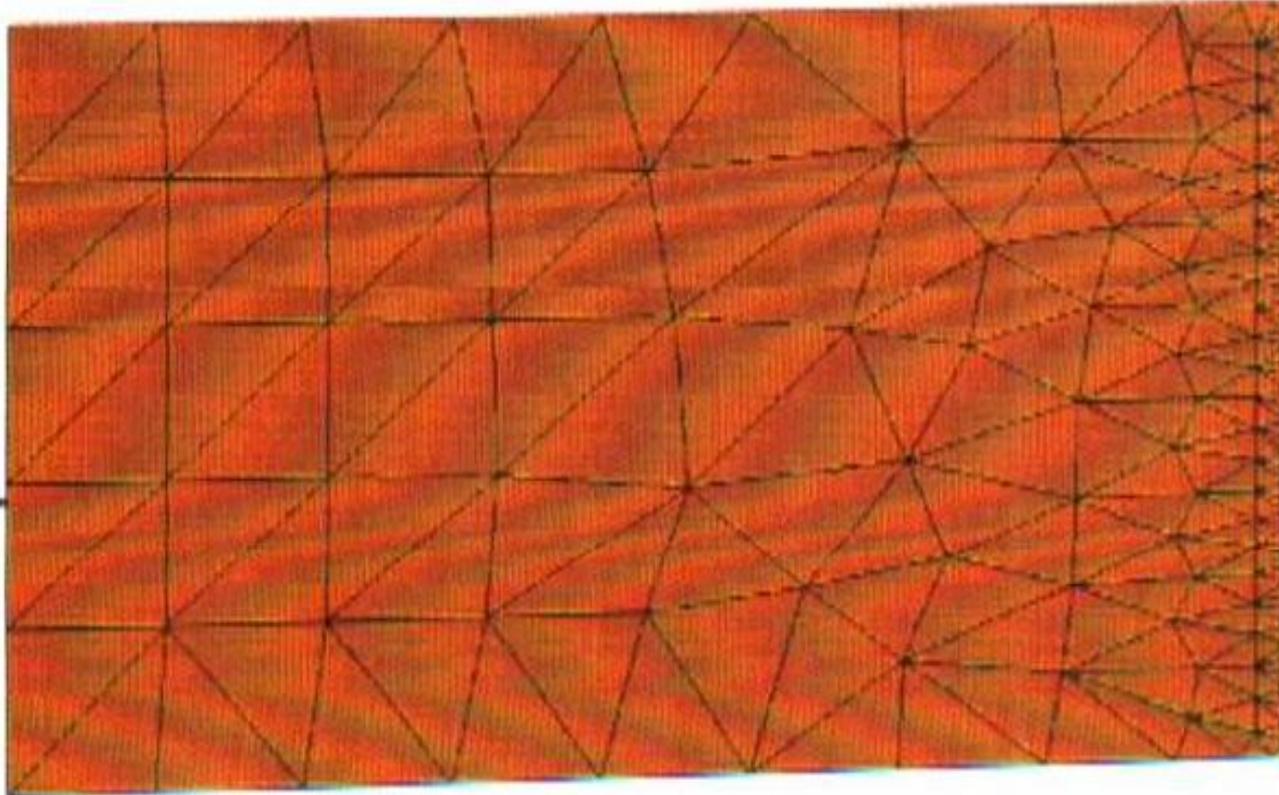
- Para uma malha baseada em curvatura, o tamanho de elemento é determinado matematicamente pelo número mínimo de elementos que cabem em um círculo hipotético.
- Considere o arco de um quarto de círculo como parte do modelo. Quando Número mínimo de elementos em um círculo é definido como 8, o círculo imaginário completo deve conter 8 elementos. Assim, o arco contém 2 elementos.



RAZÃO TAMANHO ELEMENTO MÁXIMO E TAMANHO ELEMENTO MÍNIMO

TAMANHO
ELEMENTO
MÁXIMO

TAMANHO
ELEMENTO
MÍNIMO



Acessórios de fixação padrão

Tipo de acessório de fixação	Definição
Geometria fixa	<p>Também chamado de suporte rígido; todos os graus de liberdade de translação e rotação estão restritos.</p> <p>Geometria fixa não requer nenhuma informação sobre a direção na qual as restrições são aplicadas.</p>
Rolante/Deslizante	<p>Use a restrição Rolante/Deslizante para especificar que uma face plana pode se mover livremente na direção do seu plano, mas não pode se mover na direção normal a ele. A face pode se contrair ou expandir sob carregamento.</p>
Articulação fixa	<p>Use a restrição articulação para especificar que uma face cilíndrica pode se mover apenas sobre o seu eixo. O raio e o comprimento da face cilíndrica permanecem constantes sob carregamento.</p>

FIXAÇÃO AVANÇADOS

Tipo de acessório de fixação	Definição
Simetria	Esta opção está disponível para ser usada em faces planas. São permitidos deslocamentos no plano e rotação na direção normal ao plano.
Simetria Circular	Esta opção é usada para restringir segmentos que formariam um corpo simétrico em rotação se girassem periodicamente em torno de um eixo específico de revolução.

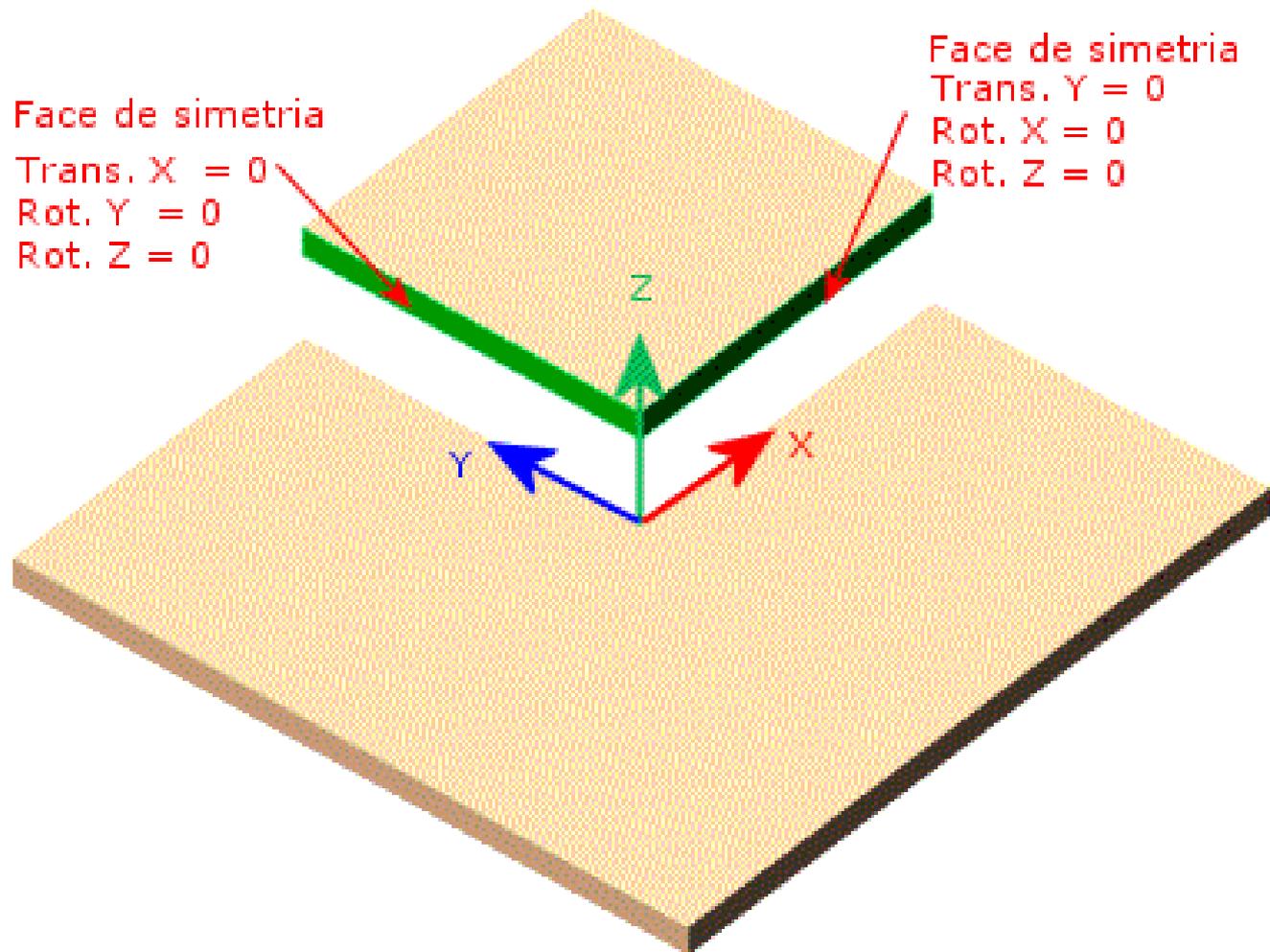
Acessório Fixação

Definição

Usar geometria de referência	Esta opção restringe uma face, uma aresta ou um vértice apenas nas direções desejadas, enquanto deixa as outras direções livres para mover. Você pode especificar as direções desejadas em relação ao plano, eixo, aresta ou face de referência selecionados. O Flyout FeatureManager do SolidWorks é útil para selecionar geometrias de referência (planos e eixos).
Em faces planas	Esta opção define restrições nas direções selecionadas, que são definidas pelas três direções principais da face plana onde as restrições estão sendo aplicadas.
Em faces cilíndricas	Esta opção é semelhante a Em face plana , exceto pelo fato de que as três direções principais de uma face de referência cilíndrica definem as direções em um sistema de coordenadas cilíndrico. Essa opção é muito útil, pois você pode aplicar uma restrição que permite a rotação no eixo associado à face cilíndrica.
Em faces esféricas	Semelhante a Em faces planas e Em faces cilíndricas . As três direções principais de uma face esférica definem as direções das restrições aplicadas em um sistema de coordenadas esféricas.

FIXAÇÃO EM SIMETRIA PARA MODELOS DE CASCA

Simetria plana



SIMETRIA AXIAL

