

# SISTEMAS CAE

**Prof. Fernando Gasi**

**[www.fernandogasi.com](http://www.fernandogasi.com)**

**(arquivos)**

# CAE

## Computer Aided Engineering

### **PARTE 1**

- **REVISÃO SOLIDWORKS**
- **CONCEITOS DE RESISTÊNCIA MATERIAIS**
- **ELEMENTOS FINITOS**
- **PROCESSO DE ANÁLISE**
- **CONTROLES DE MALHA**
- **ANÁLISE DE SÓLIDO**
- **ANÁLISE DE CASCA**
- **PEÇAS SIMÉTRICAS**
- **ANÁLISE DE MONTAGEM**
- **REFINAMENTO DE MALHA**
- **ANÁLISE DE QUEDA E IMPACTO**
- **ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE**

# BIBLIOGRAFIA

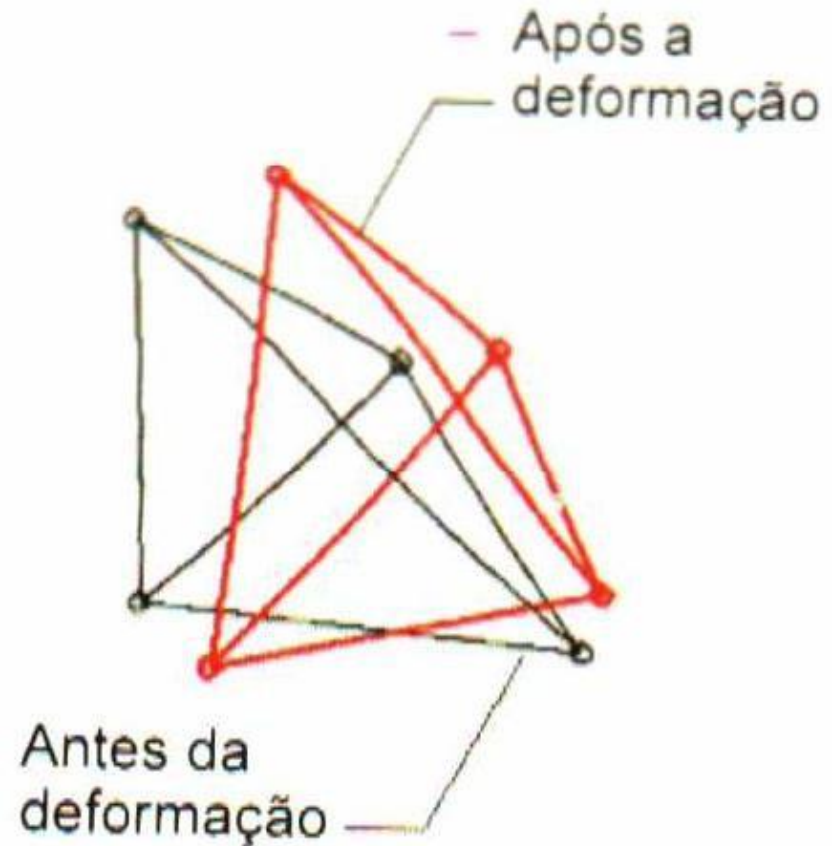
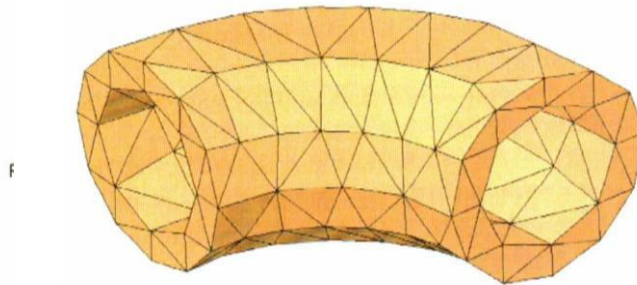
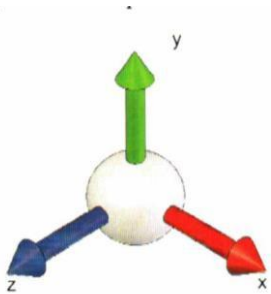
- MATERIAL COMPLETO E COM TUTORIAL
- [www.fernandogasi.com](http://www.fernandogasi.com)

# 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 SOFERREM UMA DEFORÇÃO SOB APLICAÇÃO DE CARGA
- CADA NÓ TEM 3 GRAUS DE LIBERDADE



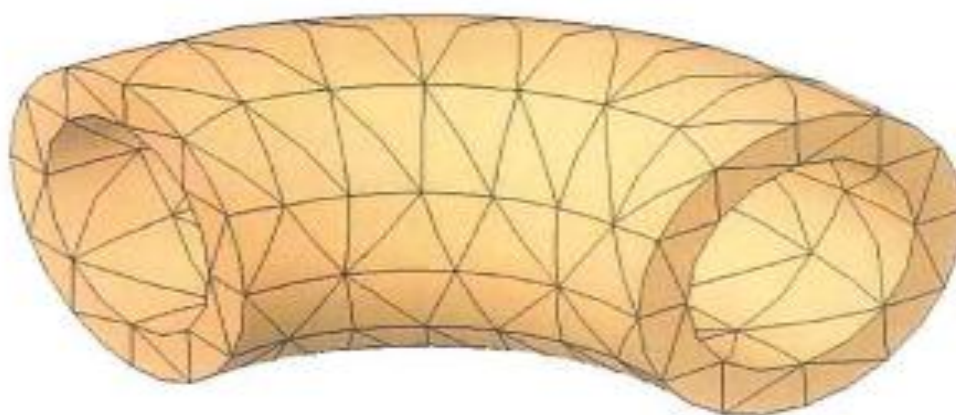
## Elementos tetraédricos sólidos de segunda ordem

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). 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.

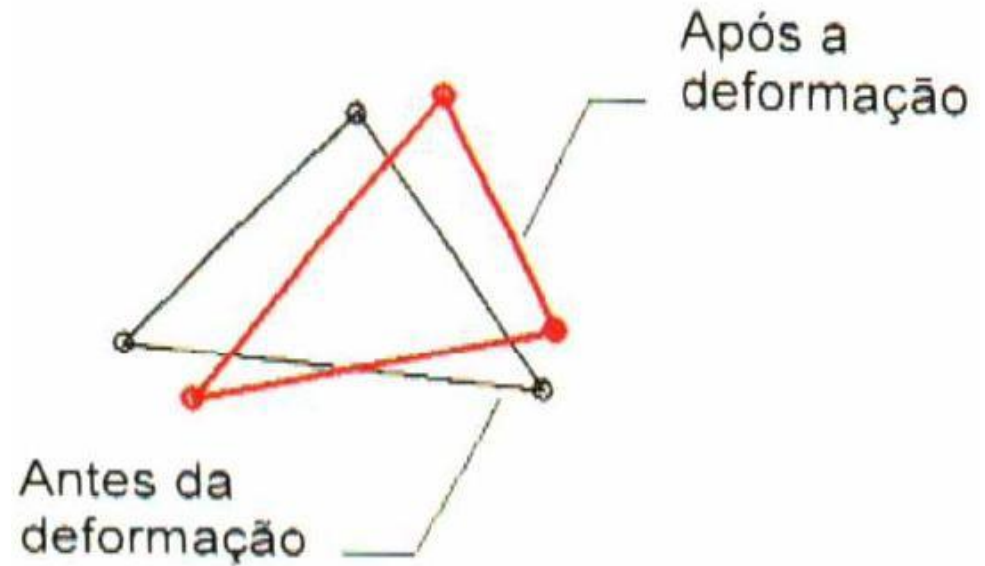
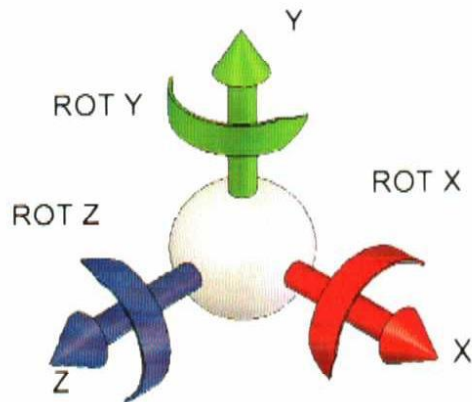
As arestas e as faces dos elementos de segunda ordem podem assumir formas curvilíneas se os elementos precisarem mapear geometrias curvas e/ou quando experimentarem deformações sob uma carga.

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



# ELEMENTO DE CASCA TRIANGULARES DE PRIMEIRA ORDEM

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

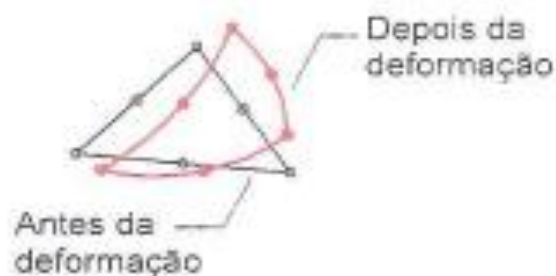


# ELEMENTO DE CASCA TRIANGULARES DE SEGUNDA ORDEM

## 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.

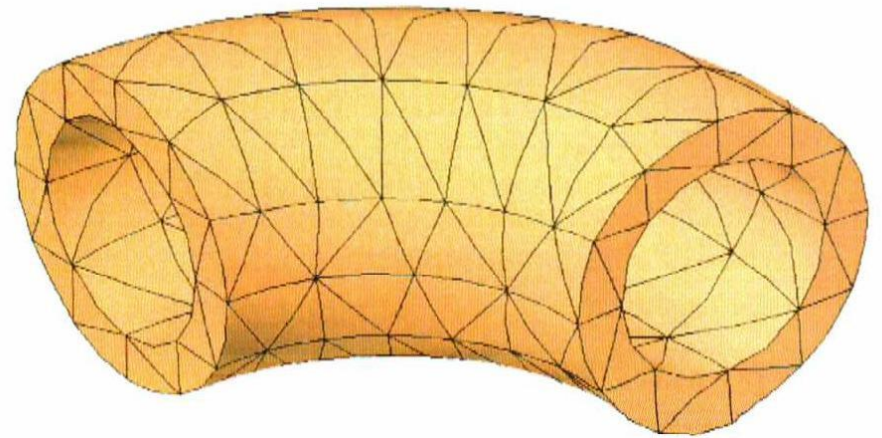
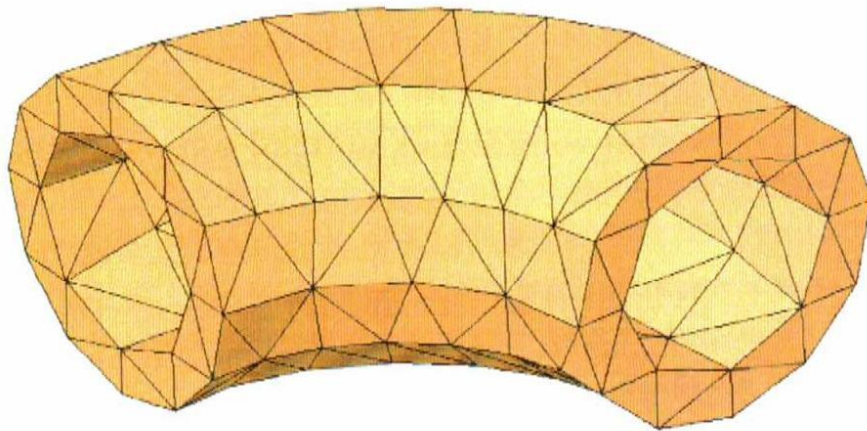


Essa malha de elementos de casca criada com elementos de segunda ordem mapeia com precisão a geometria curvilínea, conforme ilustrado novamente no modelo de tubo curvo.



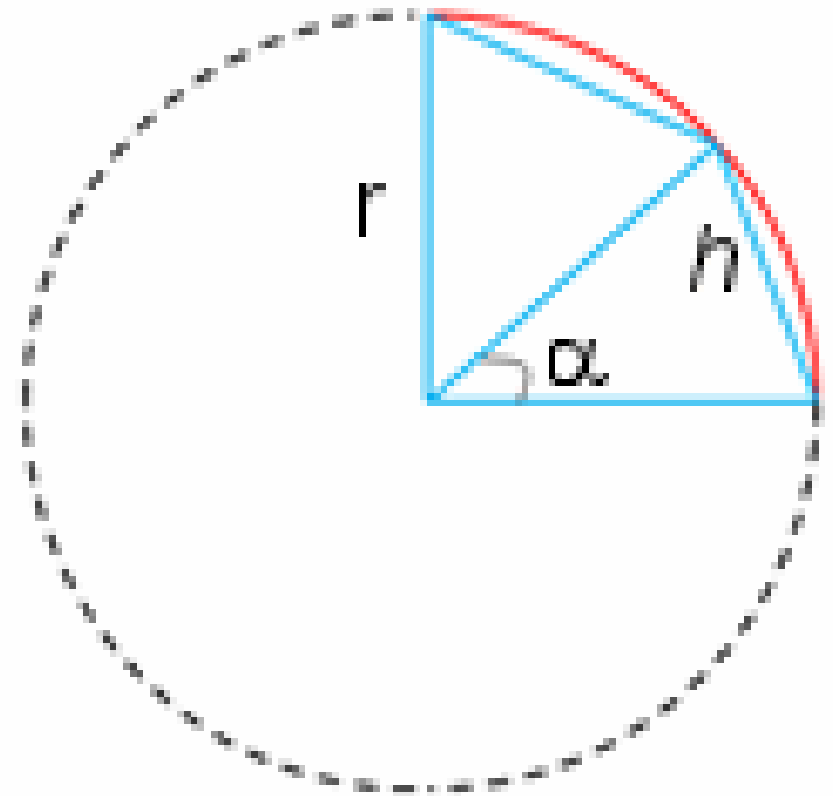


# COMPARATIVO CASCA – PRIMEIRA ORDEM COM SEGUNDA ORDEM

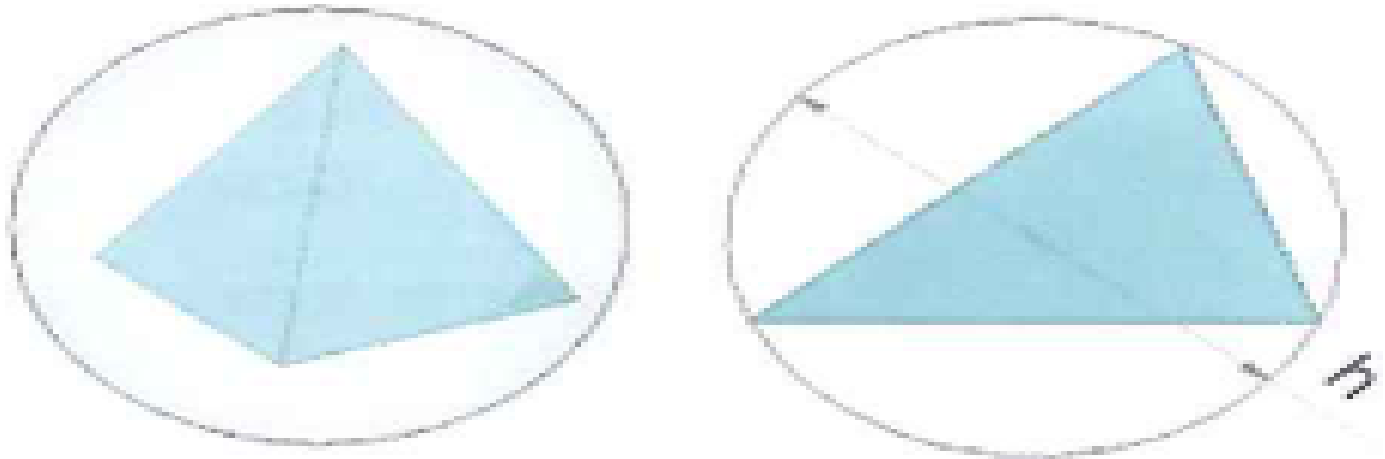


# TAMANHO ELEMENTO

- 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.

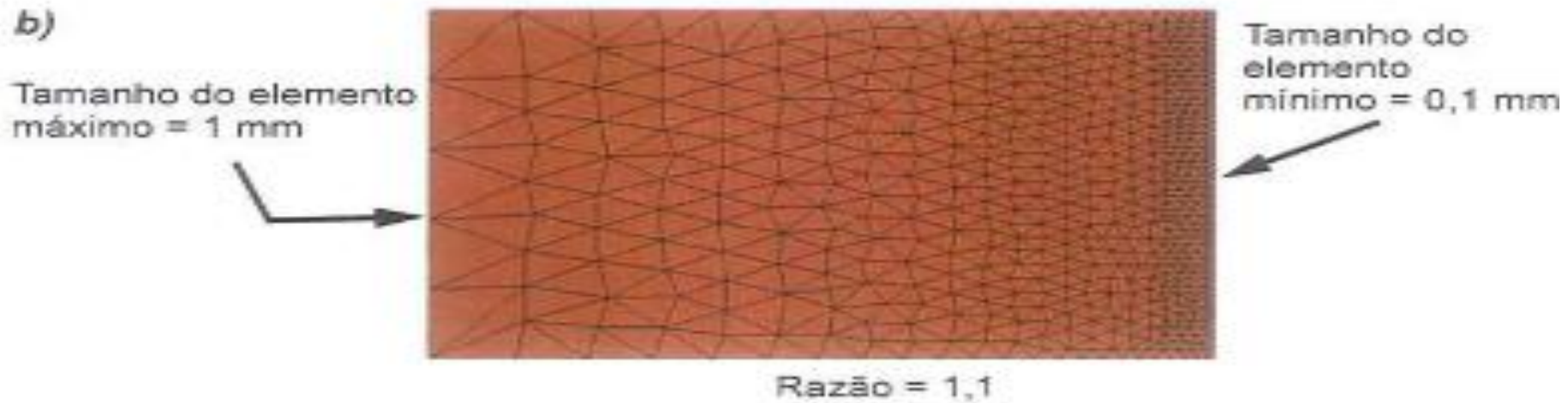


# TAMANHO ELEMENTO



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

# RAZÃO TAMANHO ELEMENTO MÁXIMO E TAMANHO ELEMENTO MÍNIMO



# **CONCEITOS PARA USO DO SOLIDWORKS SIMULATION**

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  $\nu_{XY}$  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.

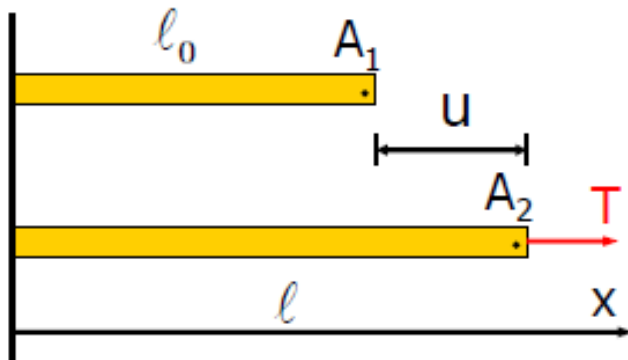
O Coeficiente de expansão térmica é definido como a mudança no comprimento por unidade de comprimento por grau de mudança na temperatura (mudança na deformação normal por unidade de temperatura). Os coeficientes de expansão térmica são usados para análises estáticas, não lineares, de frequência e de 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:  $u = f(x)$

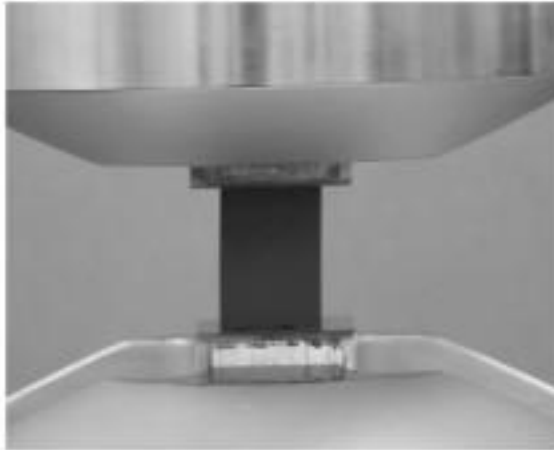
$$u = l - l_0$$

Deformação:

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

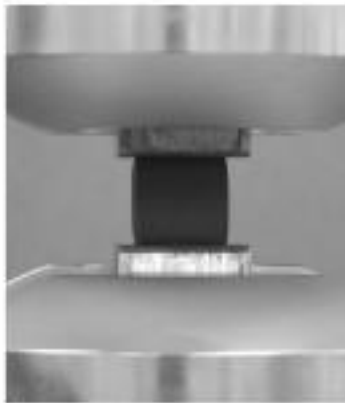


## Coeficiente de Poisson



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 SEGURANCA

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.

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

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

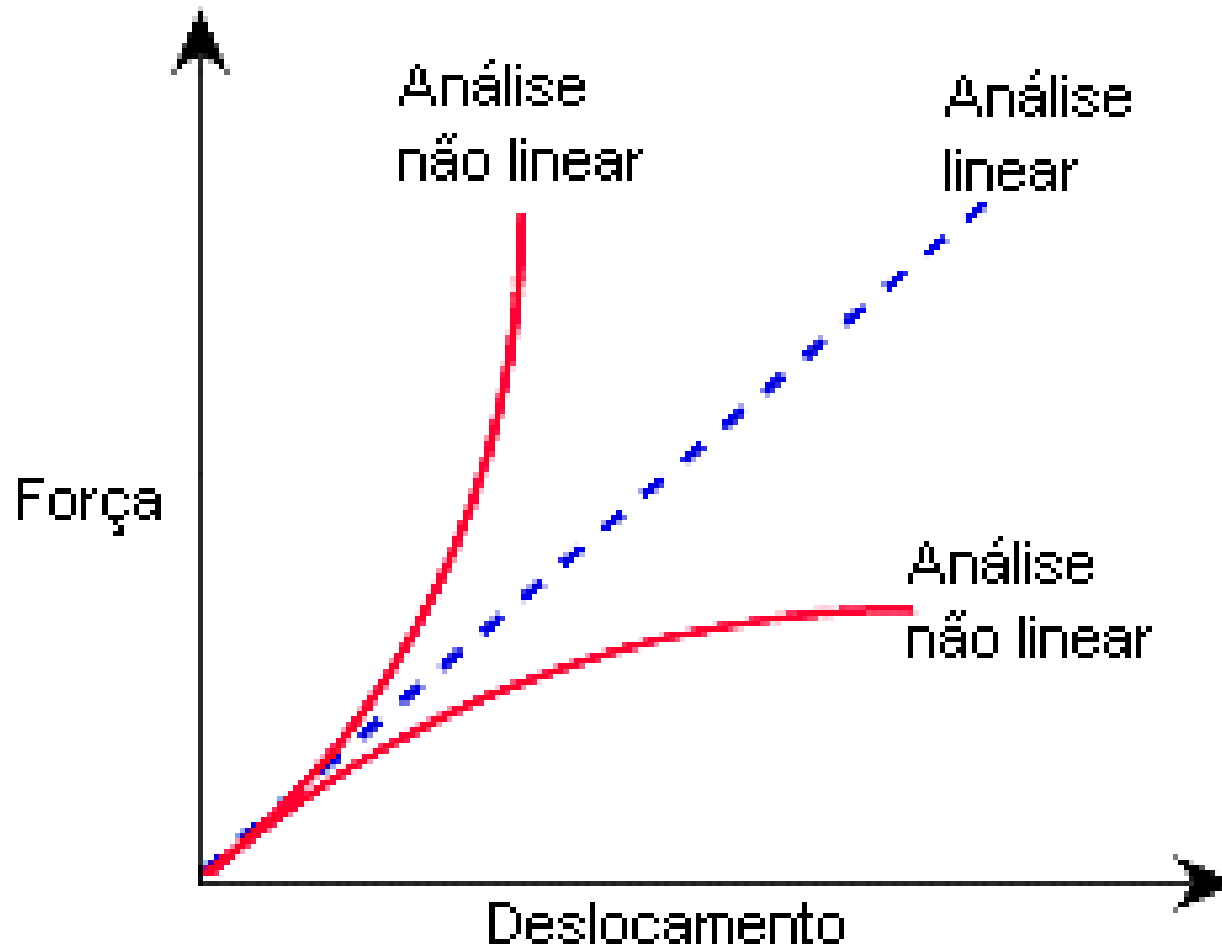
$$F.S. = \frac{\tau_{rup}}{\tau_{adm}}$$

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

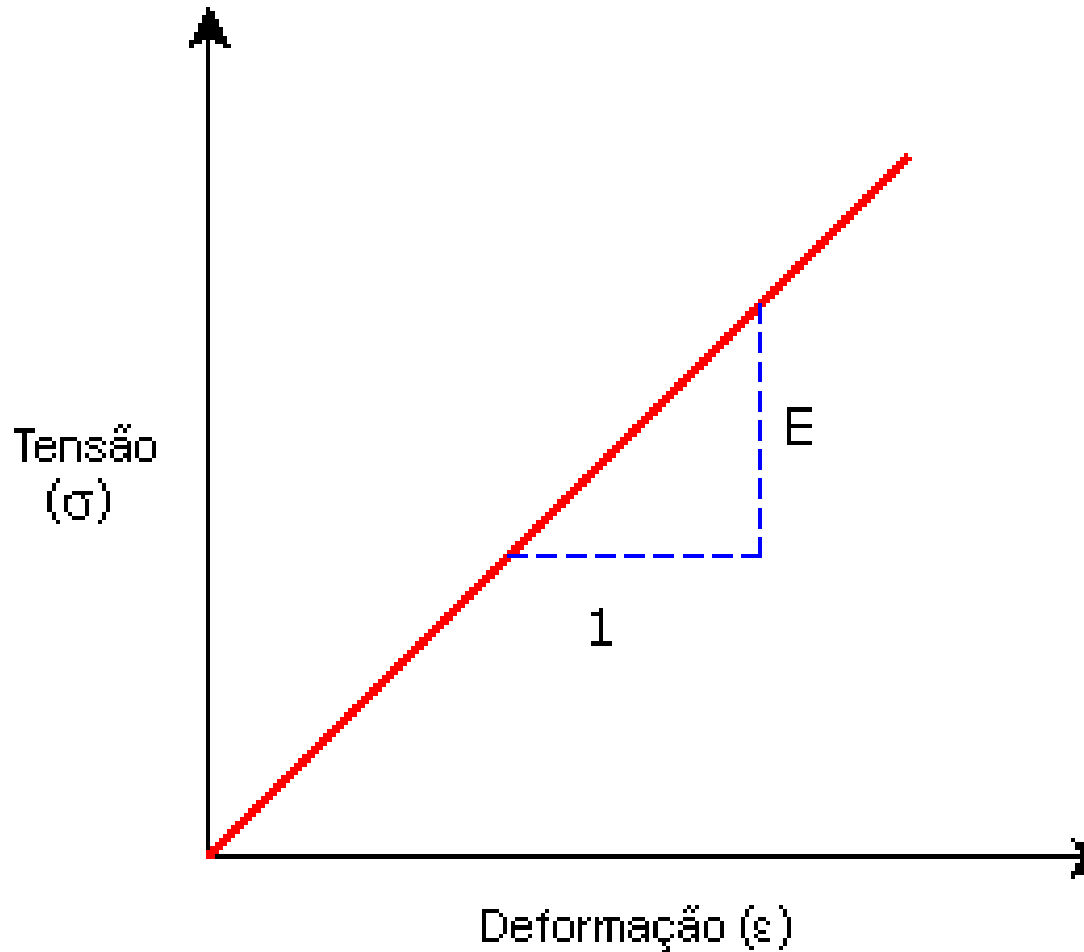
Coeficiente	Carregamento	Tensão no material	Propriedades do material	Ambiente
1,2 - 1,5	Exatamente conhecido	Exatamente conhecida	Exatamente conhecidas	Totalmente sob controle
1,5 - 2,0	Bem conhecido	Bem conhecida	Exatamente conhecidas	Estável
2,0 - 2,5	Bem conhecido	Bem conhecida	Razoavelmente conhecidas	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

# 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.

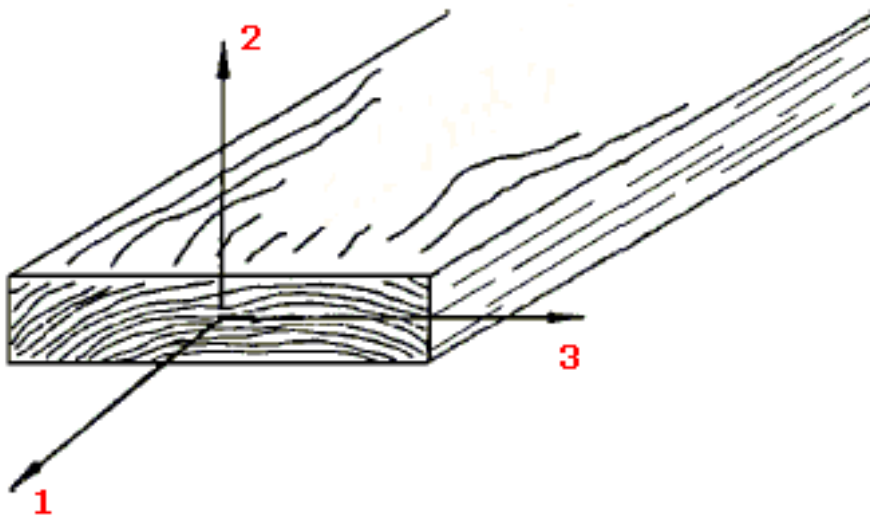
## Materiais isotrópicos e ortotrópicos

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.

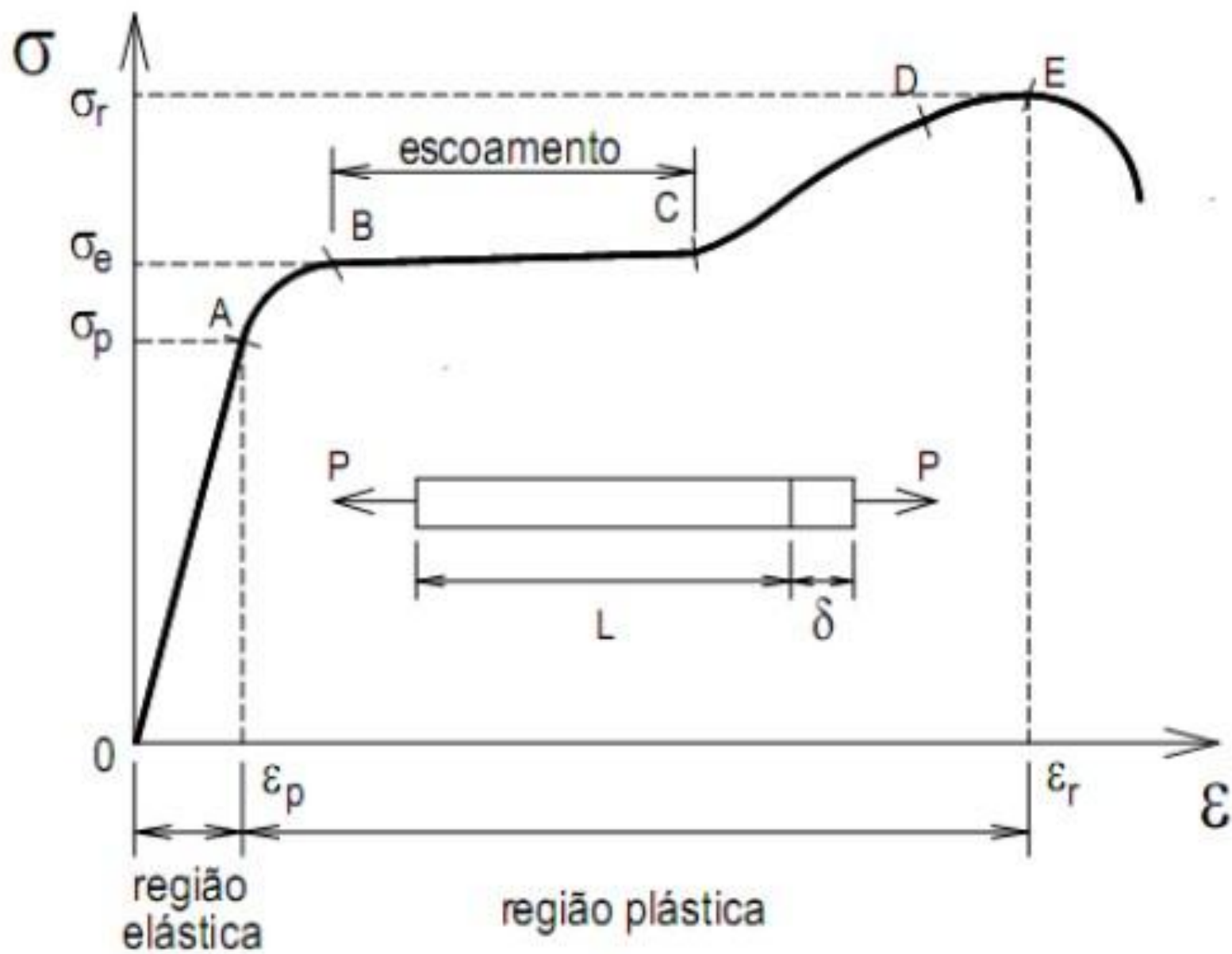
Os materiais isotrópicos podem ter estruturas microscópicas homogêneas ou não homogêneas. Por exemplo, o aço demonstra comportamento isotrópico, apesar de sua estrutura microscópica ser não homogênea.

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

Tensão de von Mises

P1 tensão normal na primeira direção principal  
 tensão normal na segunda direção principal  
 tensão normal na terceira direção principal  
 Intensidade da tensão =  $\sqrt{P1^2 + P2^2 + P3^2}$

tensão normal na direção X da geometria de referência selecionada

tensão normal na direção Y da geometria de referência selecionada

SZ tensão normal na direção Z da geometria de referência selecionada

tensão de cisalhamento na direção Y agindo no plano XZ da geometria de referência selecionada

TXZ tensão de cisalhamento na direção Z agindo no plano YZ da geometria de referência selecionada

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 YZ plane of the selected reference geometry

ERR Erro de norma de energia

CP: Pressão de contato

LTXZ Cisalhamento interlaminar no plano XZ

Cisalhamento interlaminar no plano XZ

# Modelo de plasticidade - von Mises

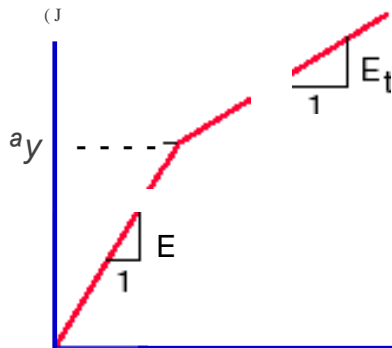
O critério de resistência pode ser escrito desta forma:  $F = \sqrt{3}\sigma - \sigma_Y = 0$

onde  $\sigma$  é a tensão eficaz e  $\sigma_Y$  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:

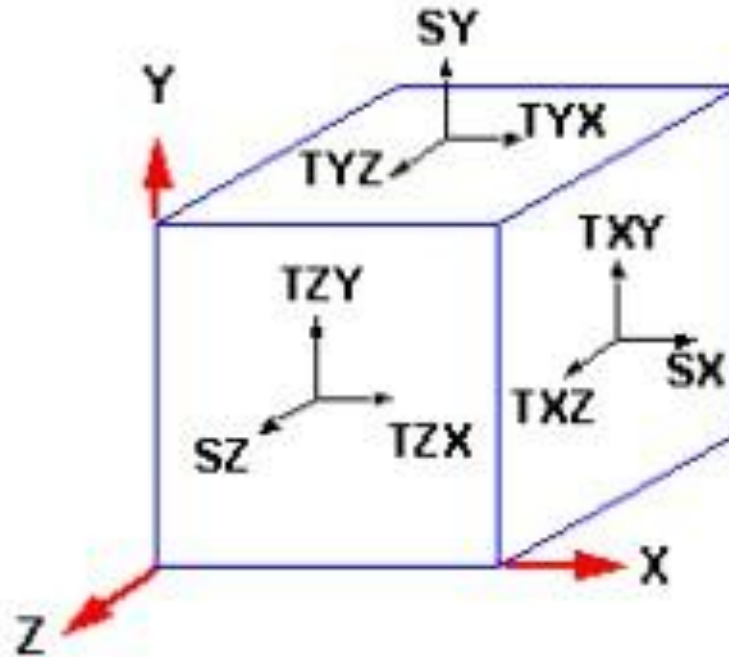
- É o modelo de plasticidade de pequeno deslocamento quando o deslocamento é pequeno ou grande.
- É feita uma suposição de regra de mixagem associada.
- As regras de endurecimento isotrópico e cinemático estão disponíveis. Uma combinação linear de endurecimento isotrópico e cinemático é implementada. 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.

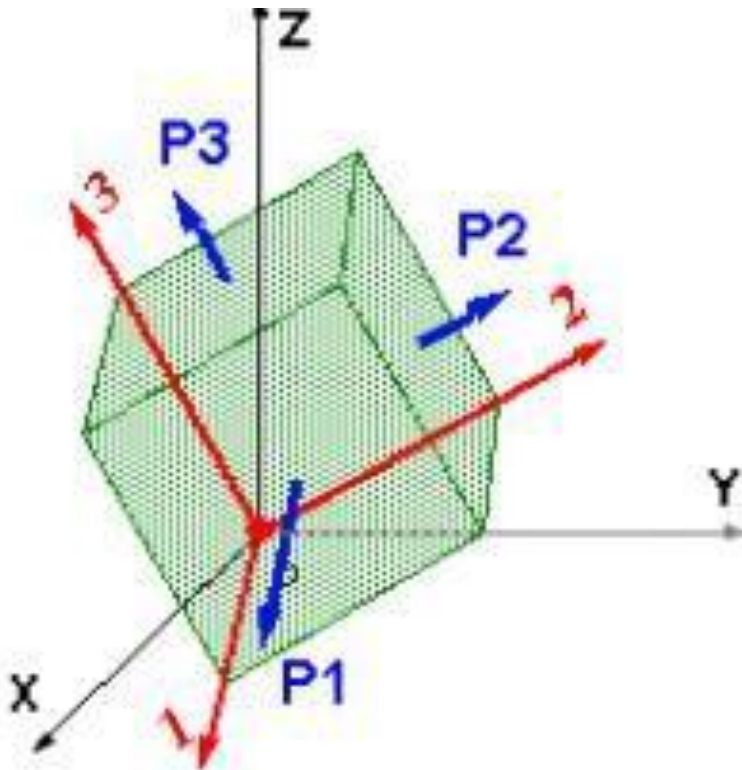


# TENSÃO VON MISES – TENSÃO EQUIVALENTE



$S_X$ ,  $S_Y$  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

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

# 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.

## Acessórios de fixação padrão

### Acessórios de fixação padrão

Tipo de acessório de fixação	Definição
<b>Geometria fixa</b>	Também chamado de suporte rígido; todos os graus de liberdade de translação e rotação estão restritos. <b>Geometria fixa</b> não requer nenhuma informação sobre a direção na qual as restrições são aplicadas.
<b>Rolante/Deslizante</b>	Use a restrição <b>Rolante/Deslizante</b> 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.
<b>Articulação fixa</b>	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.



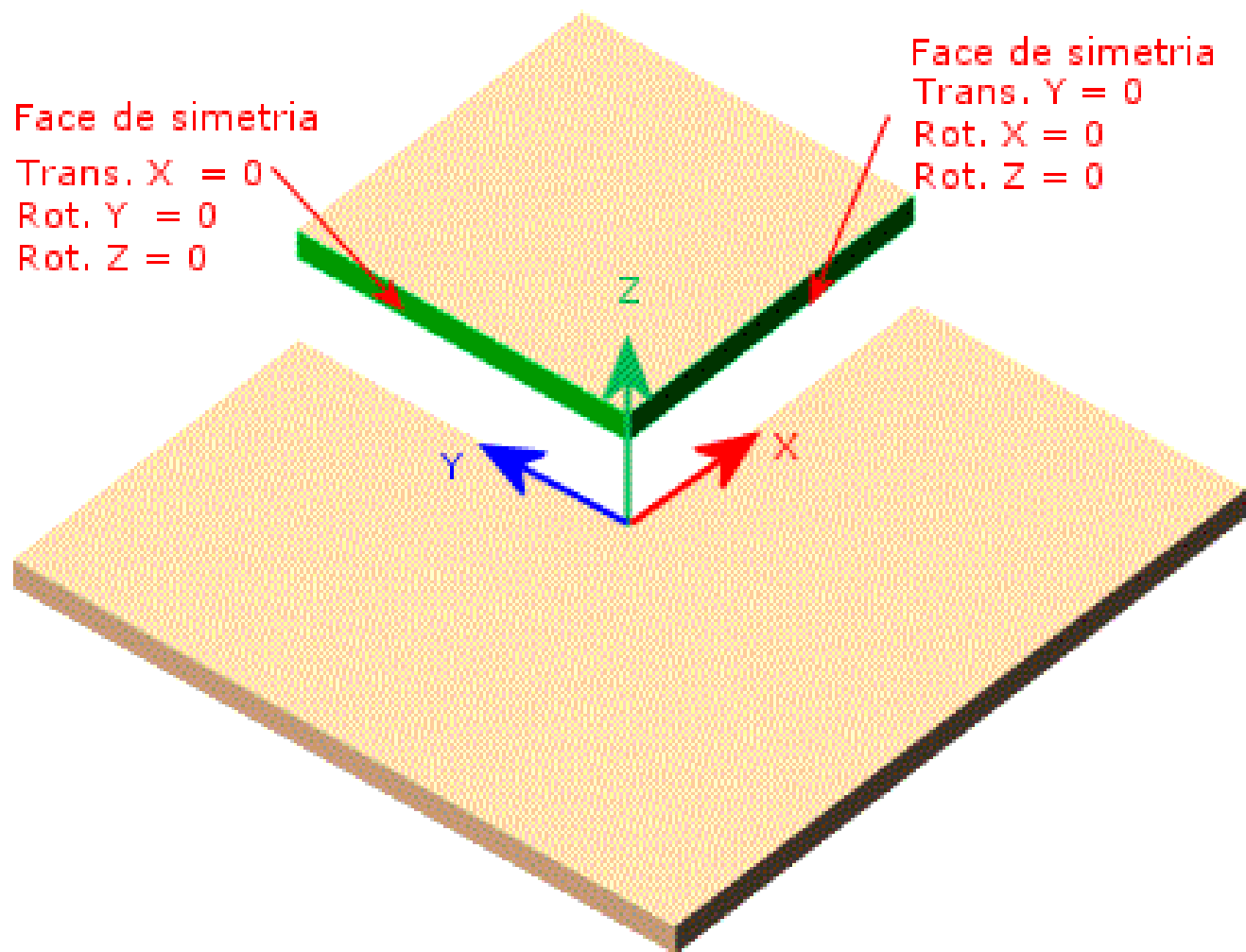
# ACESSÓRIOS DE FIXAÇÃO AVANÇADOS

## Acessórios de fixação avançados

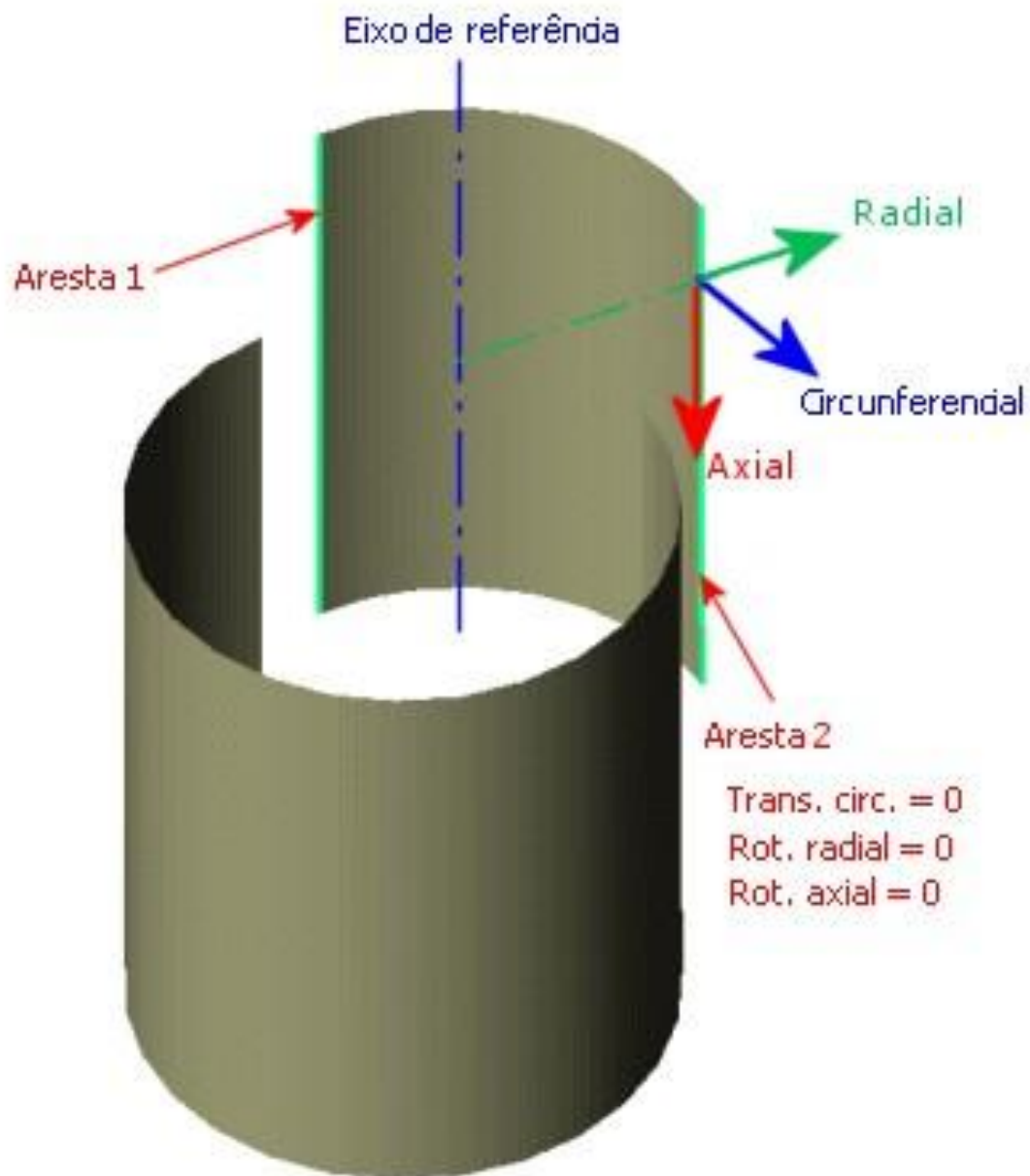
Tipo de acessório de fixação	Definição
<b>Simetria</b>	Esta opção está disponível para ser usada em faces planas. São permitidos deslocamentos no plano e rotação na direção normal ao plano.
<b>Simetria Circular</b>	Esta opção é usada para restringir segmentos que formariam um corpo simétrico em rotação se girassem periodicamente em torno de um eixo específico de revolução.
<b>Usar geometria de referência</b>	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).
<b>Em faces planas</b>	Esta opção define restrições nas direções selecionadas, que são definidas pelas três direções principais da face plana onde as restrições estão sendo aplicadas.
<b>Em faces cilíndricas</b>	Esta opção é semelhante a <b>Em face plana</b> , 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.
<b>Em faces esféricas</b>	Semelhante a <b>Em faces planas</b> e <b>Em faces cilíndricas</b> . 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

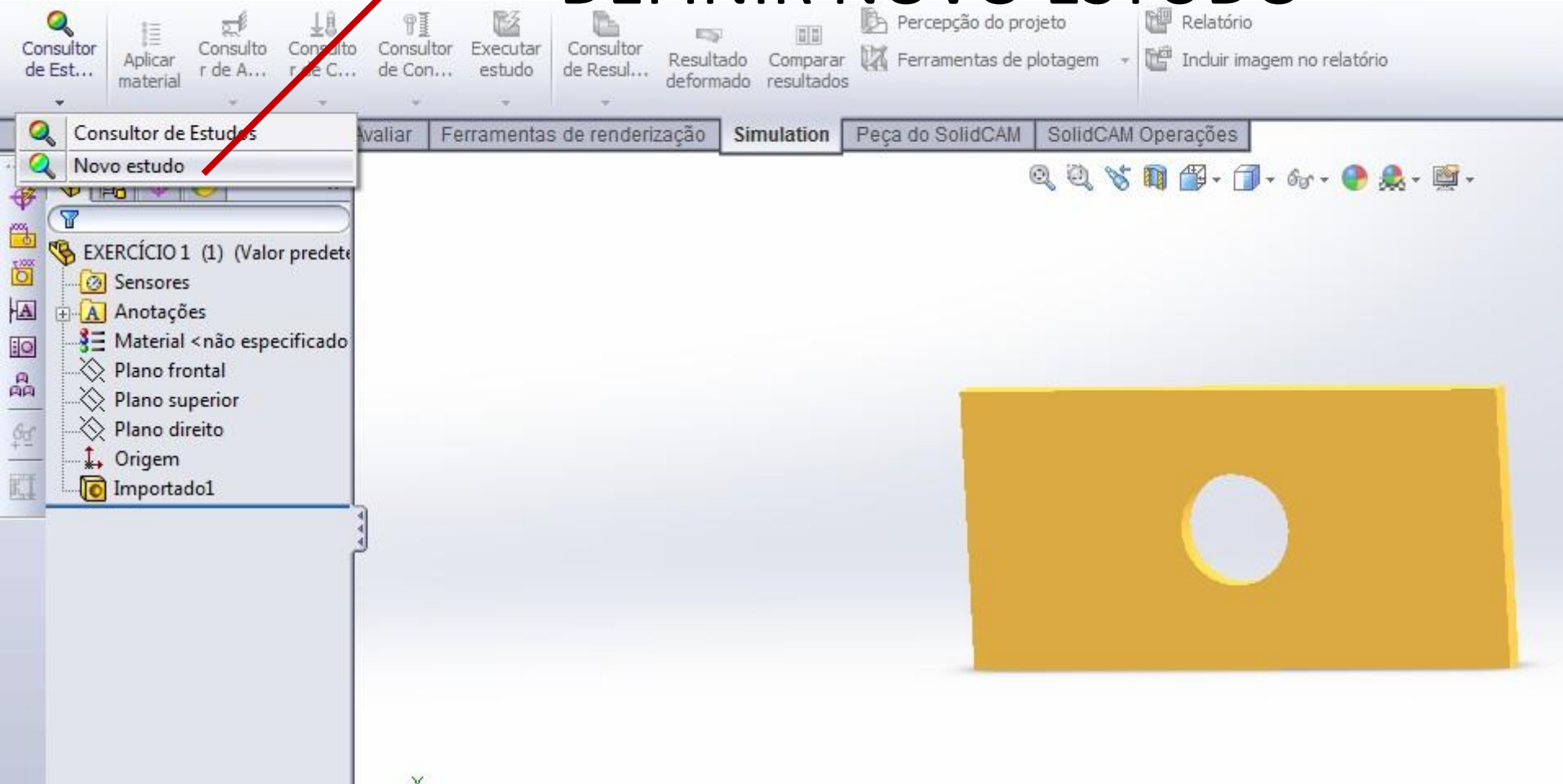


# SIMETRIA AXIAL



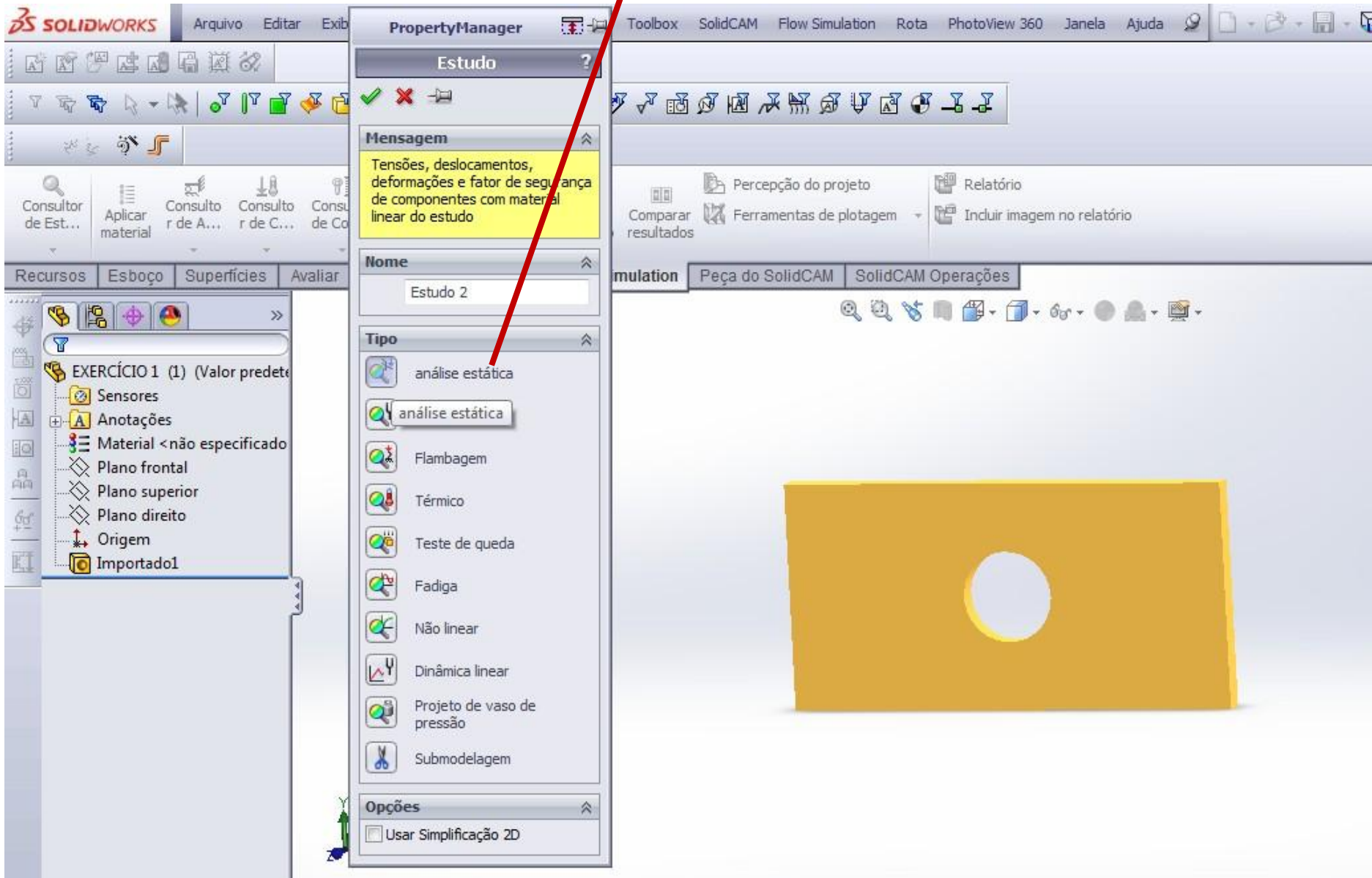
# LIÇÃO 1

## DEFINIR NOVO ESTUDO



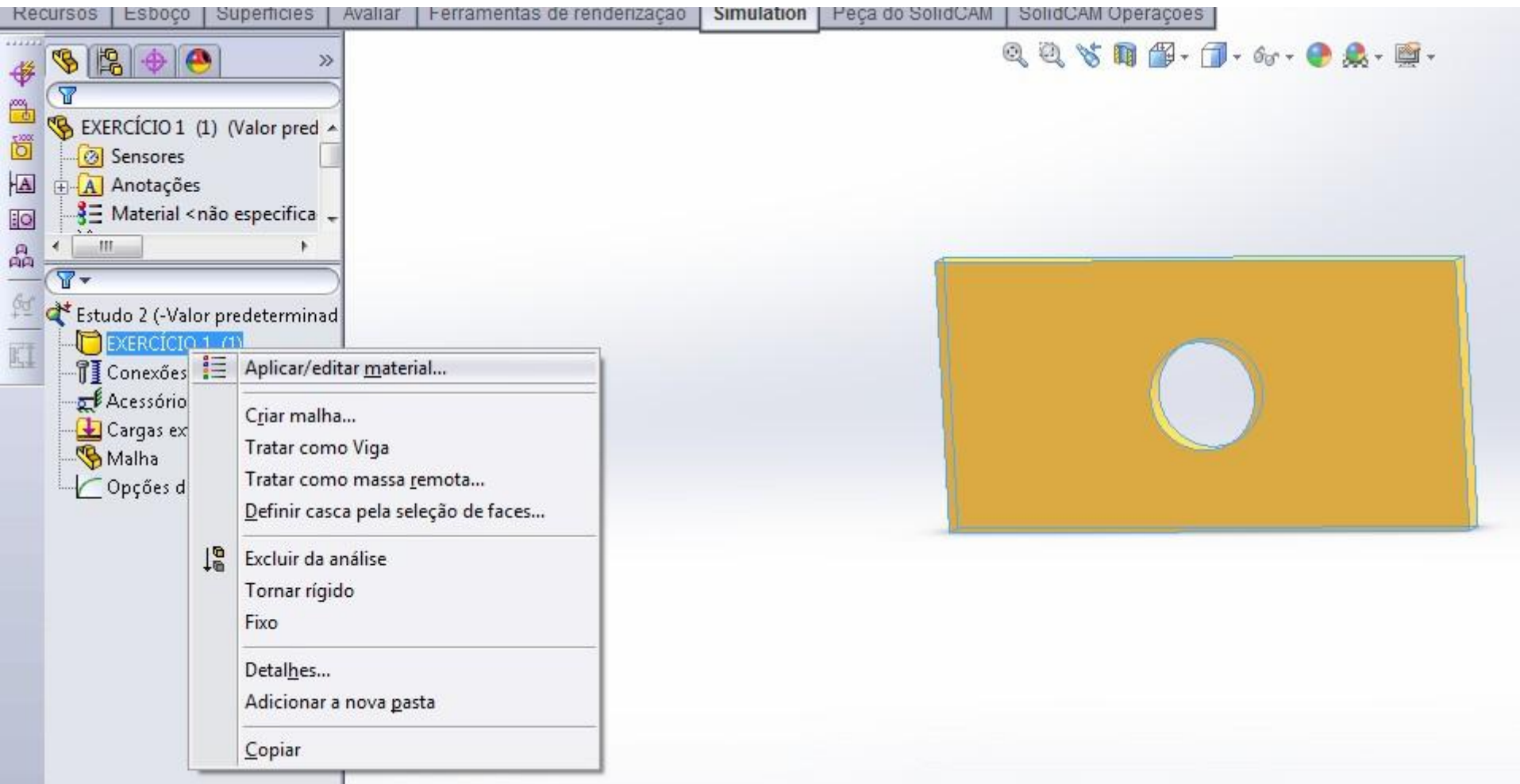
Material AISI 304  
Força 11000 N

# ESTÁTICA

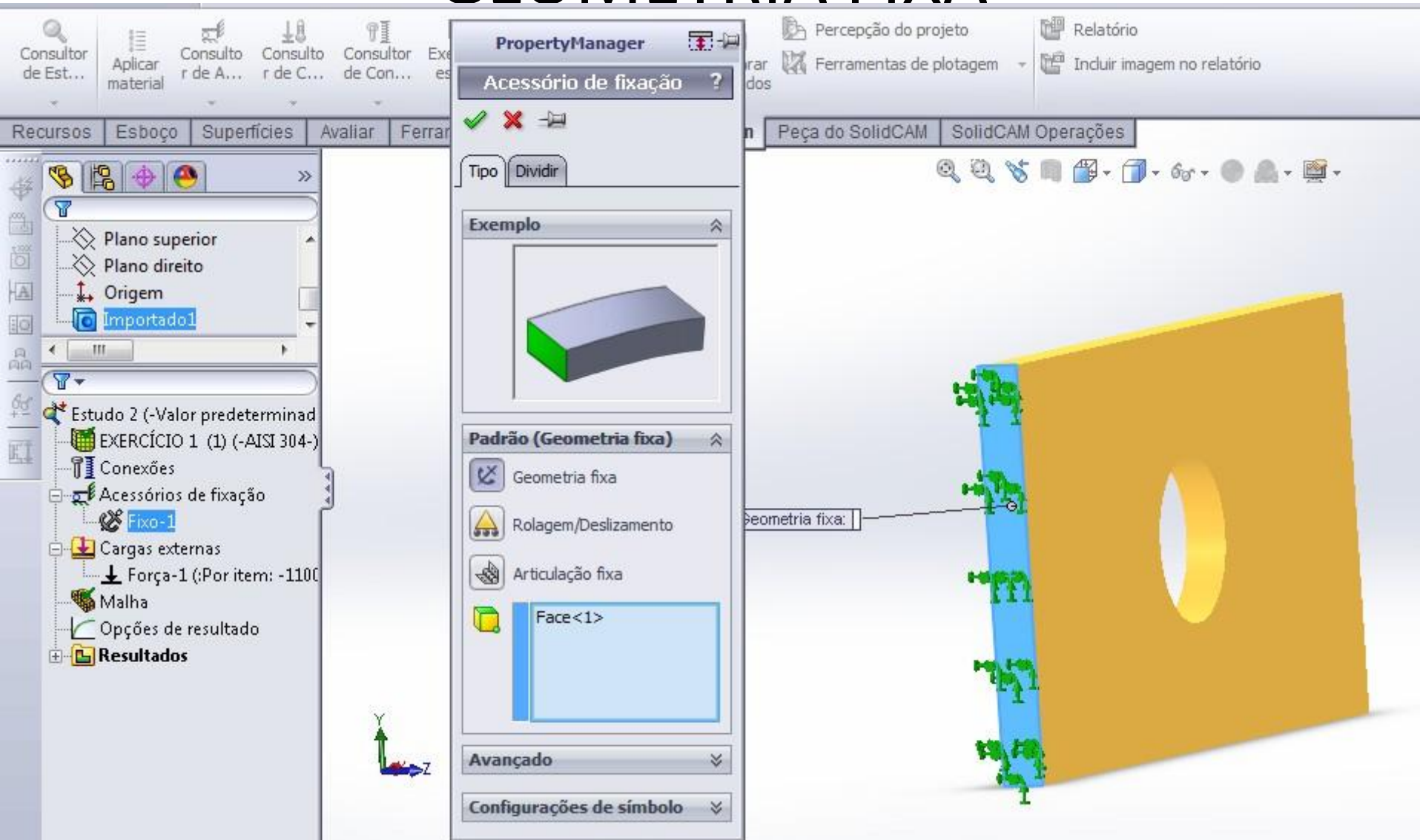




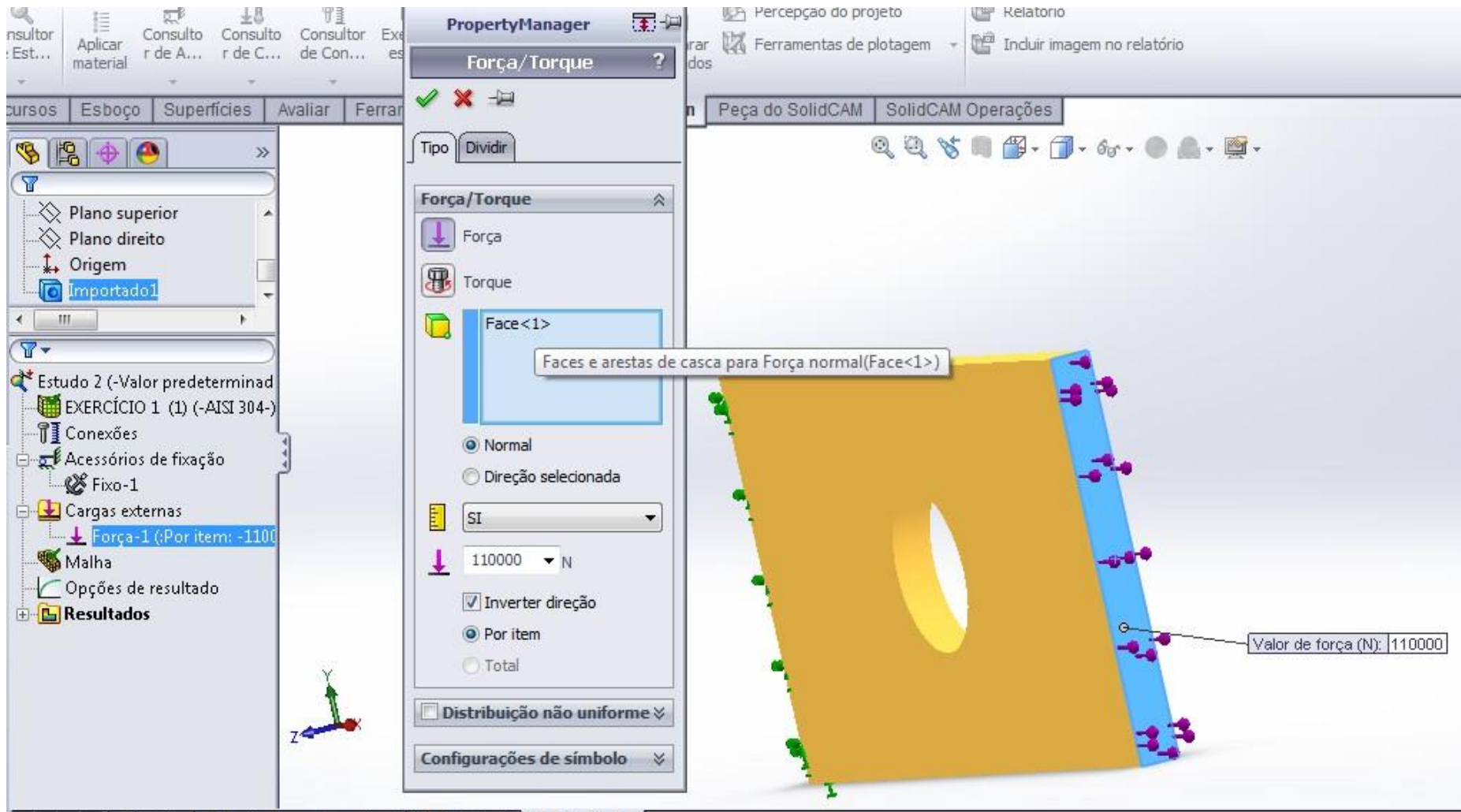
# APLICAR MATERIAL



# ACESSÓRIO DE FIXAÇÃO GEOMETRIA FIXA

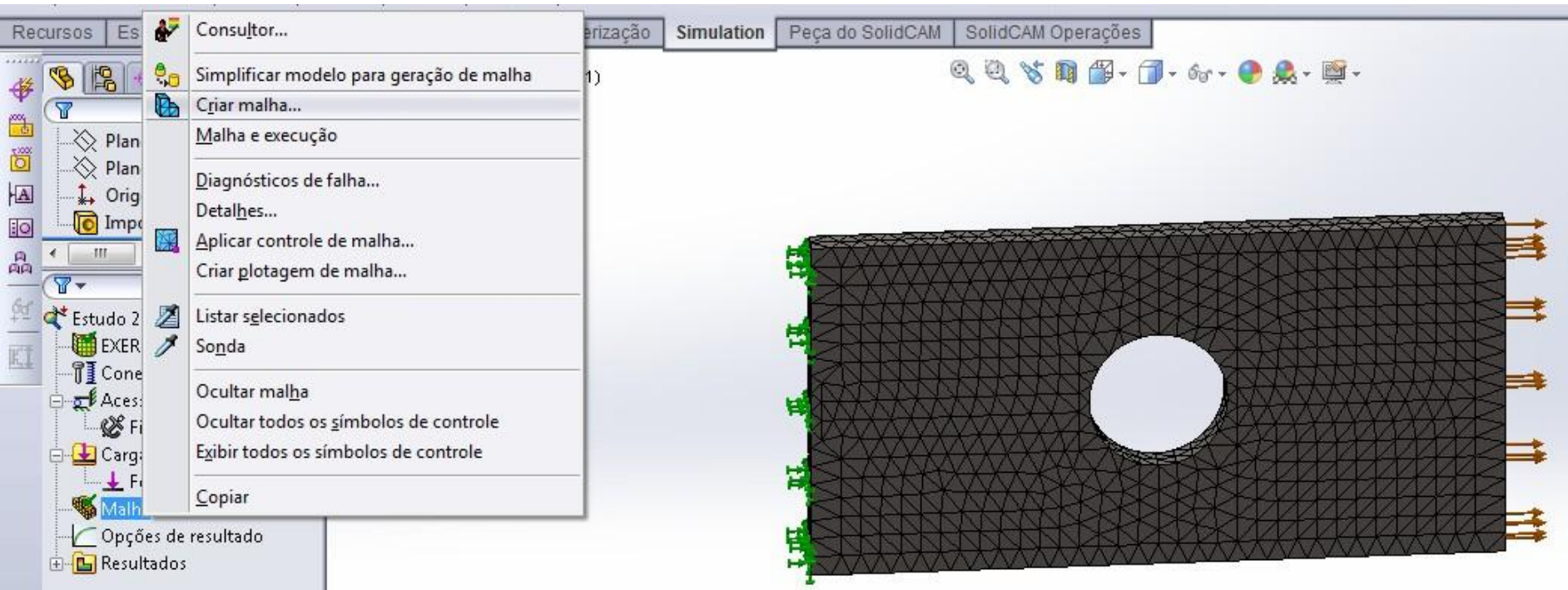


# APLICAR FORÇA 110.000 N





# CRIAR MALHA

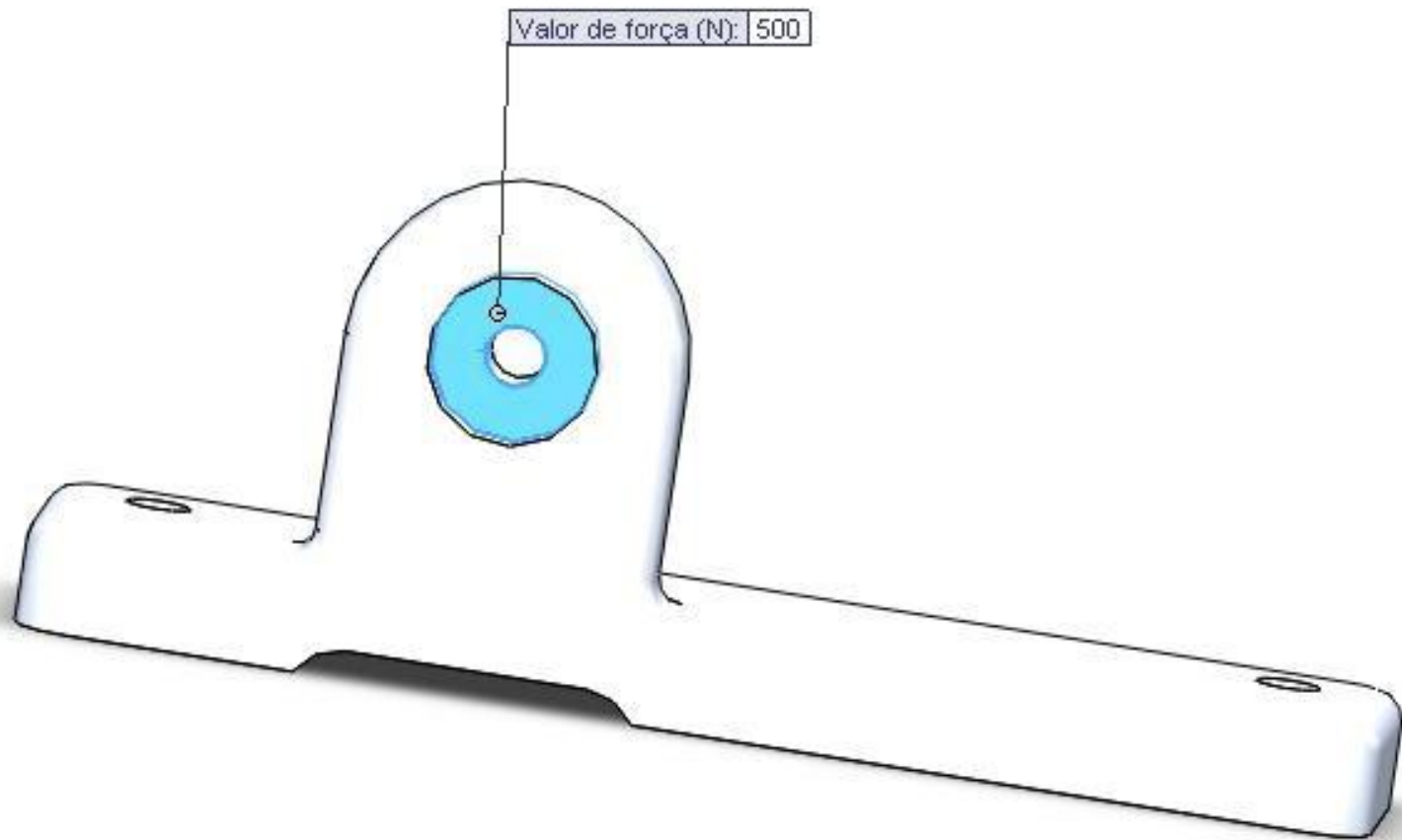


# EXECUTAR ESTUDO

The image shows the SolidWorks Simulation interface. The top ribbon includes tabs for 'Recursos', 'Esboço', 'Superfícies', 'Avaliar', 'Ferramentas de renderização', 'Simulação', 'Peça do SolidCAM', and 'SolidCAM Operações'. The 'Executar estudo' button is highlighted with a tooltip that reads: 'Executar estudo. Inicia o Solver para o estudo ativo. Escala de distorção: 139.418'. The main workspace displays a 3D model of a rectangular plate with a central hole, rendered with a von Mises stress color map. A callout box indicates the maximum stress value: 'Máx.: 59.228,6'. To the right, a vertical color scale legend for 'von Mises (psi)' ranges from 2.947,8 (blue) to 59.228,6 (red). A red arrow points to the 31.088,2 psi mark on the scale, labeled 'Limite de escoamento: 29.994,8'. The left-hand tree view shows the study structure: 'Estudo 2 (-Valor predeterminad)', 'EXERCÍCIO 1 (1) (-AISI 304-)', 'Conexões', 'Acessórios de fixação', 'Fixo-1', 'Cargas externas', 'Força-1 (Por item: -1100)', 'Malha', 'Opções de resultado', and 'Resultados' (containing 'Tensão1 (-vonMises-)', 'Deslocamento1 (-Res. de)', and 'Deformação1 (-Equival)'). The bottom status bar shows 'Modelo', 'Estudo de movimento 1', 'Estudo 1', and 'Estudo 2'. The Windows taskbar at the bottom includes icons for various applications like HP, Chrome, Word, and Excel.

# EXERCÍCIO 2

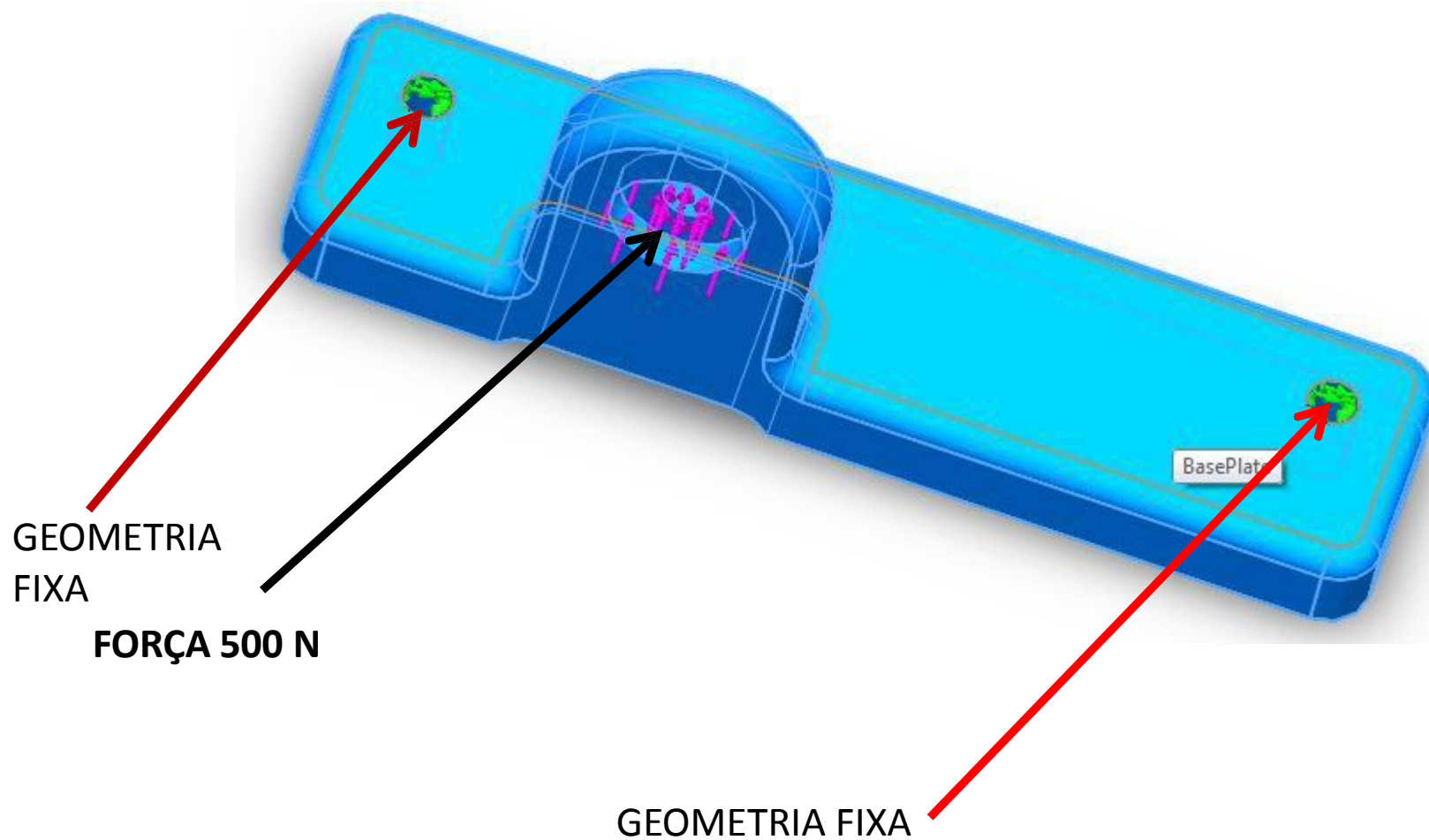
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100



# LIÇÃO 2

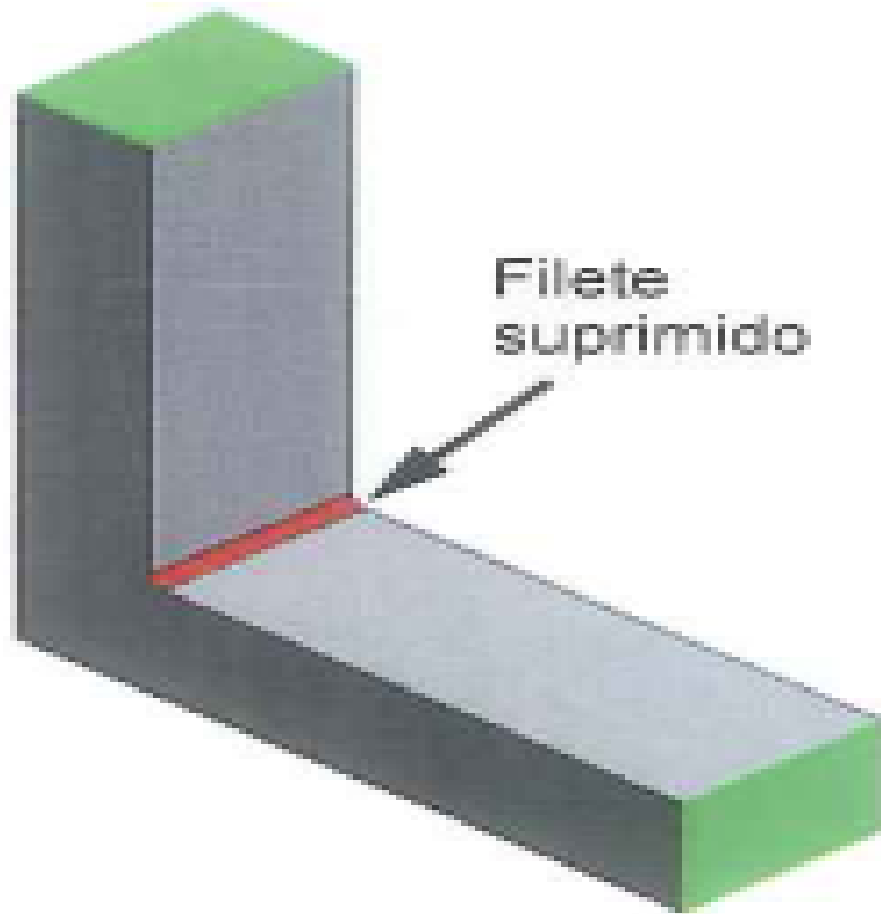
MATERIAL LIGA DE ALUMÍNIO 1060

FORÇA DE 500 N



# LIÇÃO 3 – CANTONEIRA

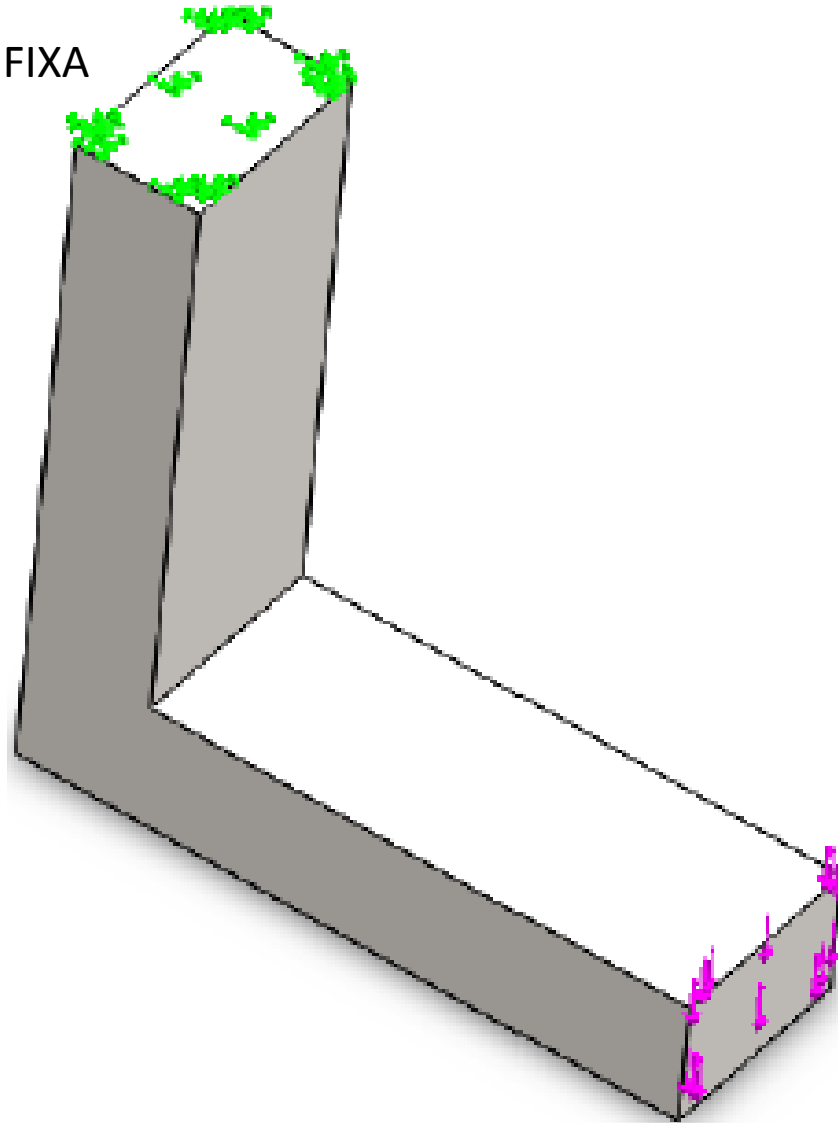
## MATERIAL AISI 304



# LIÇÃO 3 – CANTONEIRA

## MATERIAL AISI 304

GEOMETRIA FIXA



FORÇA 900 N

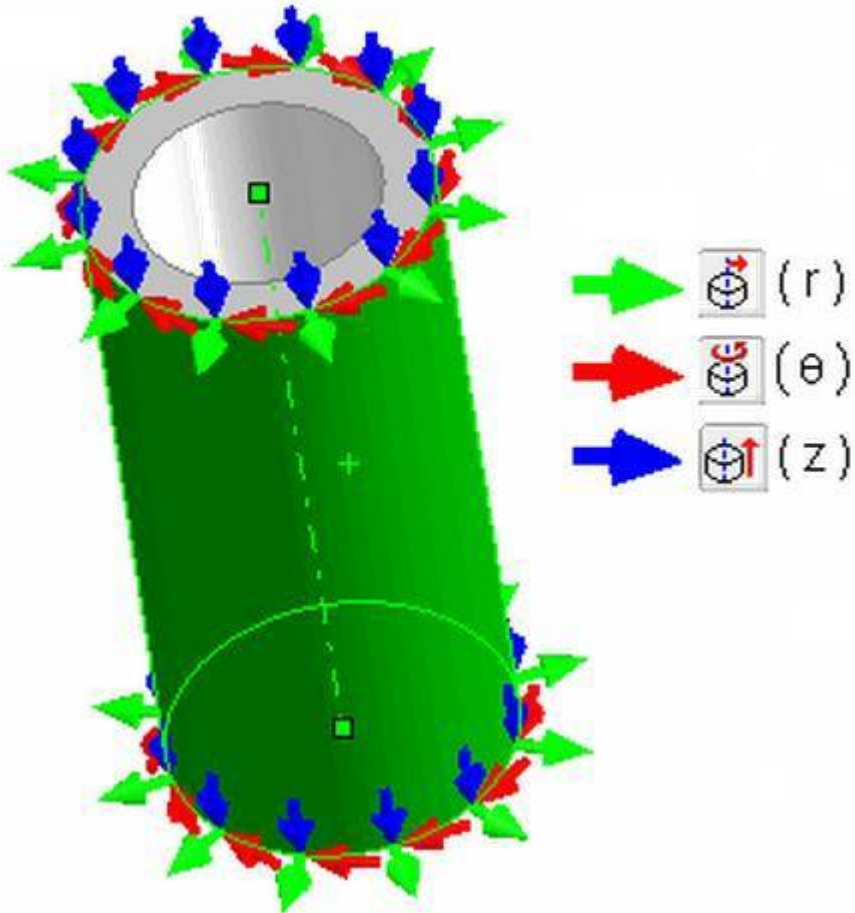
# LIÇÃO 4

## TUTORIAL MOLA

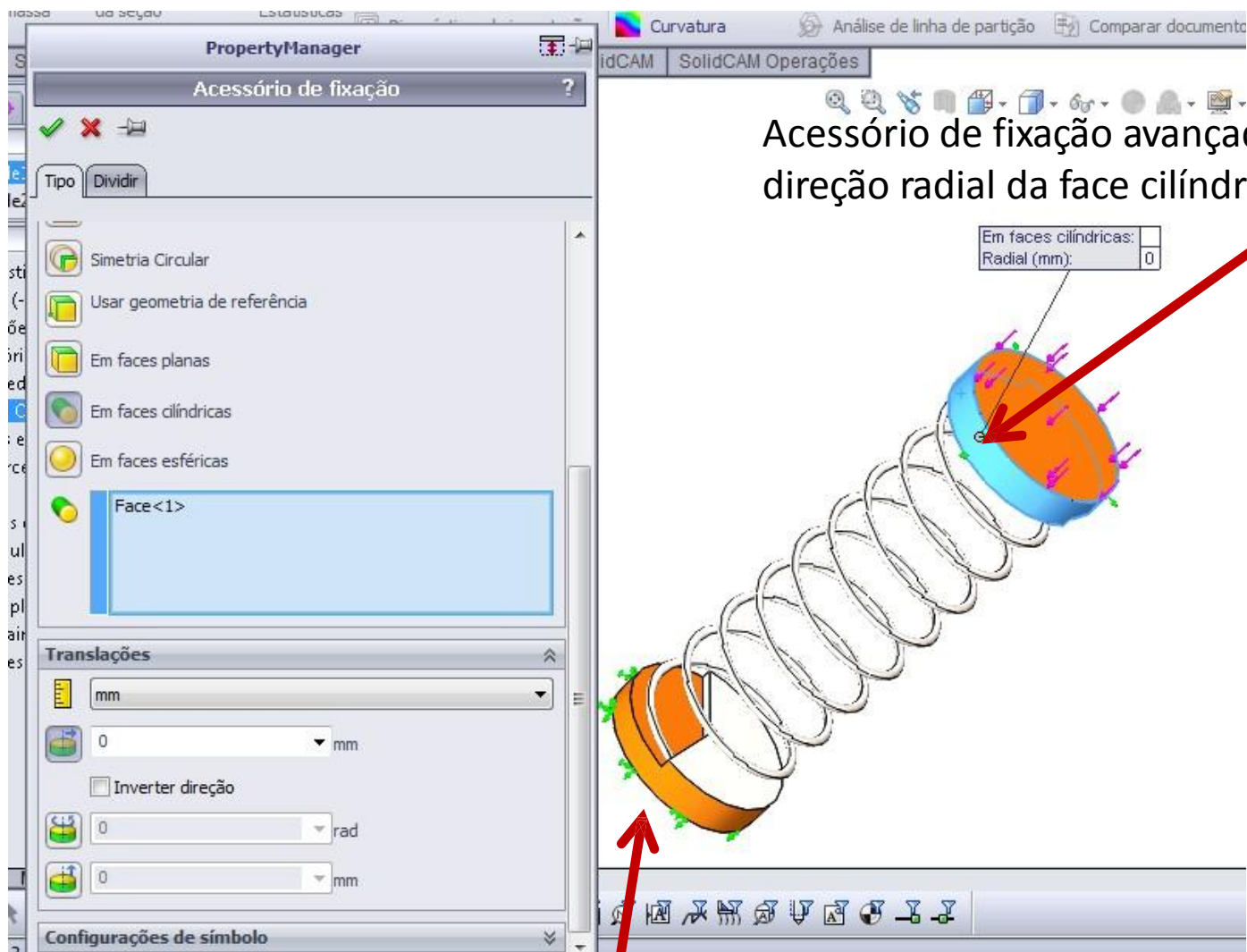
- APLICAR MATERIAL – LIGA DE AÇO
- RESTRIÇÃO FIXA A FACE EXTERNA DOS DISCOS
- FORÇA DE COMPRESSÃO DE 0,1 N
- APLICAR RESTRIÇÃO DE FIXAÇÃO NA DIREÇÃO RADIAL DA FACE CILÍNDRICA, PERMITINDO ASSIM APENAS A COMPRESSÃO DA MOLA OU EXPANSÃO NA DIREÇÃO AXIAL E SUA ROTAÇÃO SOBRE O SEU EIXO – FIGURA PRÓXIMO SLIDE.
- CRIAR MALHA COM BASE EM CURVATURA E EXECUTAR O ESTUDO

# RESTRIÇÕES FACE CILÍNDRICA

As direções radial ( $r$ ), circunferencial ( $\theta$ ), e axial ( $z$ ) associadas a uma face cilíndrica estão ilustradas na figura.



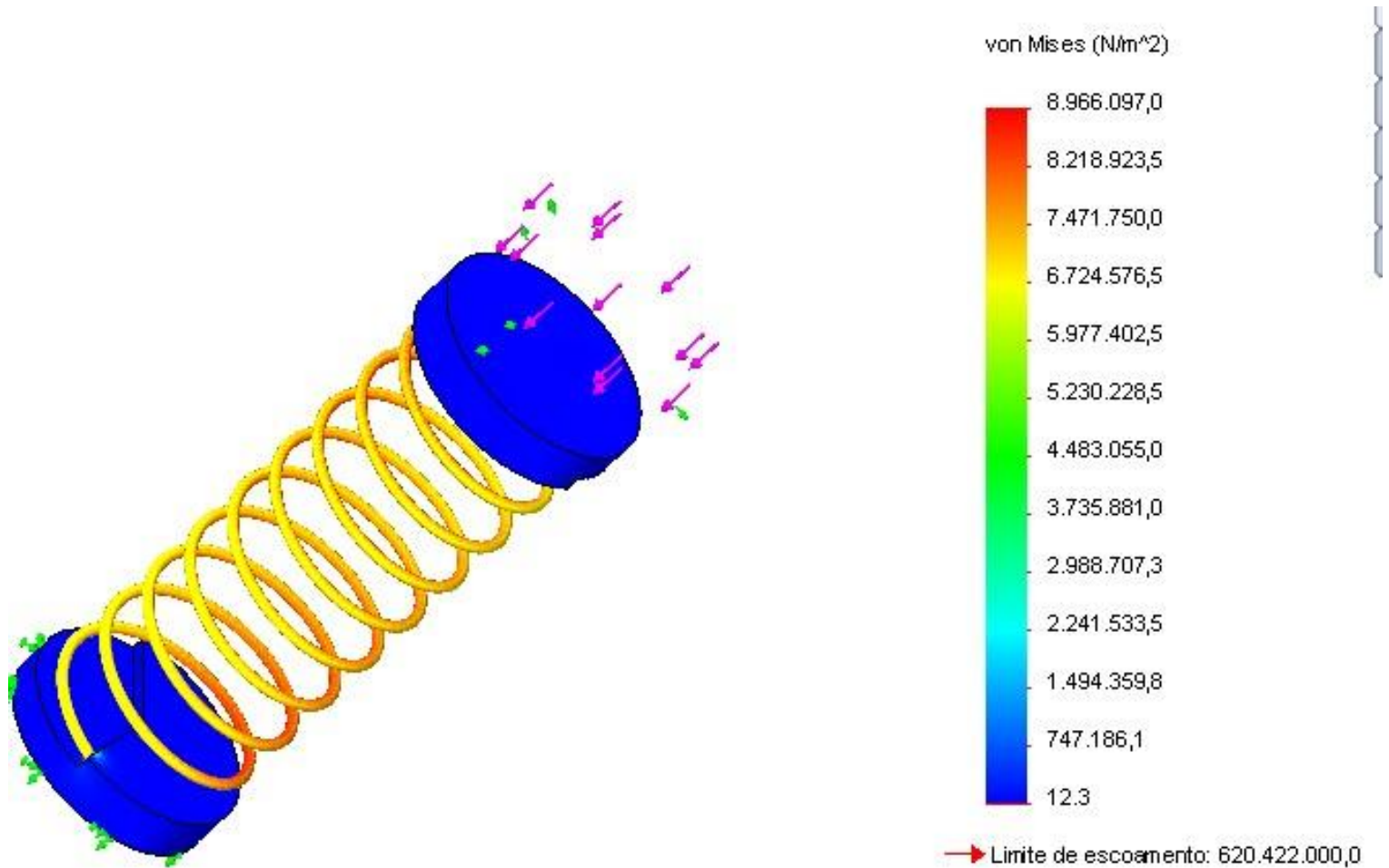




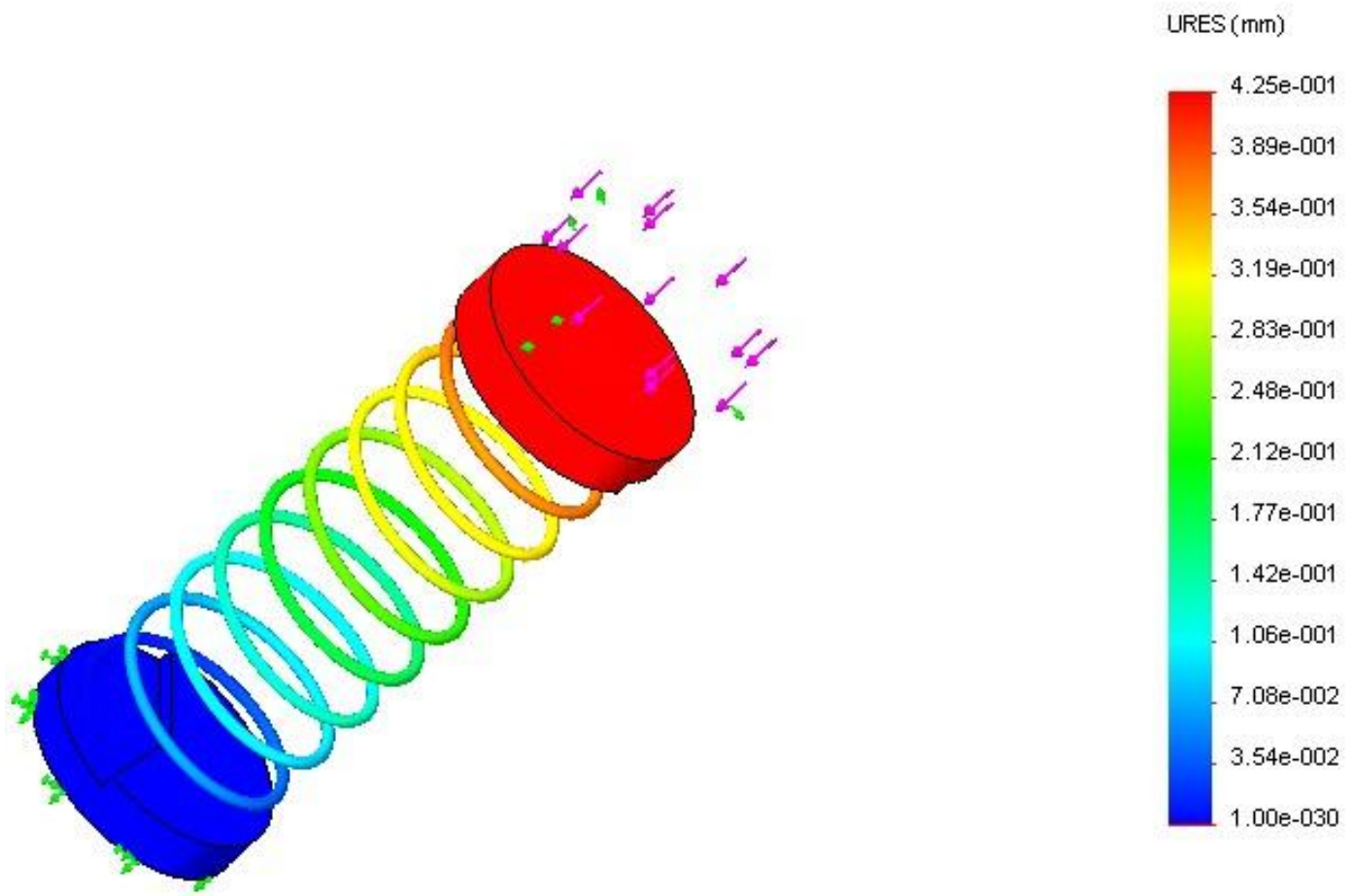
Acessório de fixação avançado – restrição na direção radial da face cilíndrica

Restrição fixa

# PLOTAGEM TENSÃO VON MISES



# PLOTAGEM DESLOCAMENTO



# **TIPOS DE CONTATO**

## Tipos de contato de componente

<b>Unido</b>	Esta é a opção predeterminada. Selecione esta opção quando todas as faces em contato estiverem unidas e a montagem se comportar como uma única peça. A única diferença entre uma peça e uma montagem com peças unidas é que na montagem podemos atribuir diferentes propriedades de material a componentes individuais.
<b>Permitir penetração</b>	Selecione esta opção quando a montagem for uma série de componentes soltos, sem conexão estrutural entre eles.
<b>Sem penetração</b>	Selecione esta opção quando os componentes em contato puderem se separar, mas não puderem penetrar um no outro. O coeficiente de atrito pode ser especificado no gerenciador de propriedades do contato do componente.



Contato unido



Permitir penetração

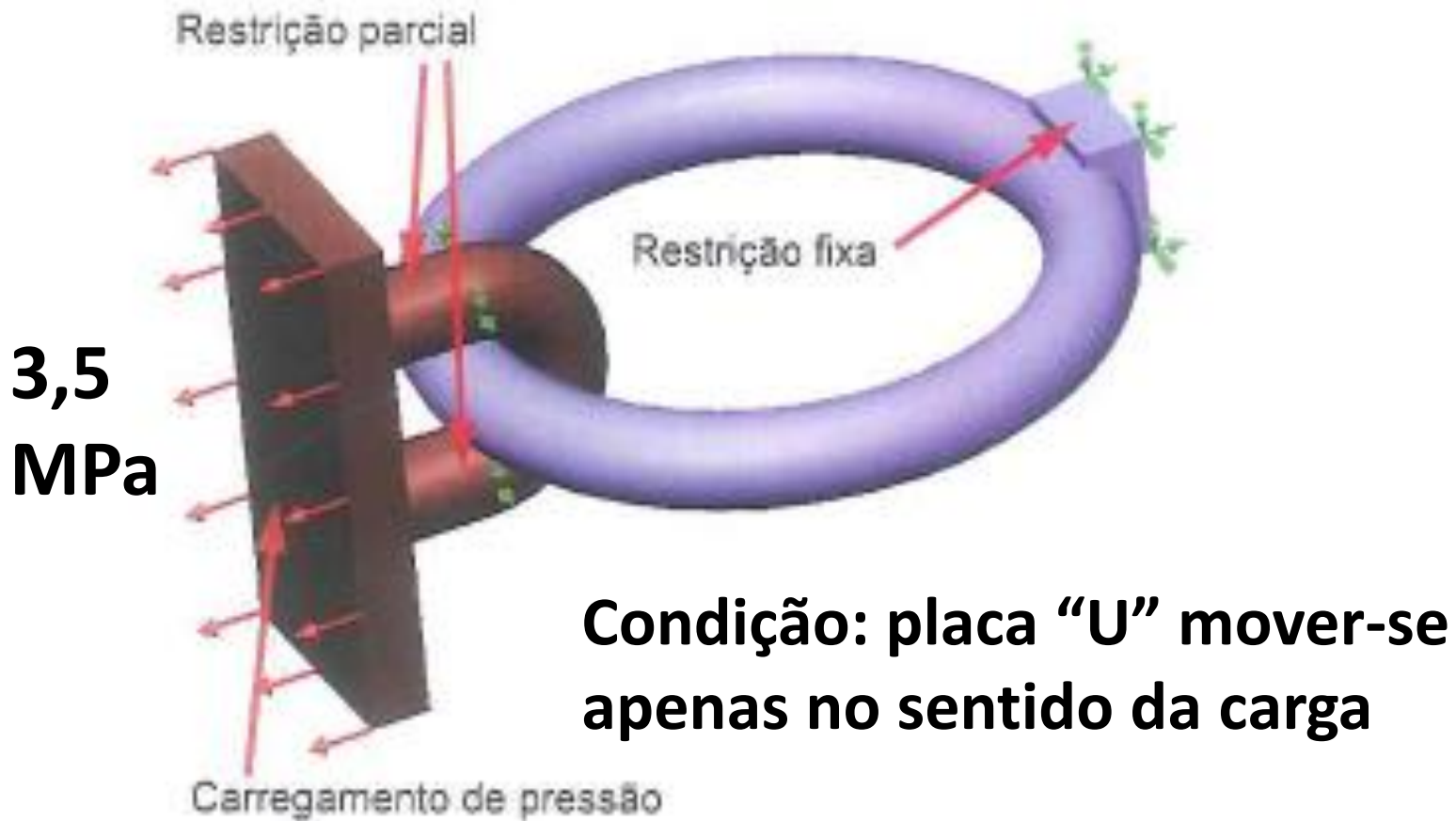


Sem penetração

# LIÇÃO 5 - ANEL

## MATERIAL AISI 1020

Uma carga de pressão de 3,5 MPa é aplicada à face da placa com o suporte em U. A placa que segura o anel grande é mantida fixa. As faces externas dos anéis exercem pressão de contato entre si.





# RESTRINGIR O SUPORTE “U” PARA QUE SE MOVA NA DIREÇÃO DA CARGA

The screenshot displays the SolidWorks interface during a simulation setup. The **PropertyManager** on the left is set to **Acessório de fixação**. Under the **Avançado(Usar geometria de referência)** section, three faces of a U-shaped part are selected:

- Face<1> @TwoRingsPart2-1
- Face<2> @TwoRingsPart2-1
- Face<3> @TwoRingsPart2-1

The **Translações** section shows the following settings:

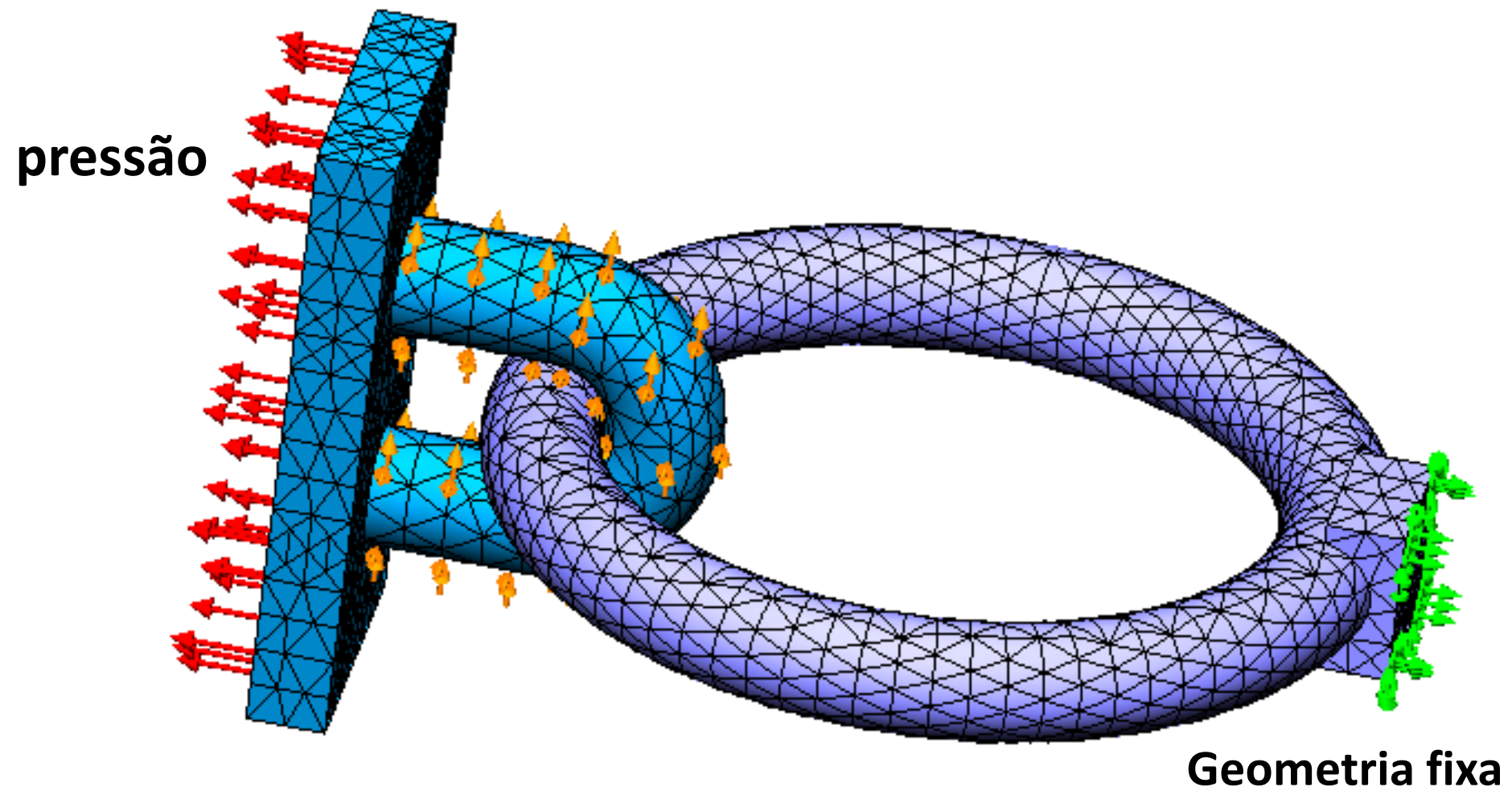
- mm (unit)
- 0 mm (translation along Dir 1)
- Inverter direção
- 0 mm (translation along Dir 2)
- Inverter direção

The main 3D view shows a U-shaped part with red arrows representing a load applied to its top surface. Green arrows on the inner surfaces indicate the direction of movement. A tooltip for the reference geometry settings is visible:

Usar geometria de referência:	
Ao longo do plano Dir 1 (mm):	0
Ao longo do plano Dir 2 (mm):	0

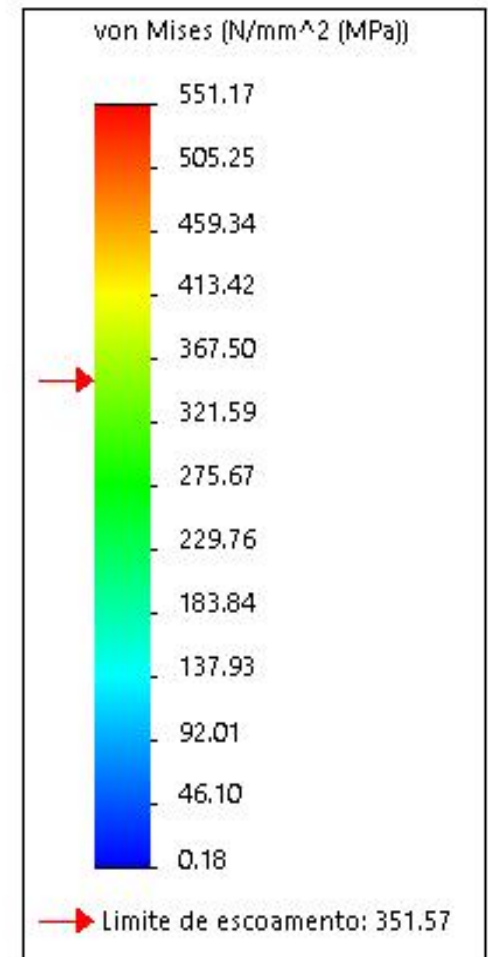
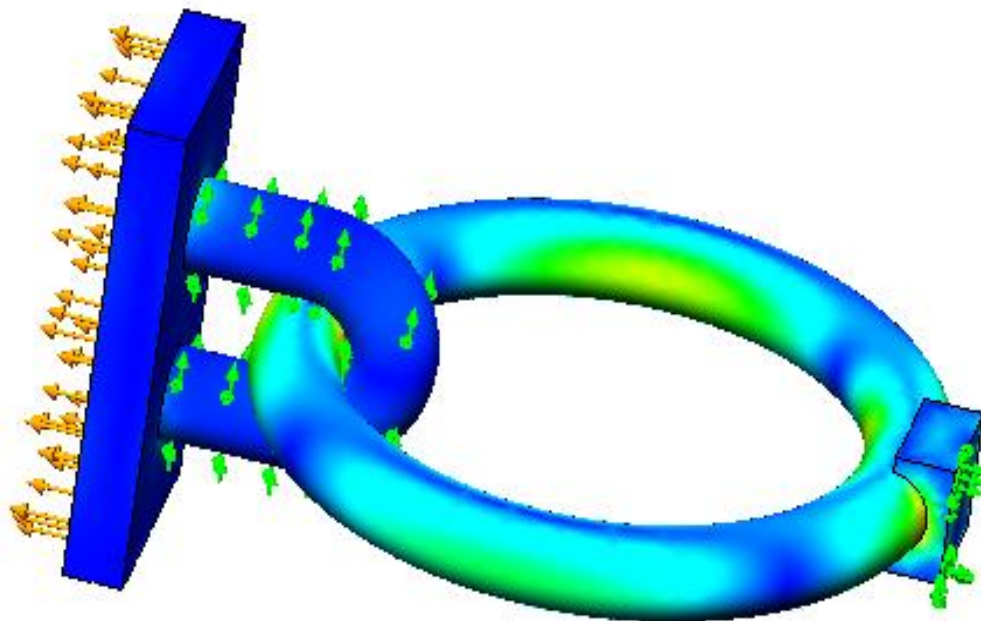
The bottom status bar indicates the model is **Totalmente definido** and the user is **Editando Montagem**. The system tray shows the date and time as 02:01 on 12/03/2015.

# GERAR A MALHA COM BASE EM CURVATURA





# PLOTAGEM DE TENSÃO



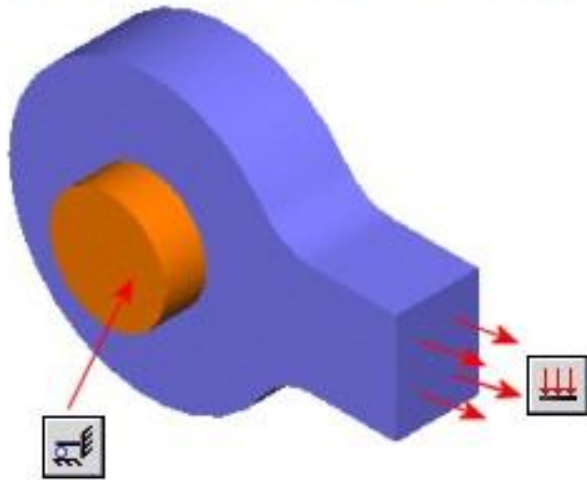
**LIÇÃO 7**

**TUTORIAL BARRA DE OLHAL**

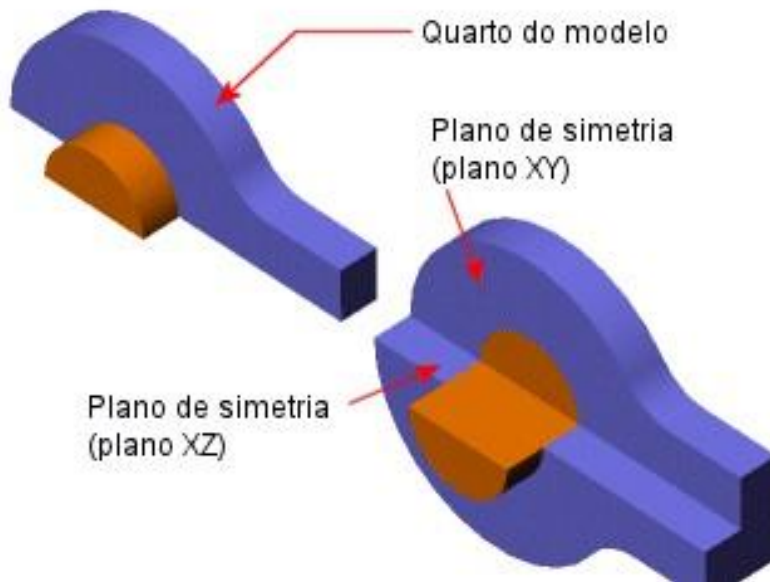
# Análise de contato em uma montagem de barra de olhal

A montagem de barra de olhal está carregada e suportada como mostrado.

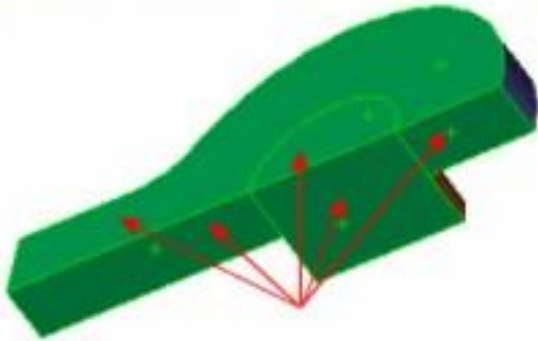
## MATERIAL LIGA DE AÇO



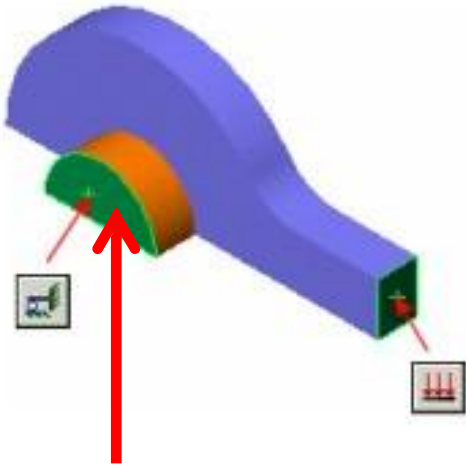
Graças à dupla simetria, você pode analisar um quarto do modelo.



- Liga de aço para todos os componentes
- Um acessório de fixação de Simetria nas faces que coincidem com os dois planos de simetria do modelo



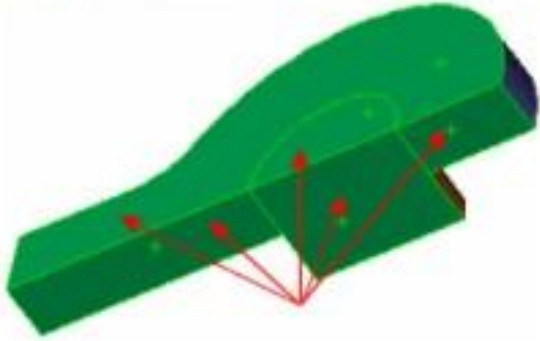
- Um acessório de fixação Imóvel na extremidade do parafuso
- Uma Pressão de 300 psi na tensão na extremidade da barra de olhal



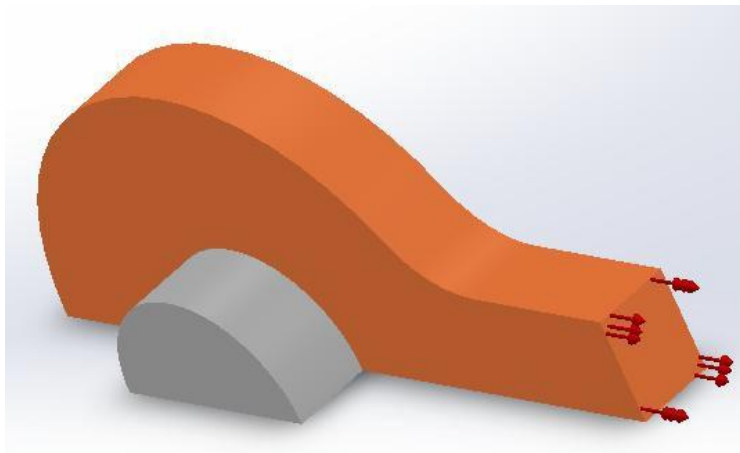
**PRESSÃO 300 PSI**

**GEOMETRIA FIXA**

- Liga de aço para todos os componentes
- Um acessório de fixação de Simetria nas faces que coincidem com os dois planos de simetria do modelo



- Um acessório de fixação Imóvel na extremidade do parafuso
- Uma Pressão de 300 psi na tensão na extremidade da barra de olhal



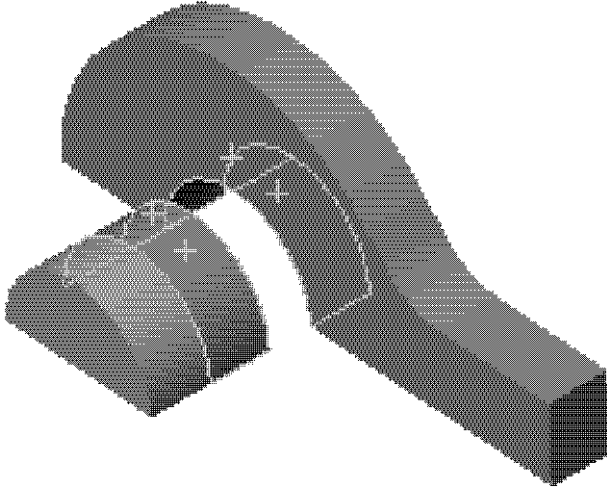
**PRESSÃO**



**GEOMETRIA FIXA**

Clique em localizar conjuntos de contato.

O programa detecta dois conjuntos de contato possíveis em Resultados.

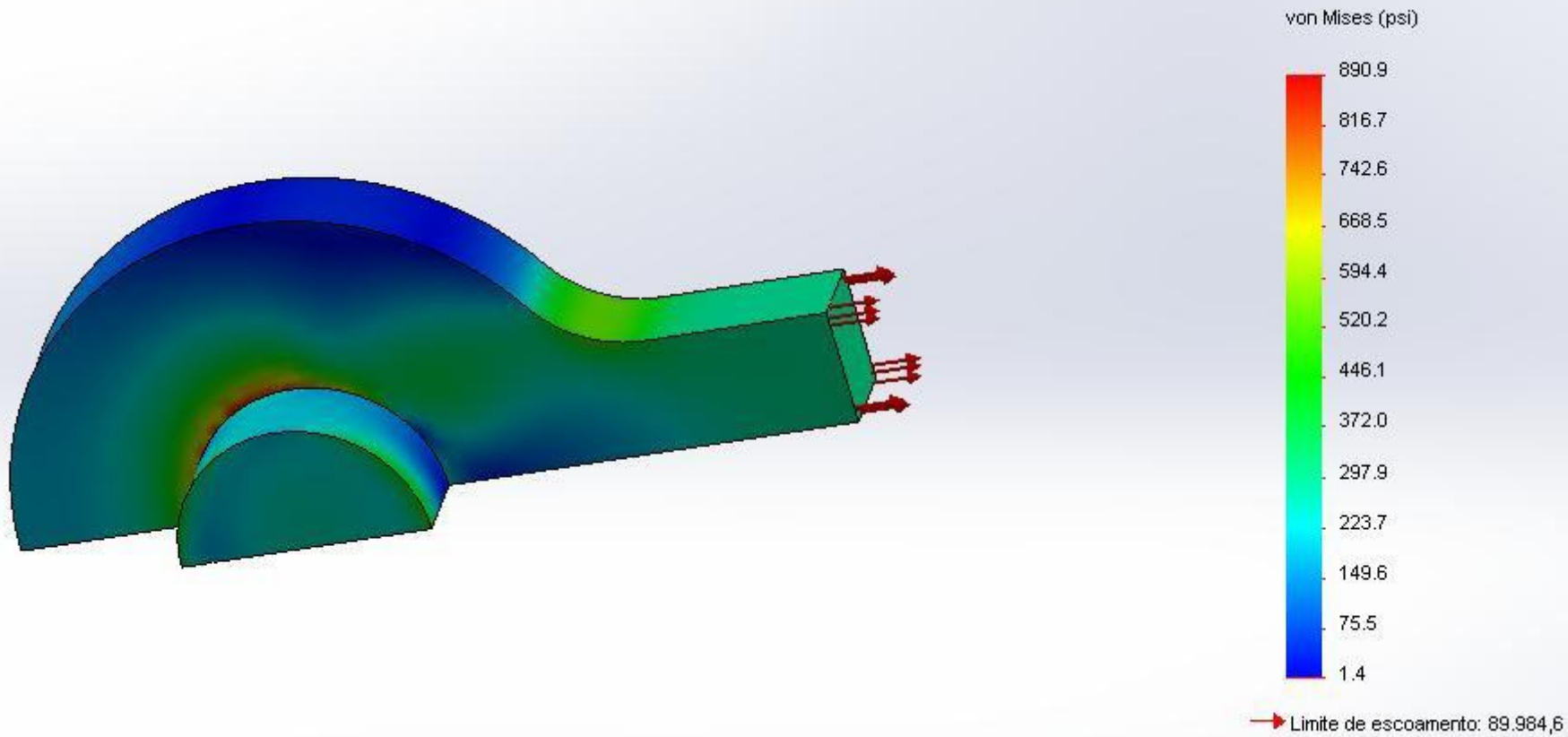


Em Conjuntos de contato possíveis, selecione um conjunto de duas faces de contato realçadas na área de gráficos.

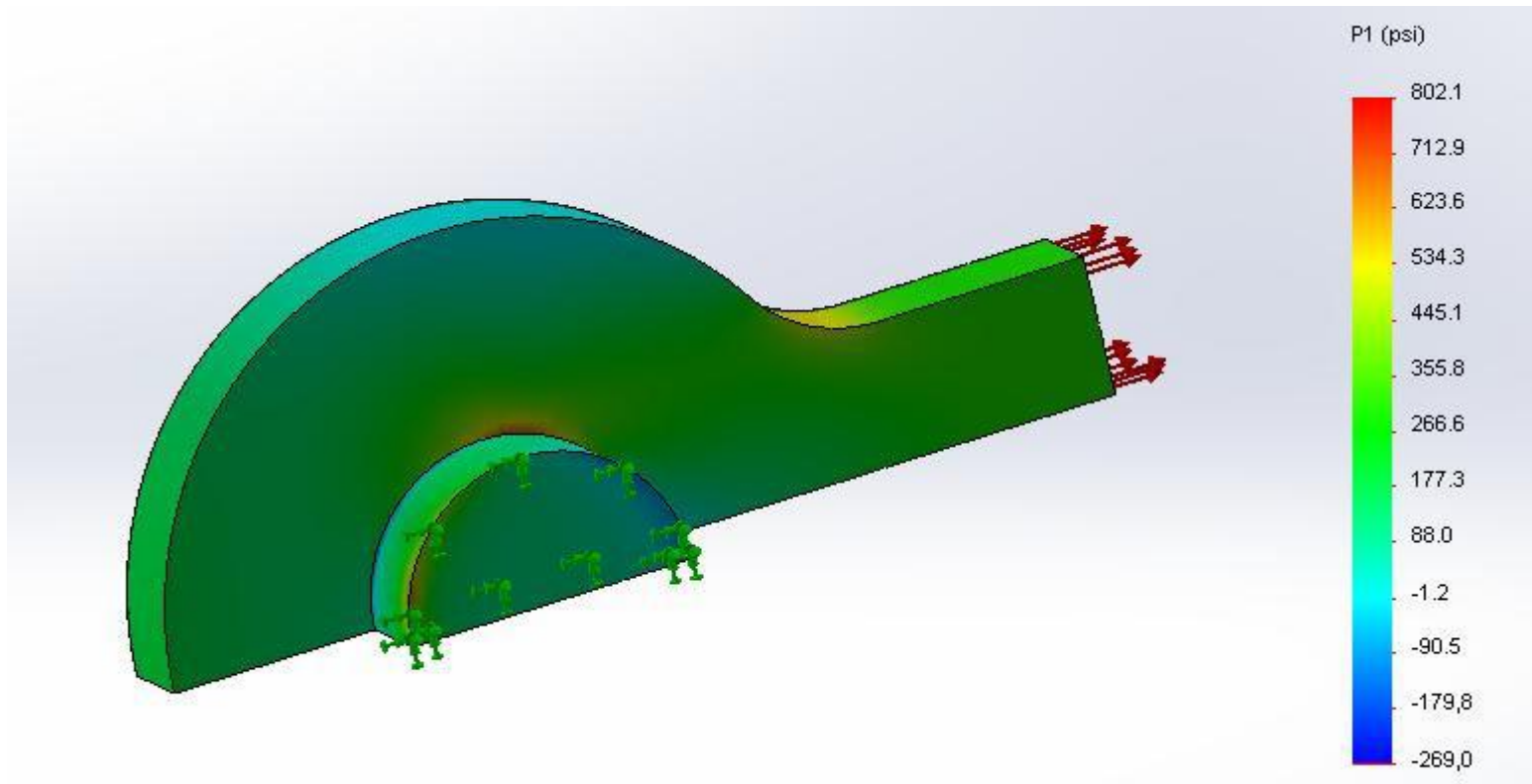
Em Resultados:

- Para Tipo, selecione Sem penetração.
- Selecione os dois conjuntos de contato clique em Criar conjuntos de contato

# TENSÃO VON MISES

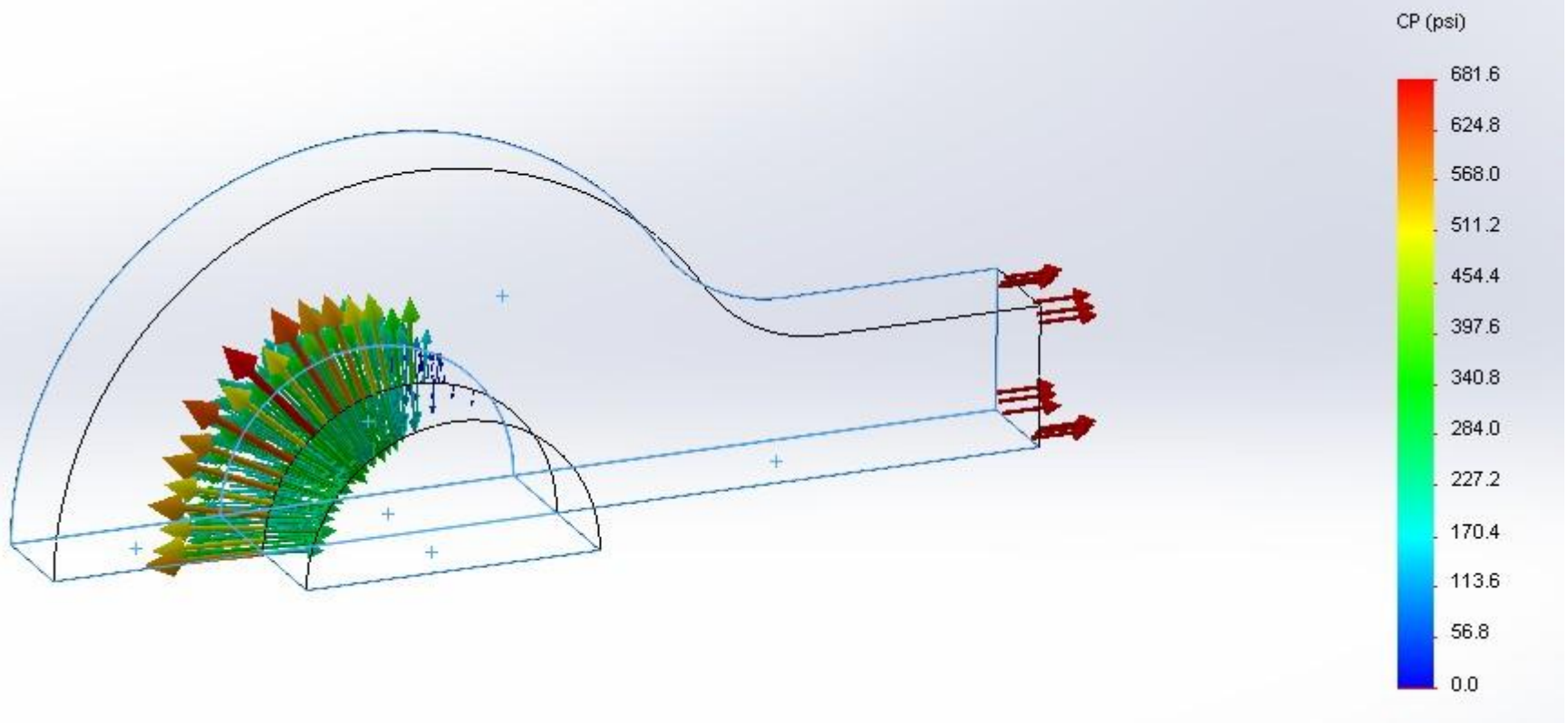


# PLOTAGEM TENSÃO PRINCIPAL





# PLOTAGEM PRESSÃO DE CONTATO



a. Defina Componente como CP: Pressão de contato.

b. Selecione psi em Unidades .

Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse no ícone da plotagem de pressão de contato e selecione Opções de plotagem de vetor. No Property Manager, em Opções, defina Tamanho como 1000.

# LIÇÃO 8

## ELO CORRENTE

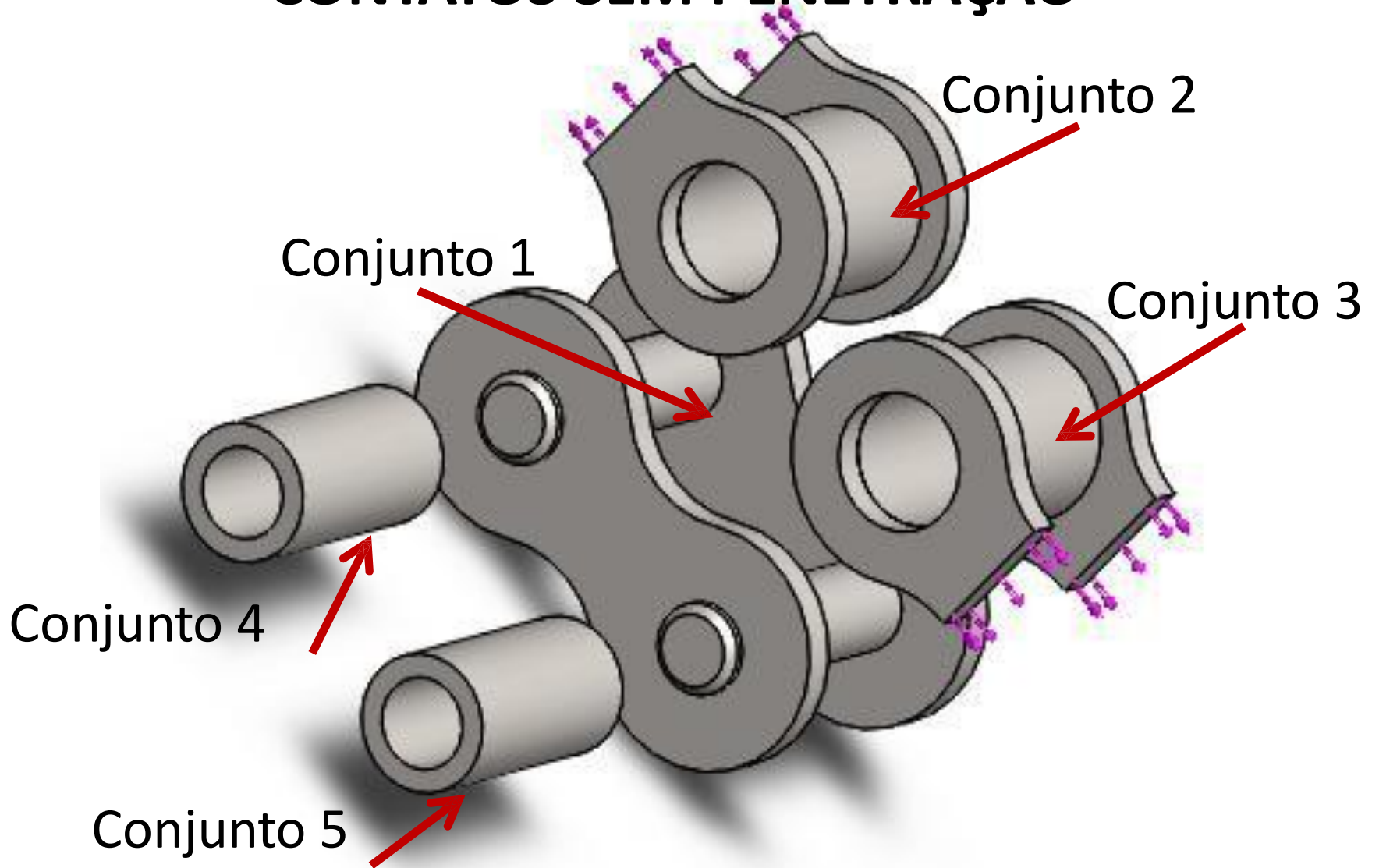
- MATERIAL
- AISI 304
- FORÇA 200 N EM CADA ÍTEM

# CONJUNTO DE CONTATOS

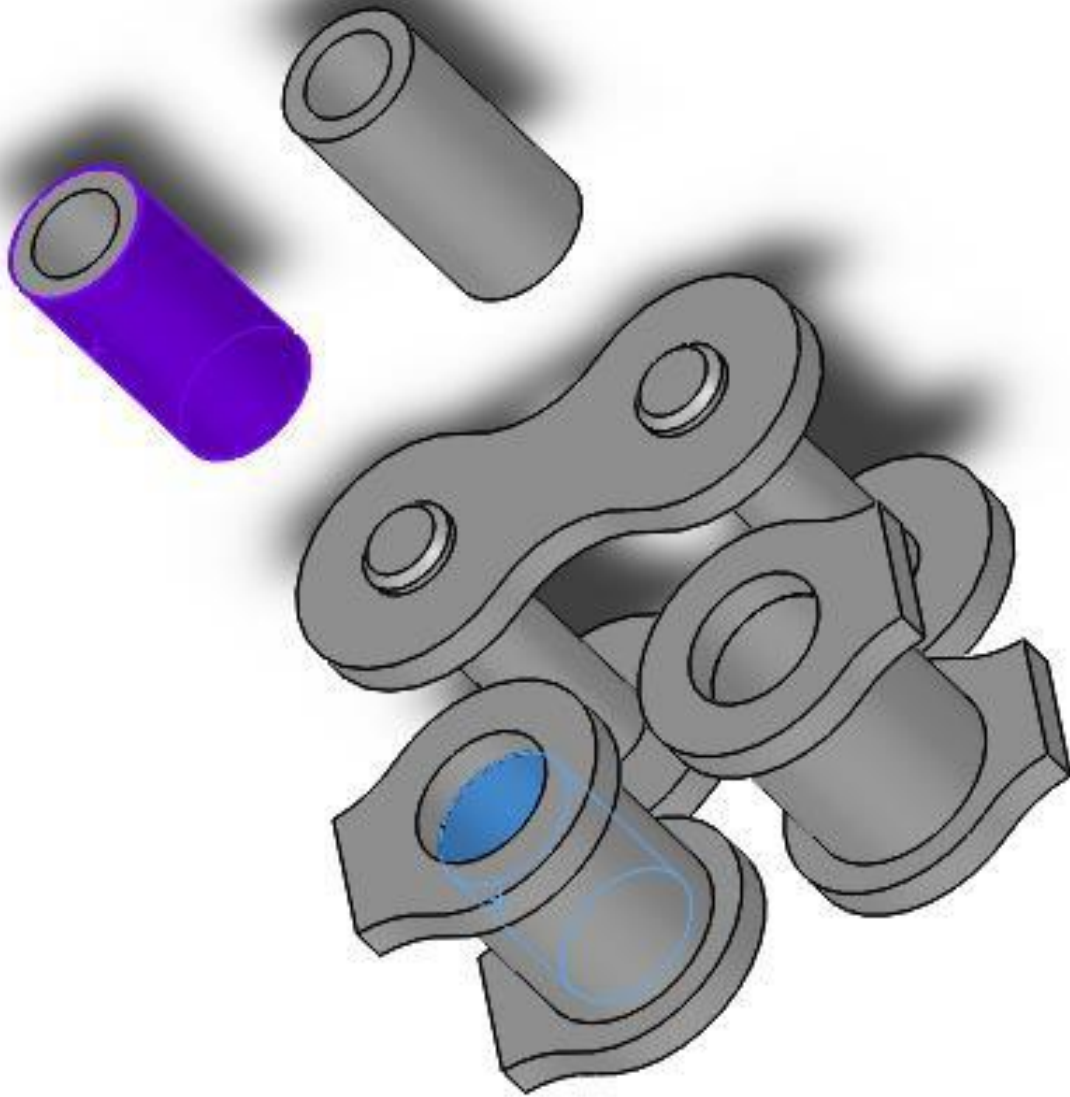
- LOCALIZAR CONJUNTO DE CONTATO AUTOMATICAMENTE
- OPÇÕES: FACES EM CONTATO
- SELECIONE E CONFIRME TODOS OS 24 CONJUNTOS DE CONTATO SEM PENETRAÇÃO
- REMOVER OS CONTATOS QUE DEVAM SER UNIDOS.
- FICARÃO ENTÃO 16 CONTATOS SEM PENETRAÇÃO, OS OITO CONJUNTOS DE CONTATOS ESXCLUÍDOS SERÃO UNIDOS PELA CONDIÇÃO GLOBAL

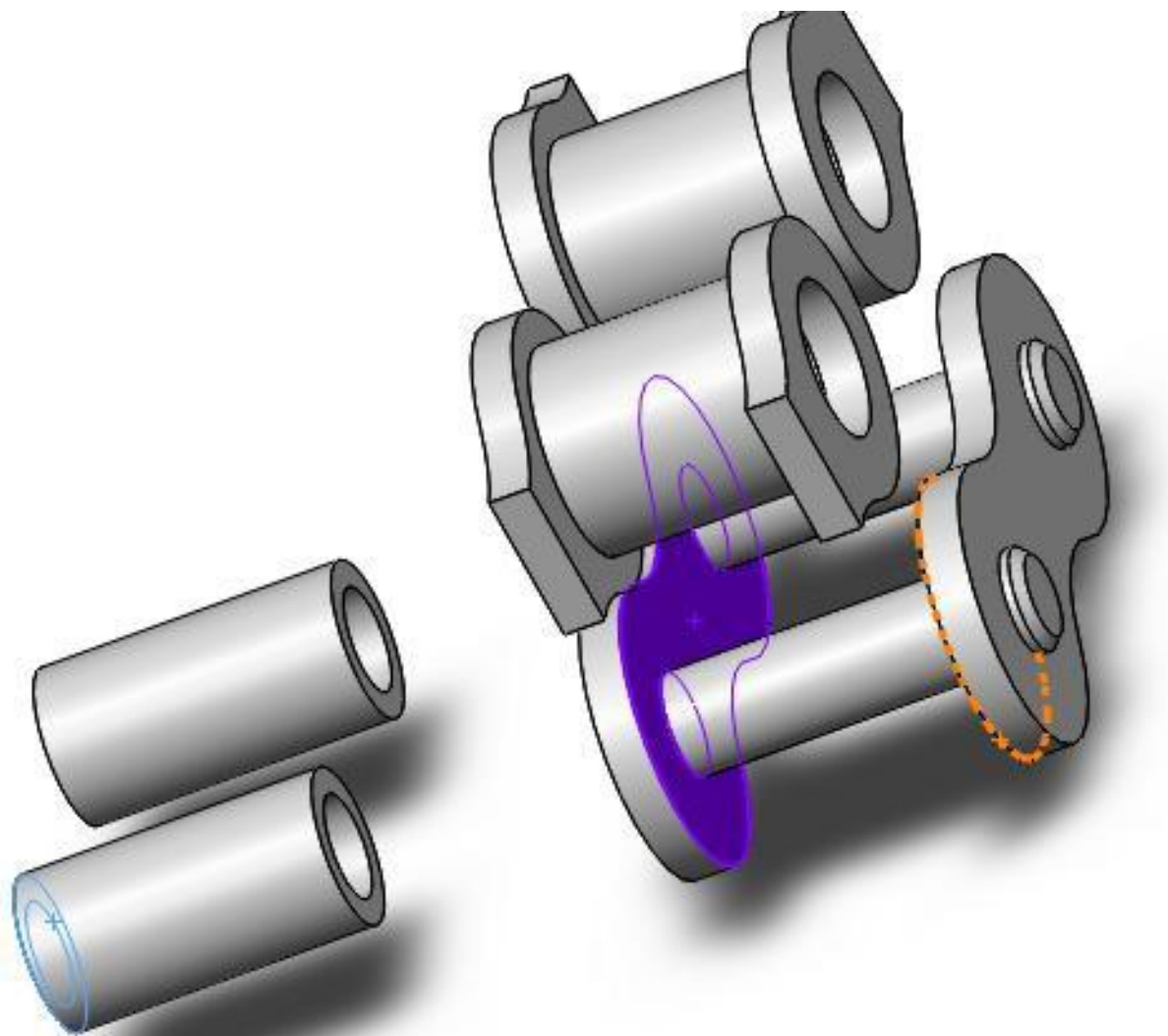
# **CONTATOS ADICIONADOS**

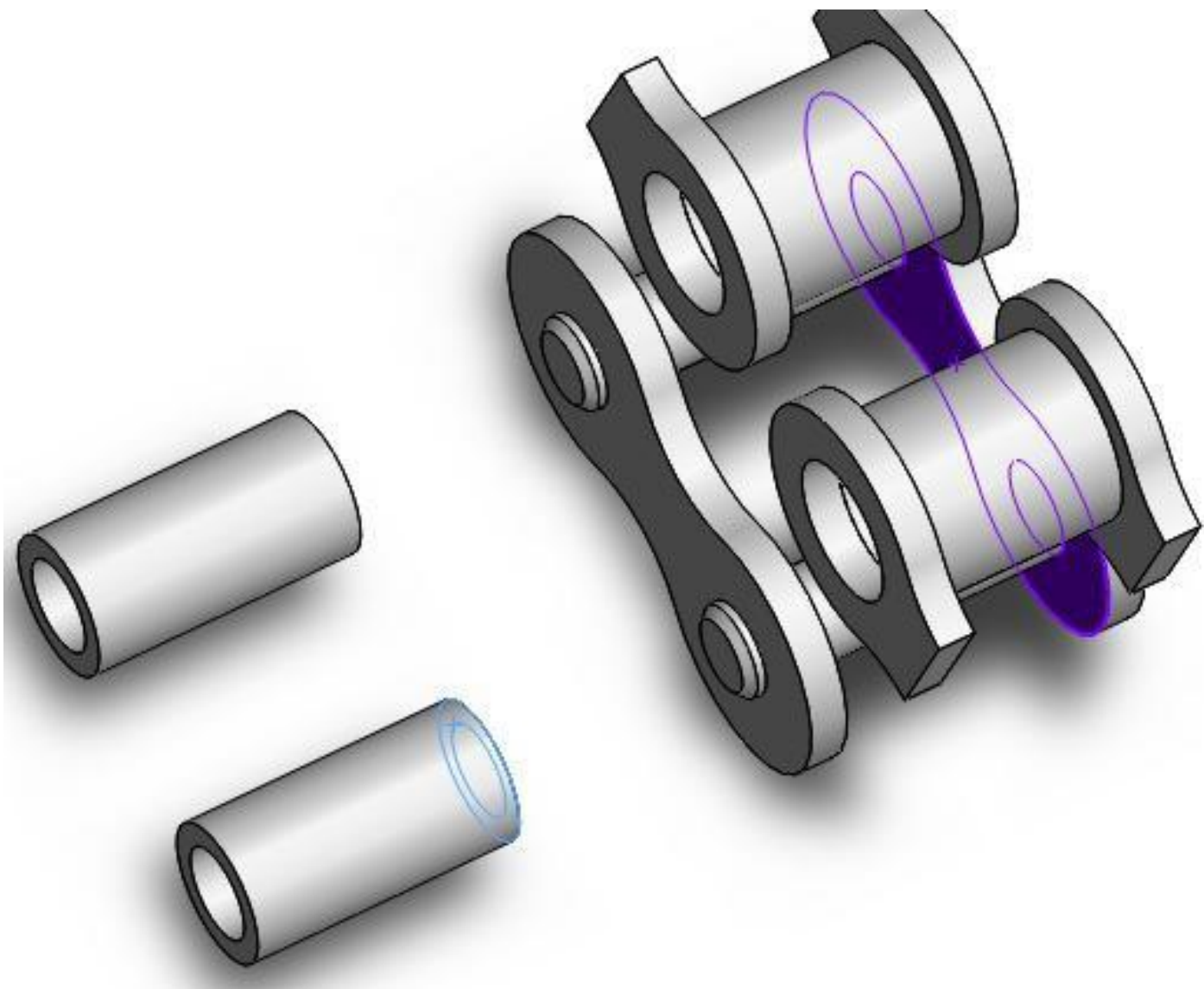
# CONTATOS SEM PENETRAÇÃO



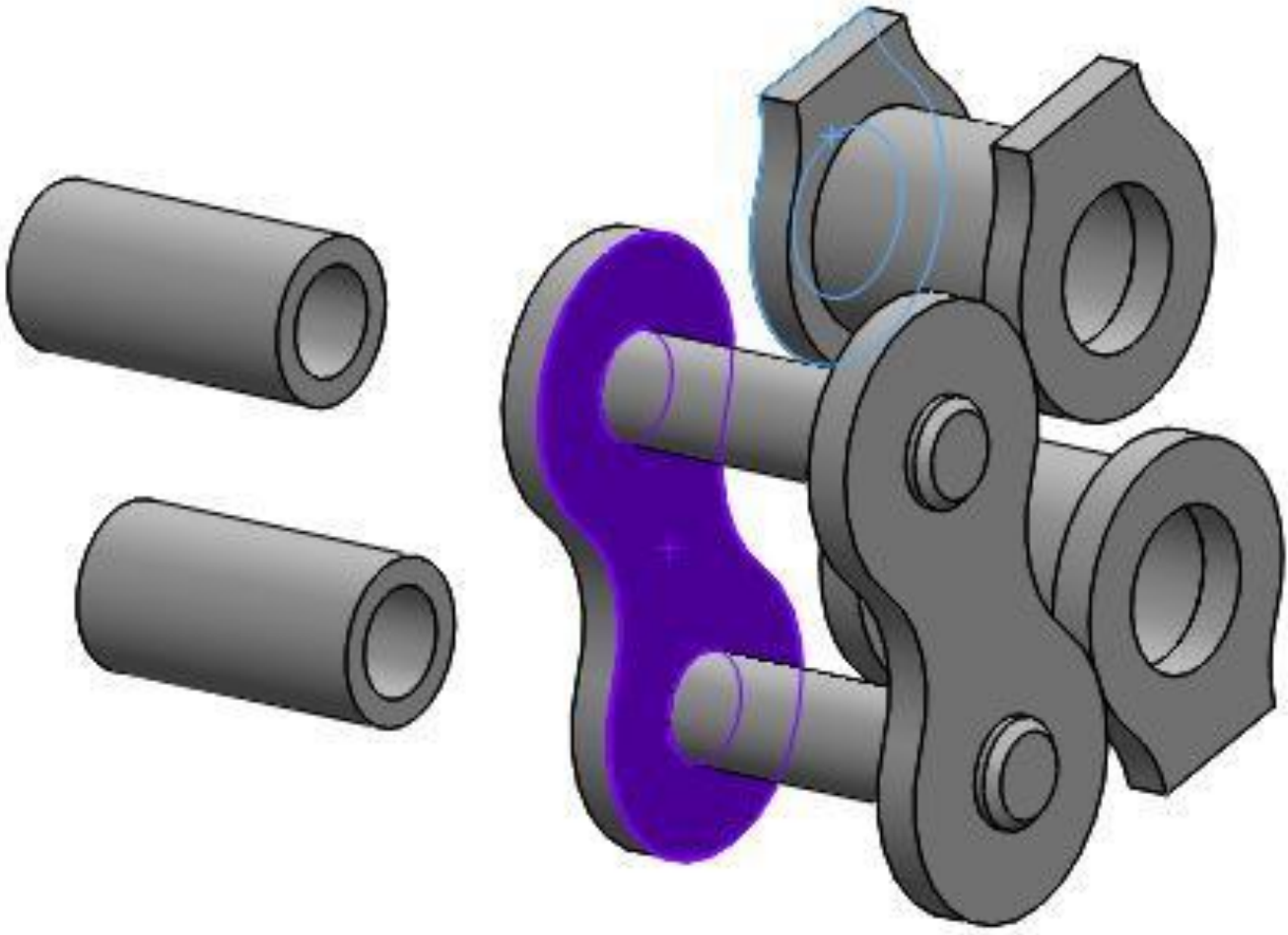
[https://www.youtube.com/watch?v=llOUILa\\_QTk](https://www.youtube.com/watch?v=llOUILa_QTk)

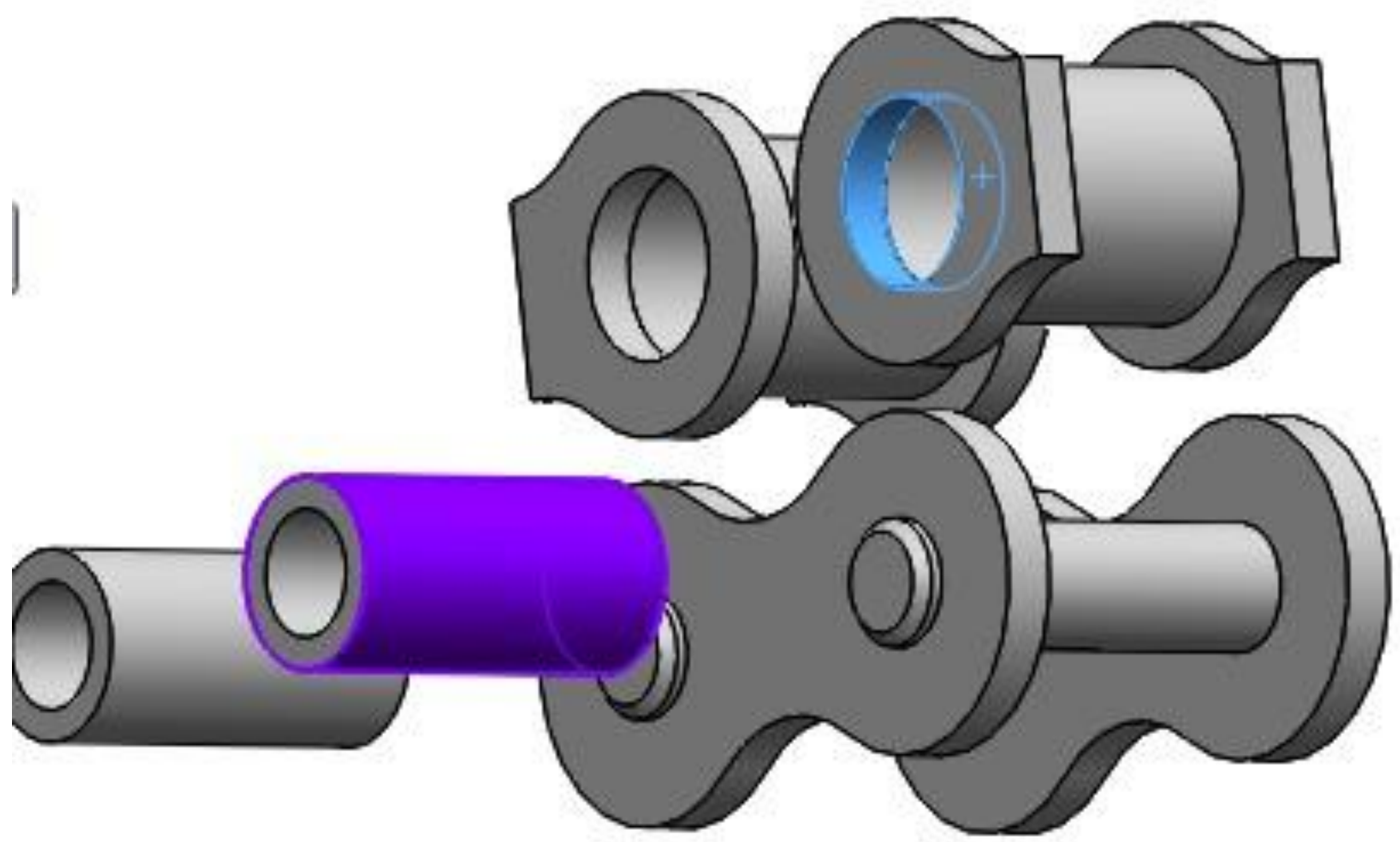


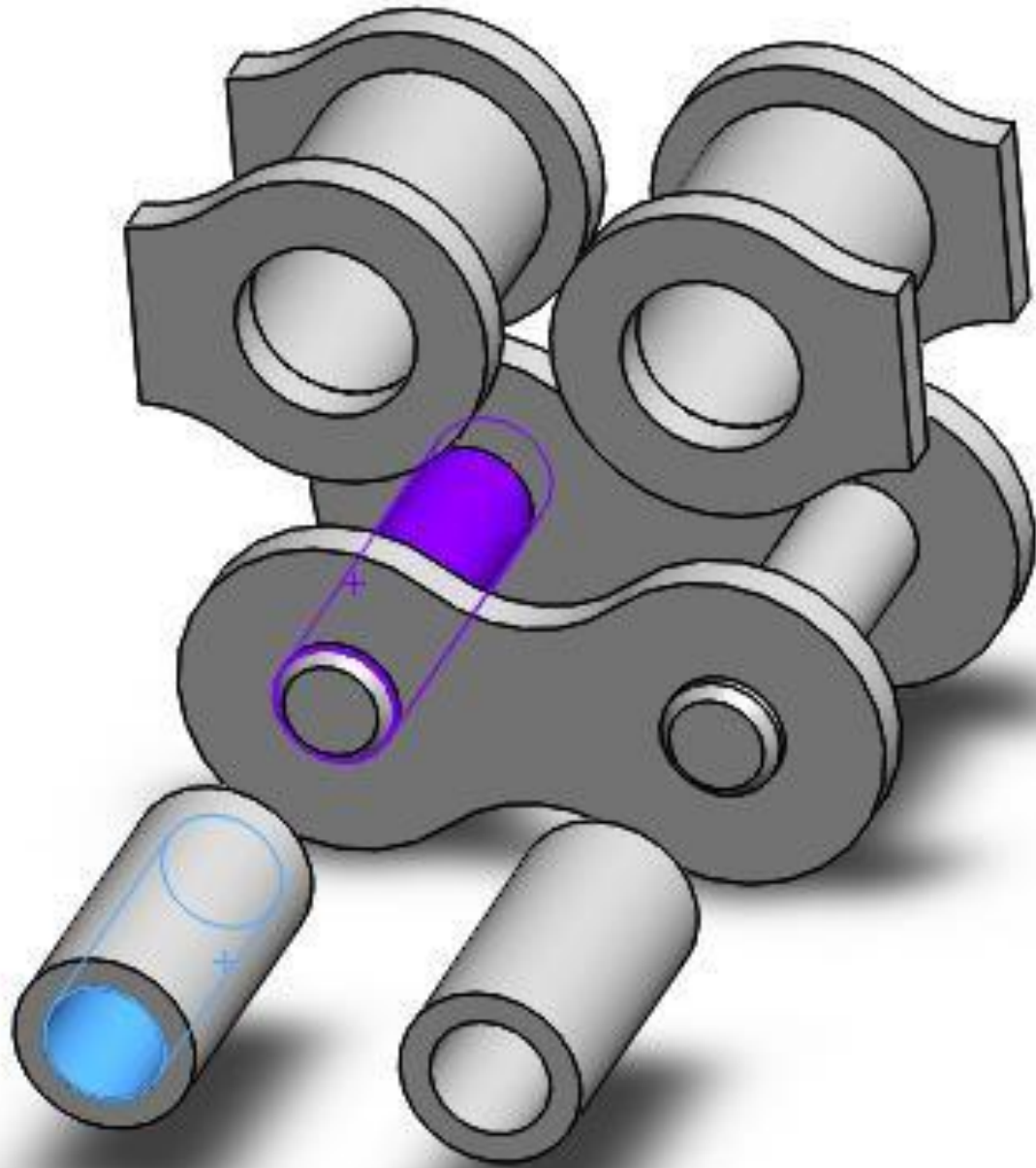


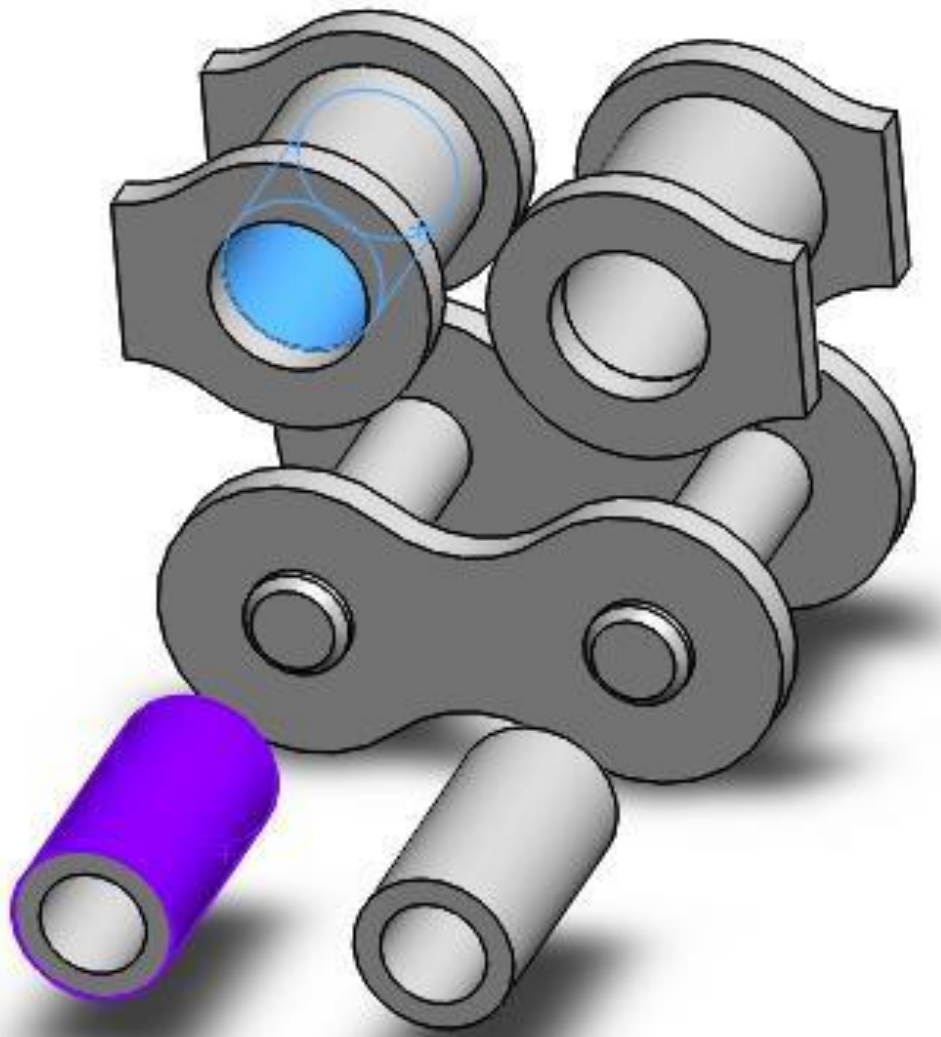


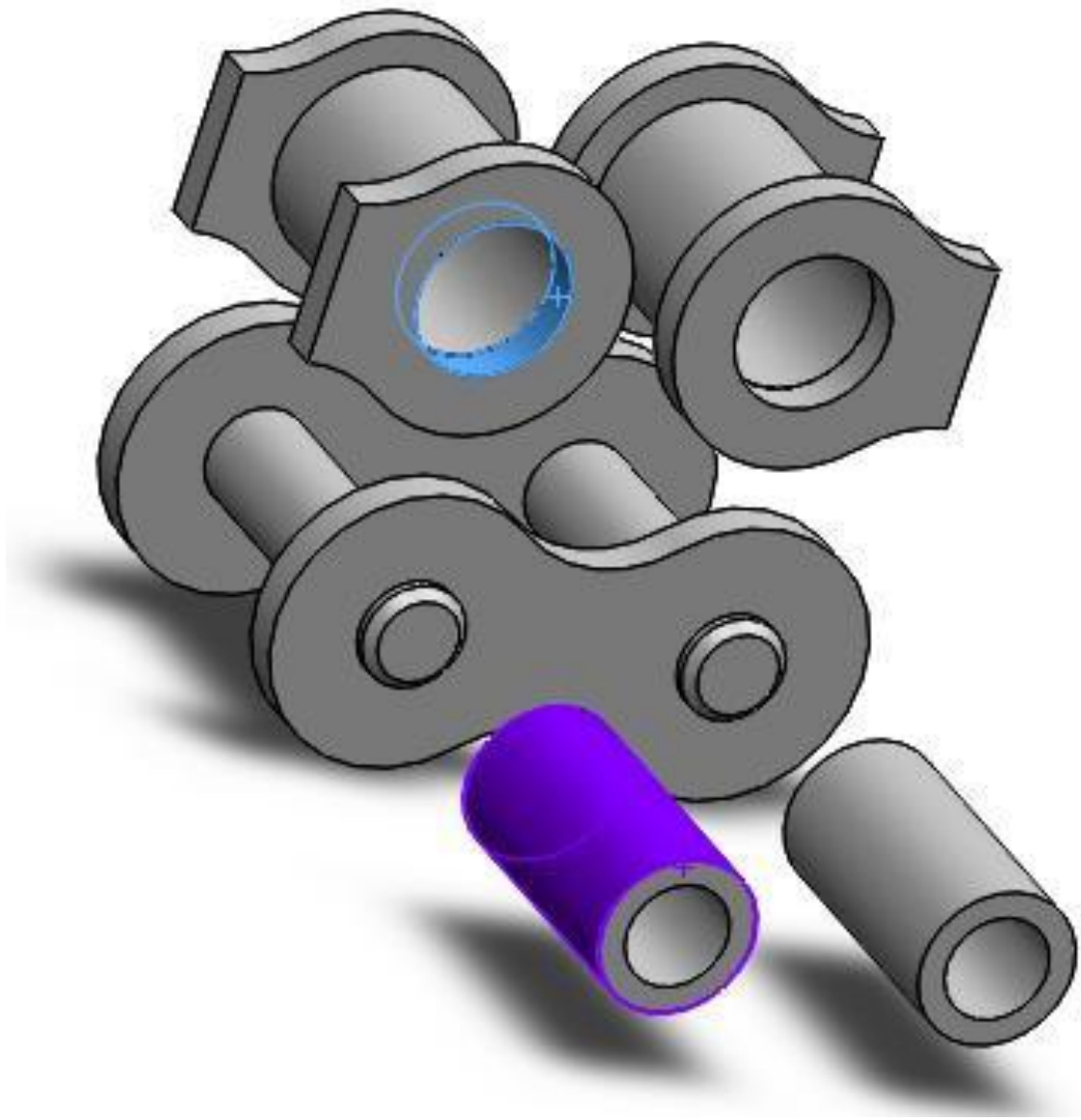


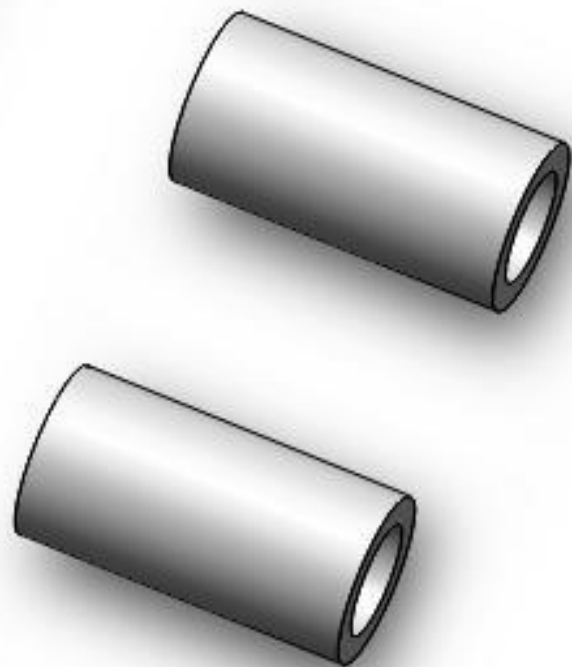
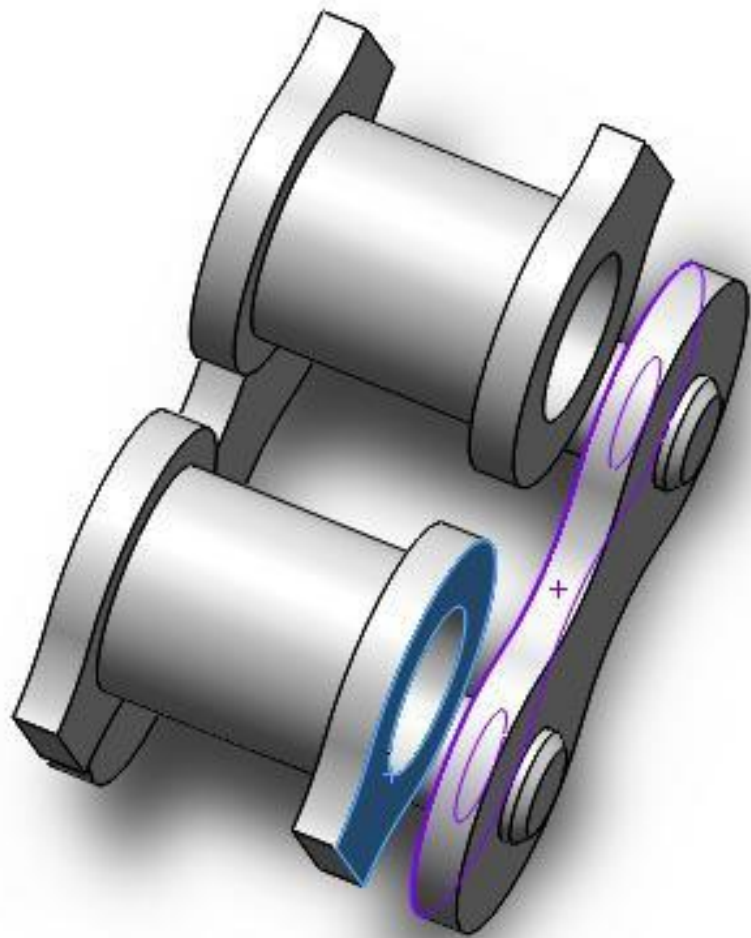


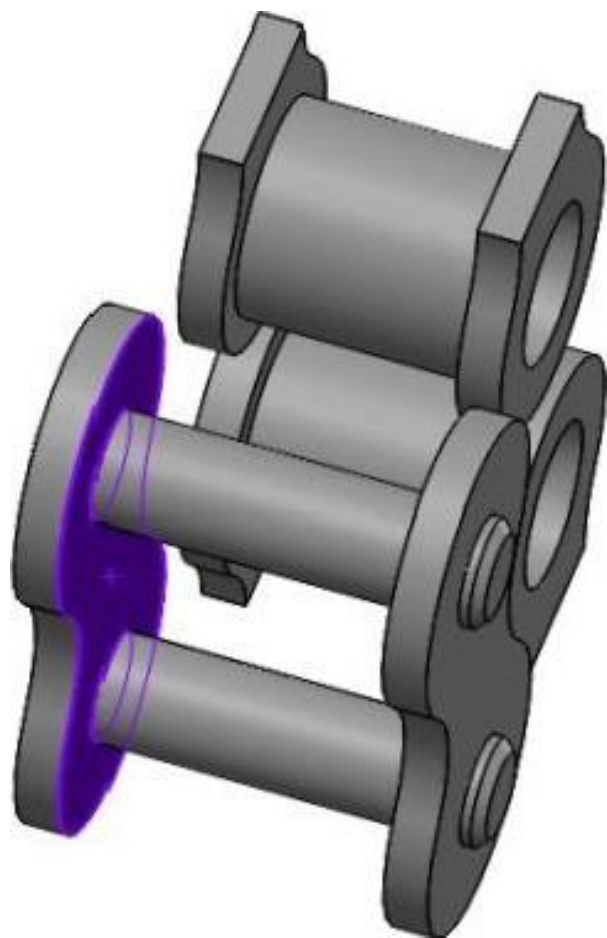








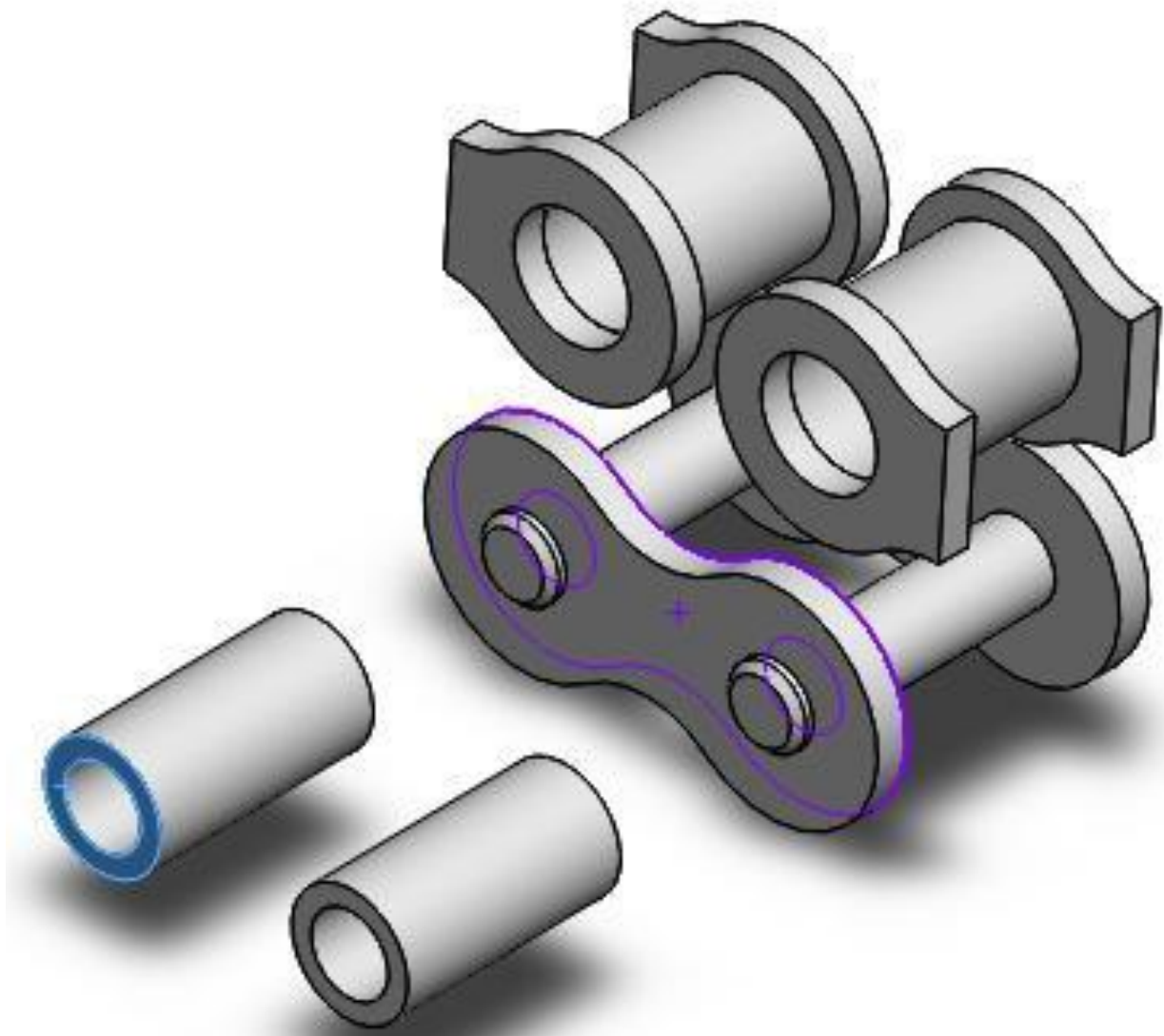




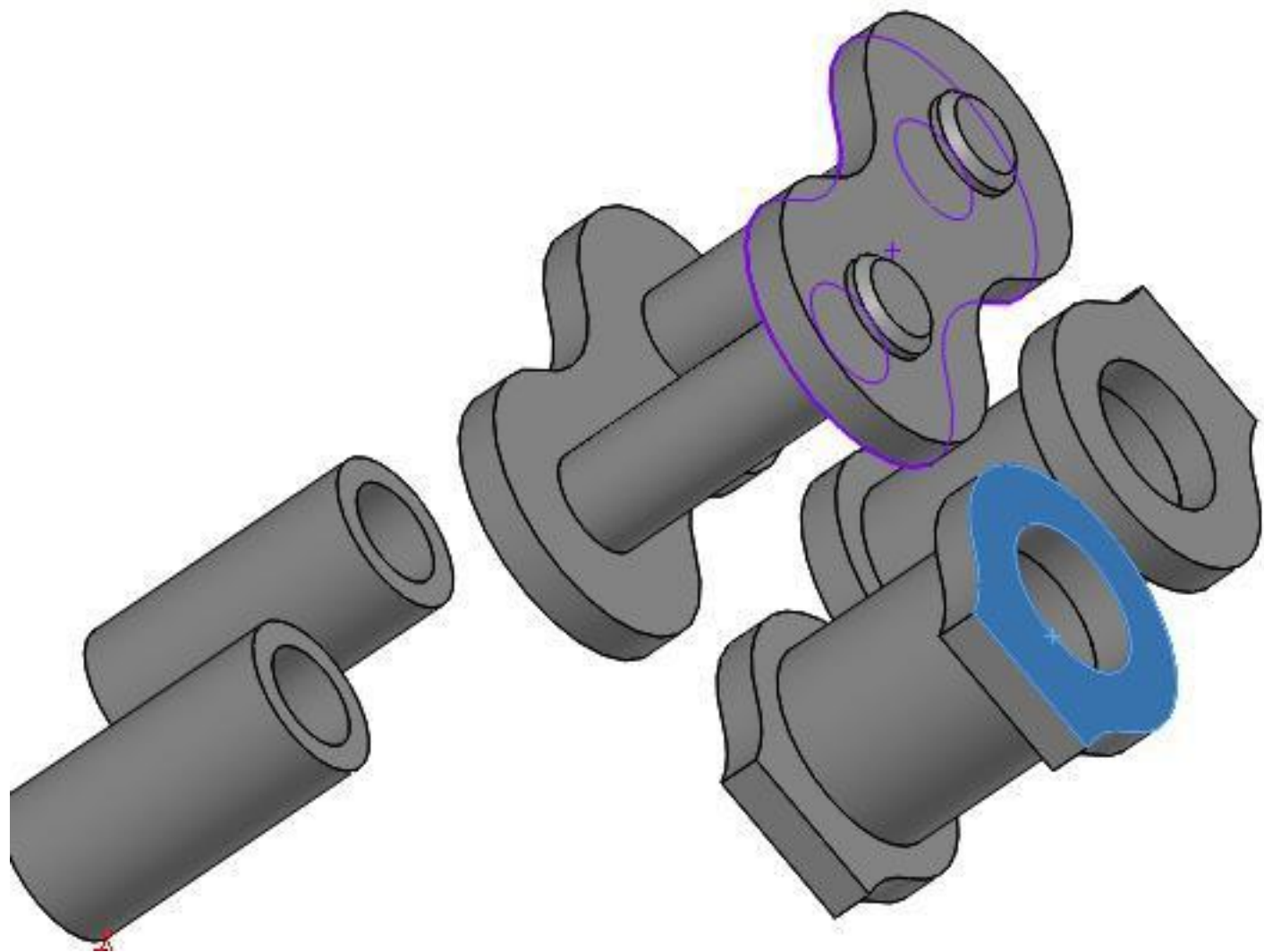
1

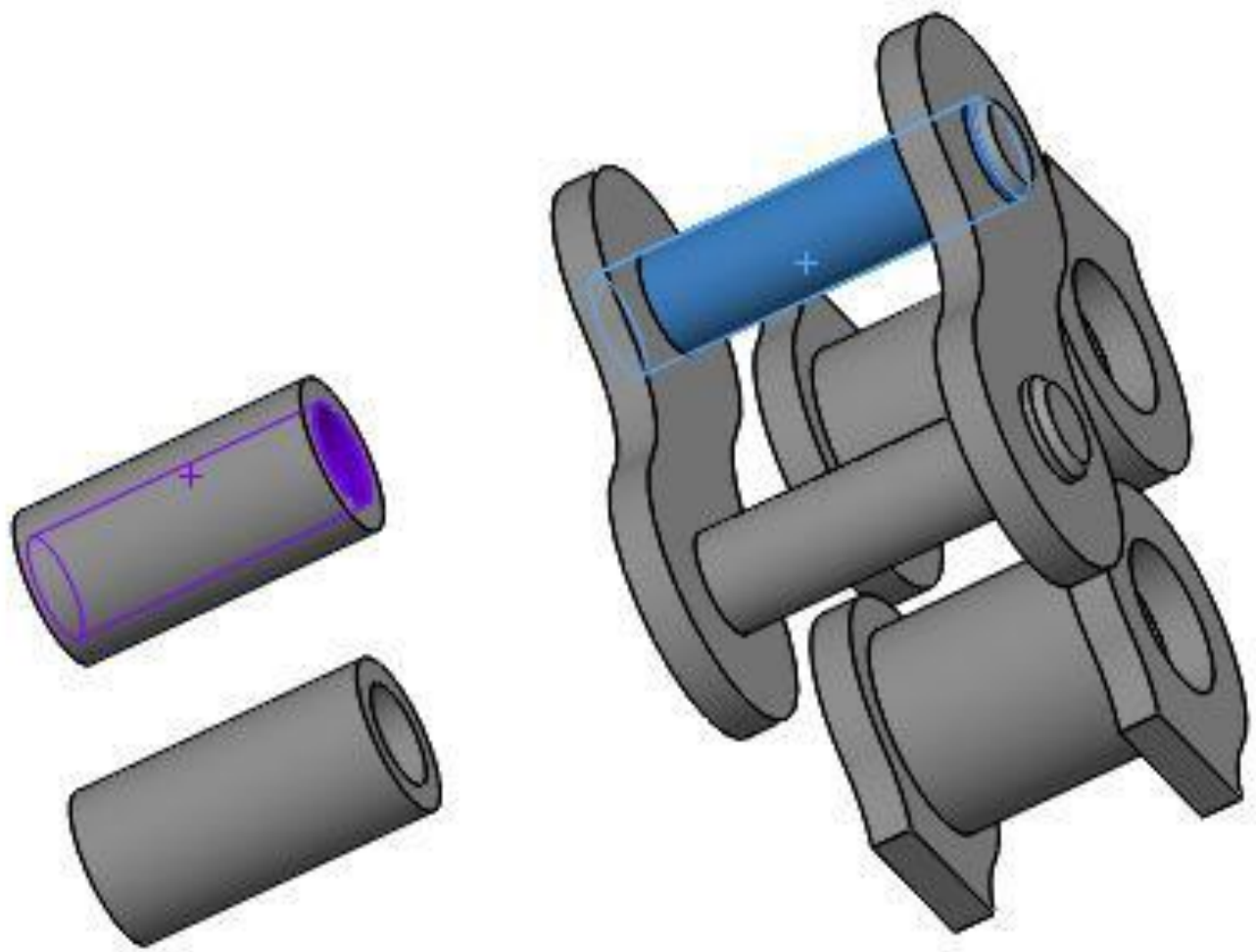


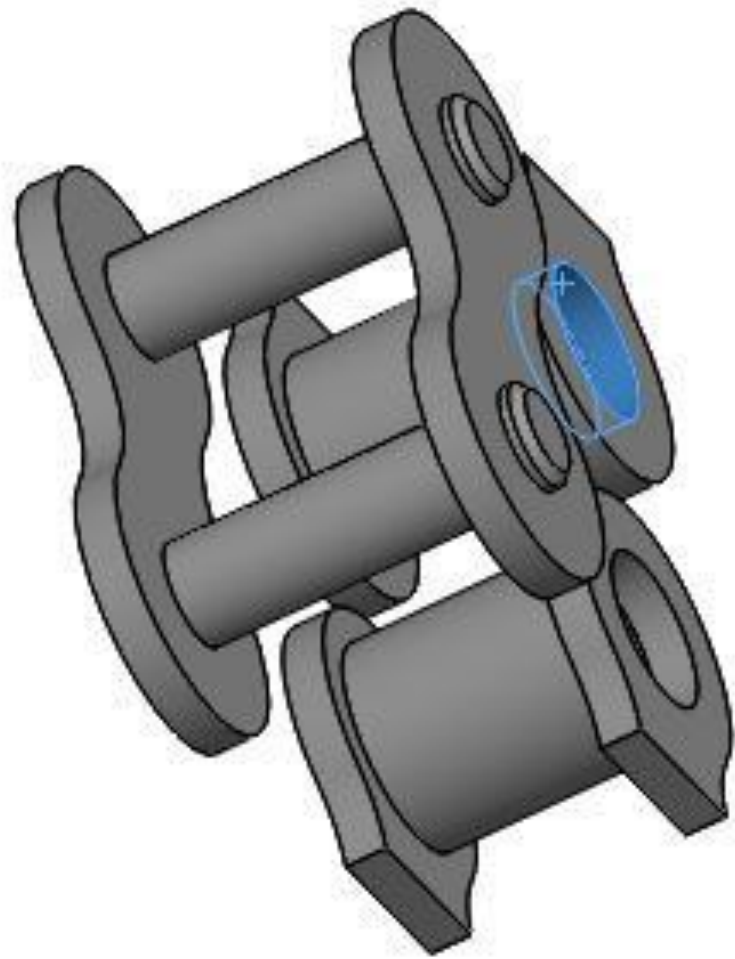


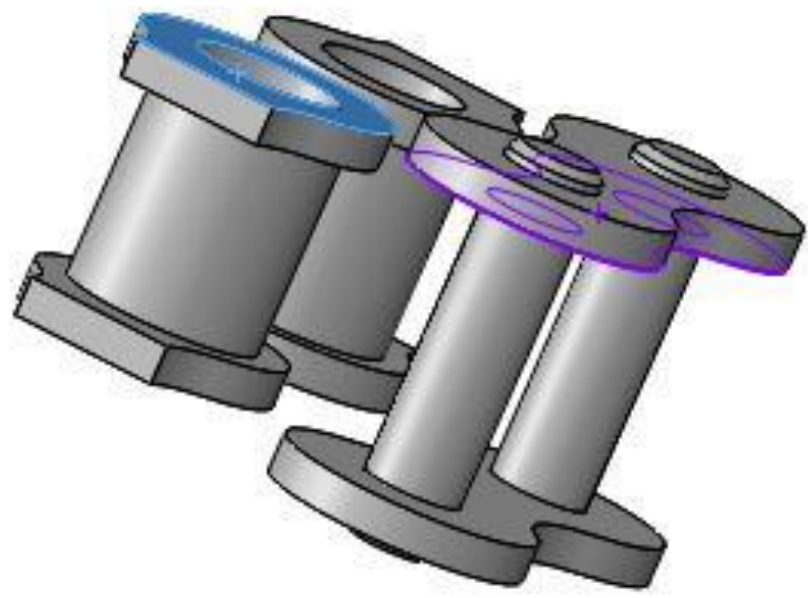


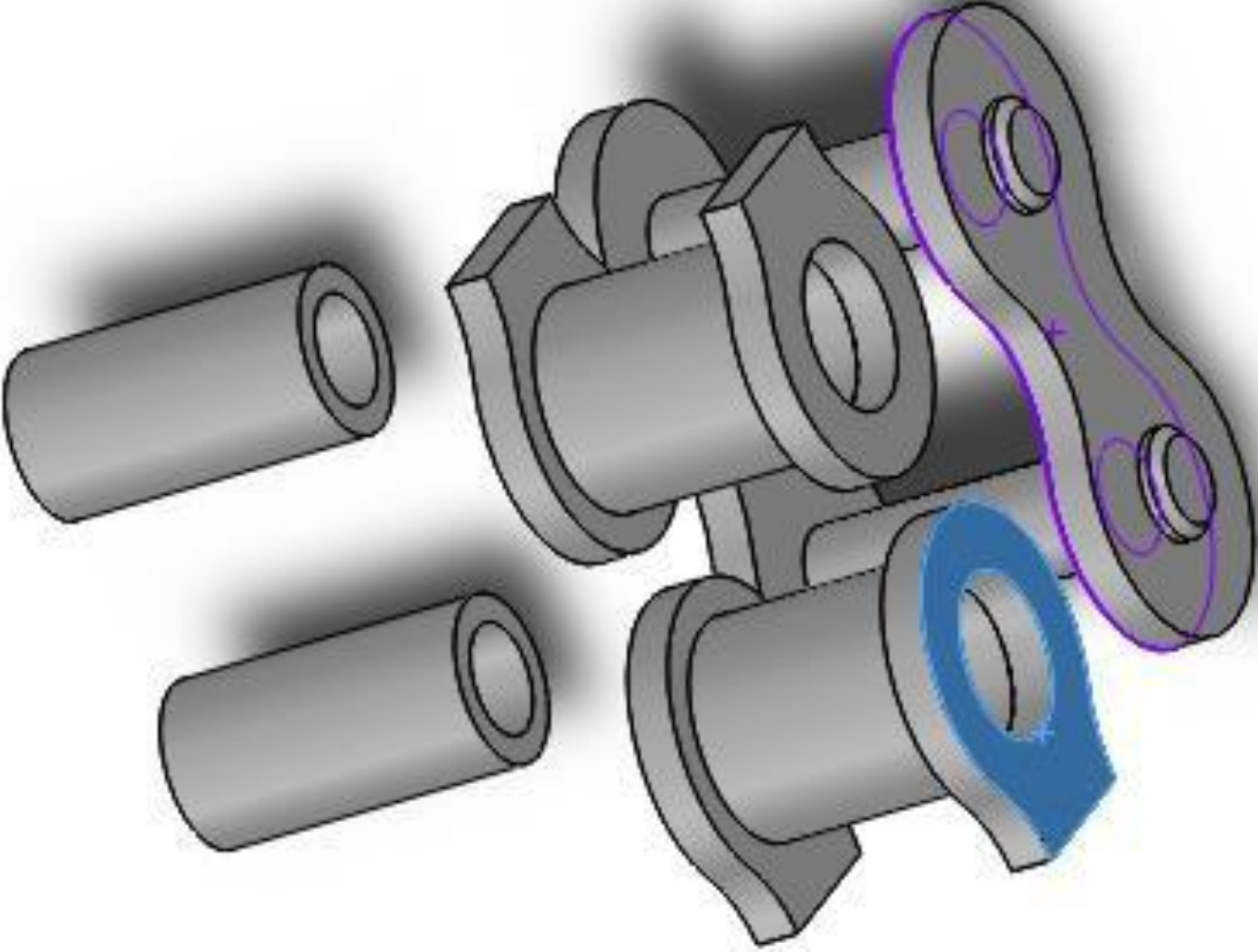




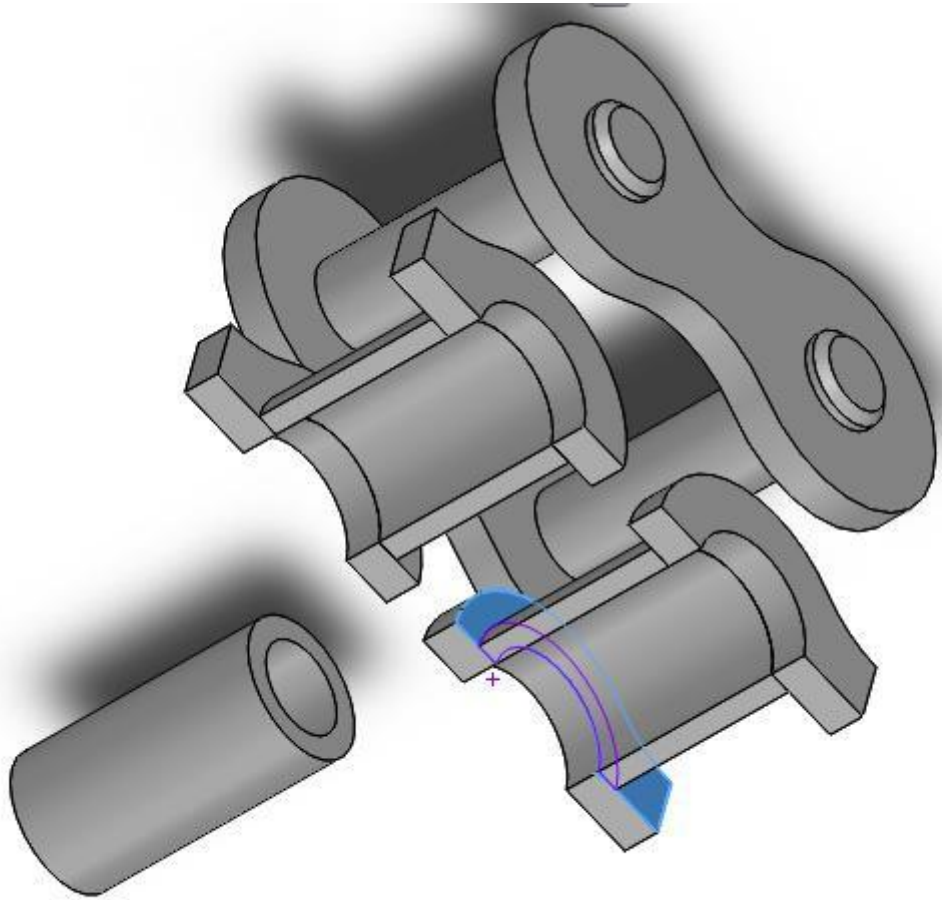


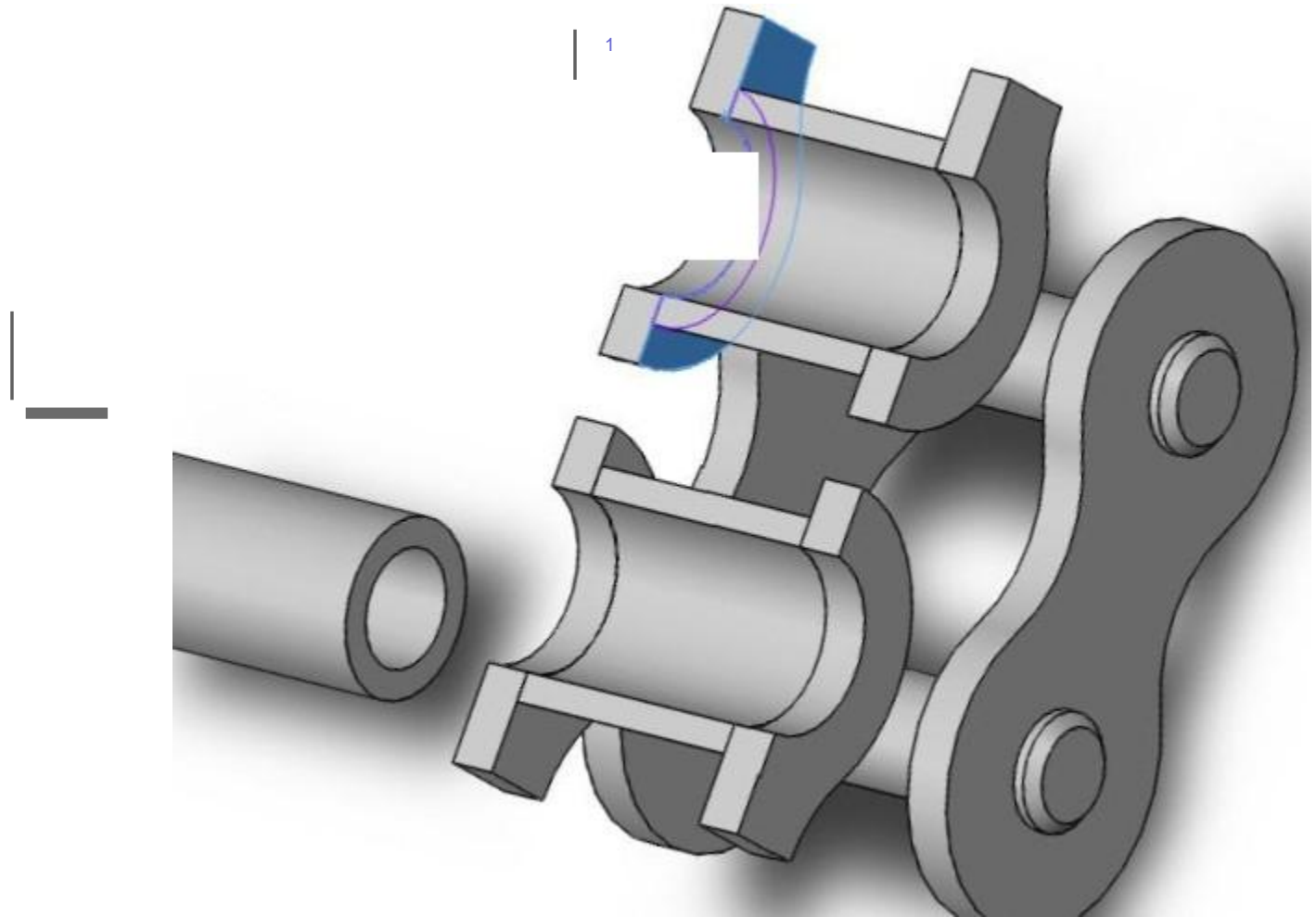




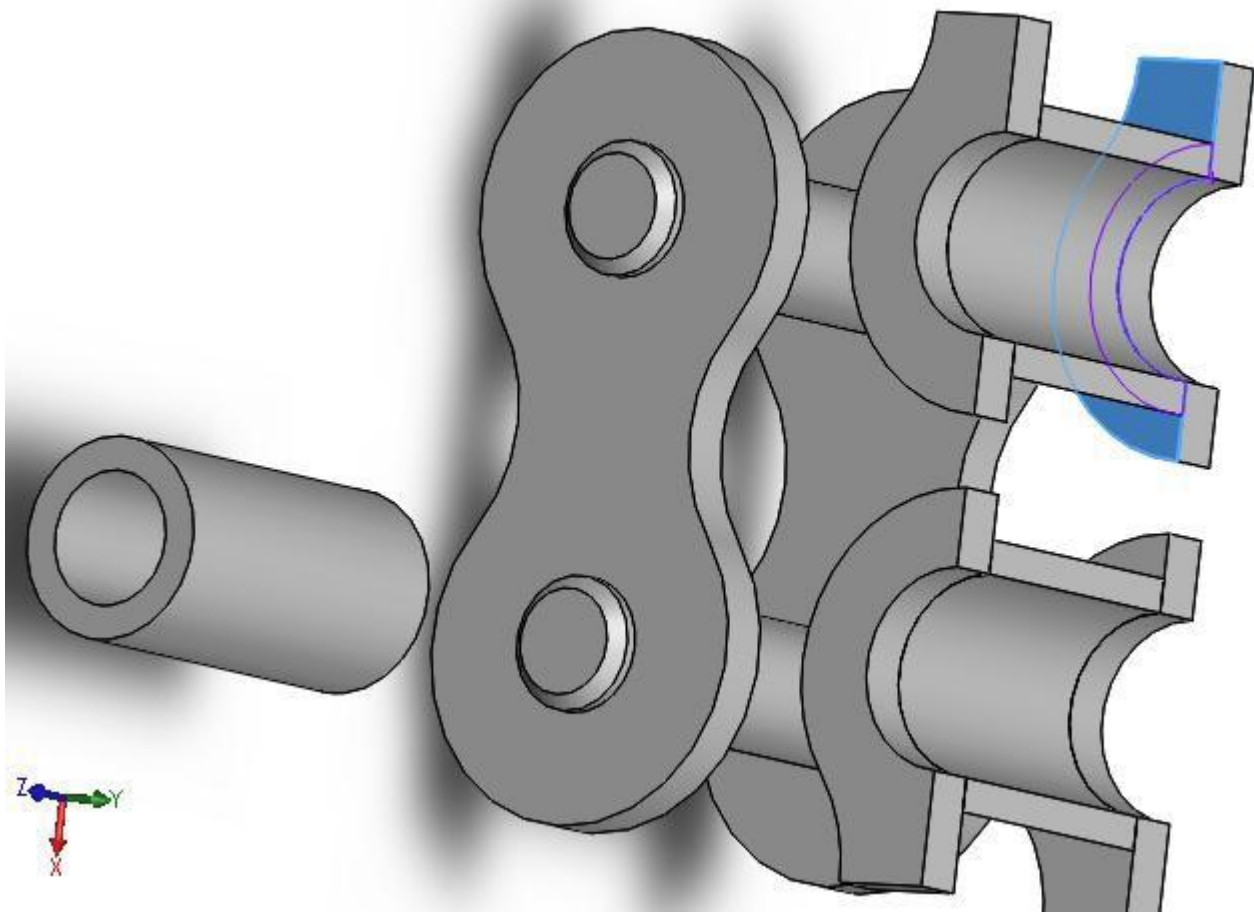


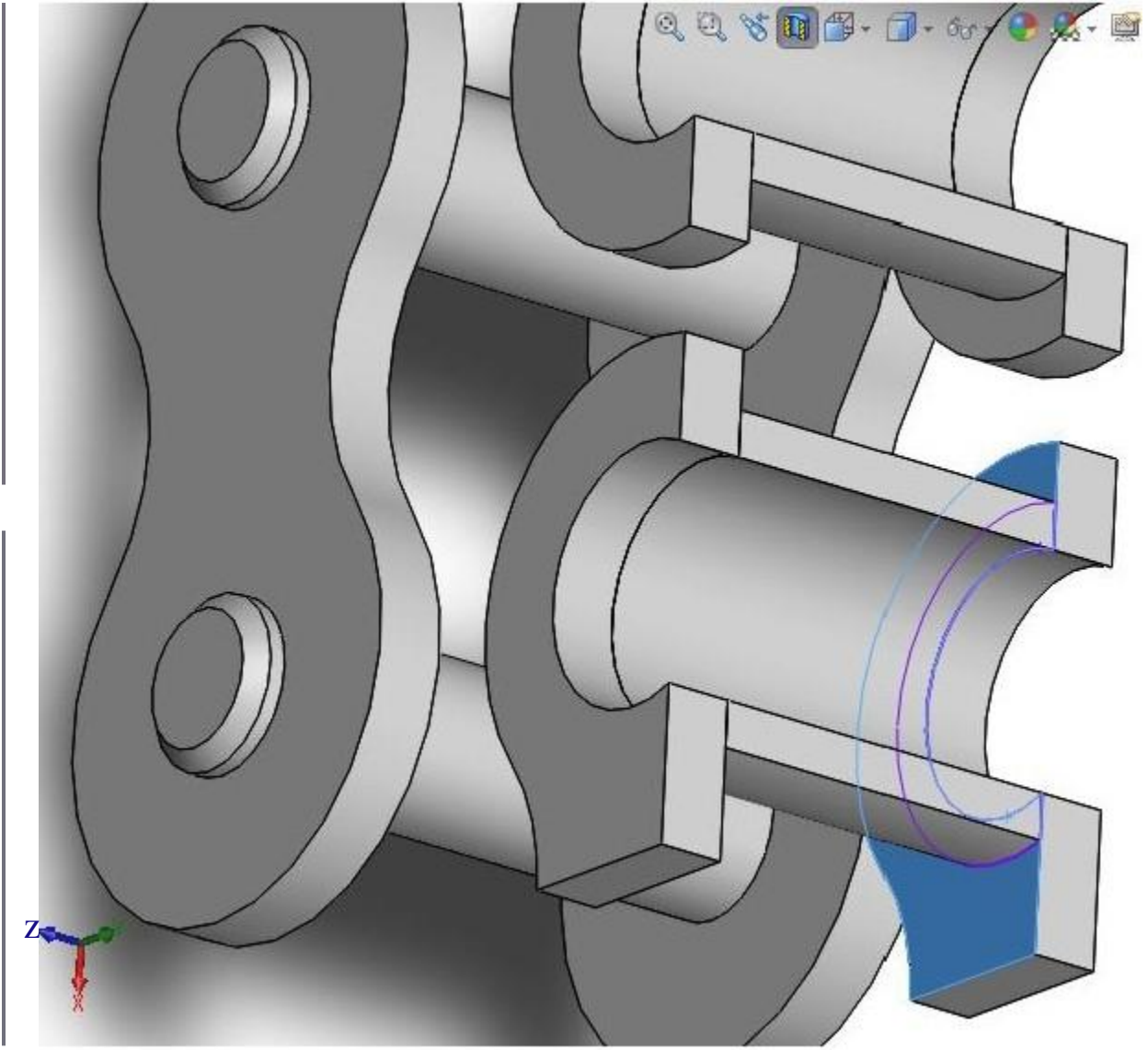
**CONTATOS PARA SEREM EXCLUÍDOS**

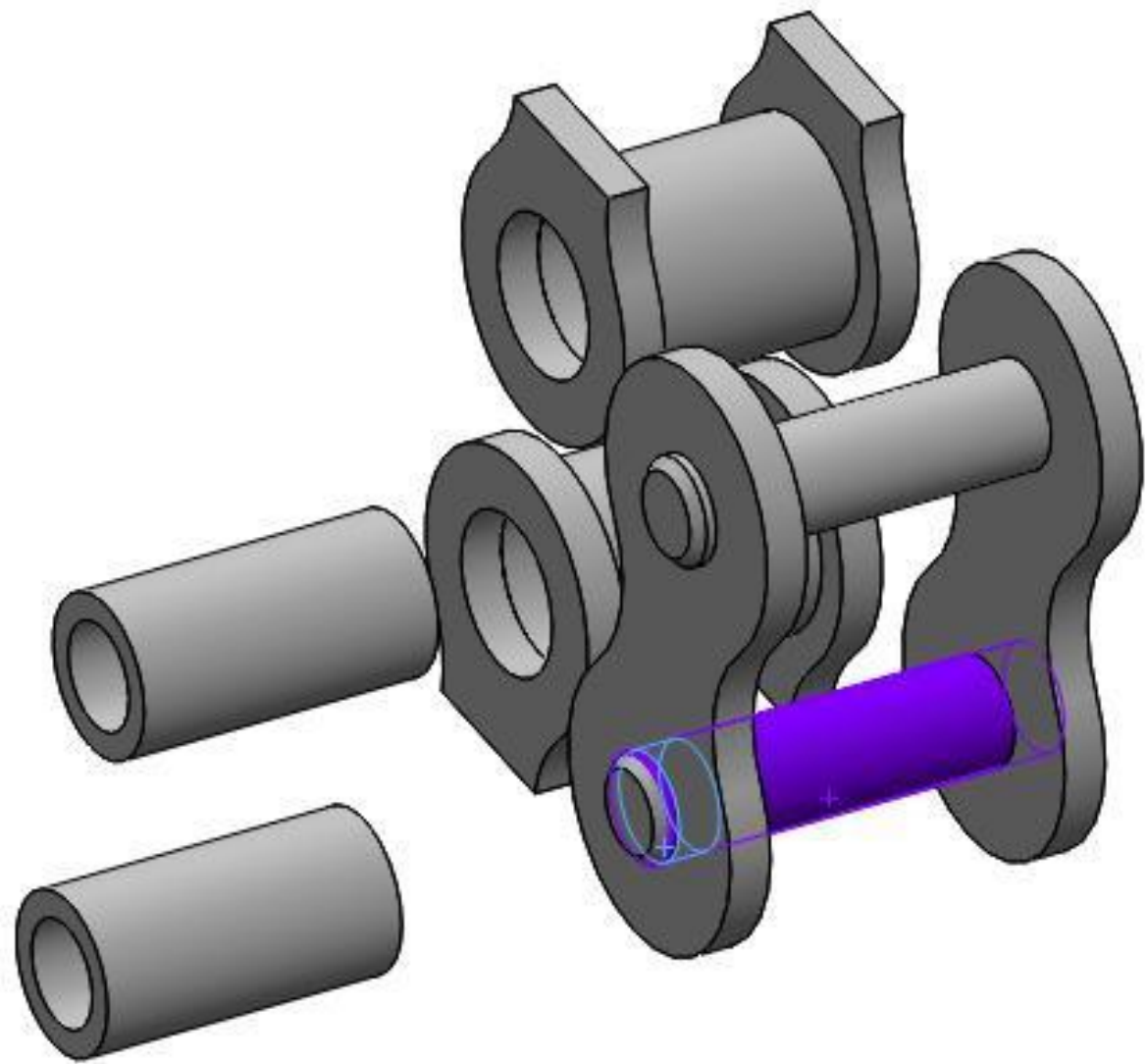


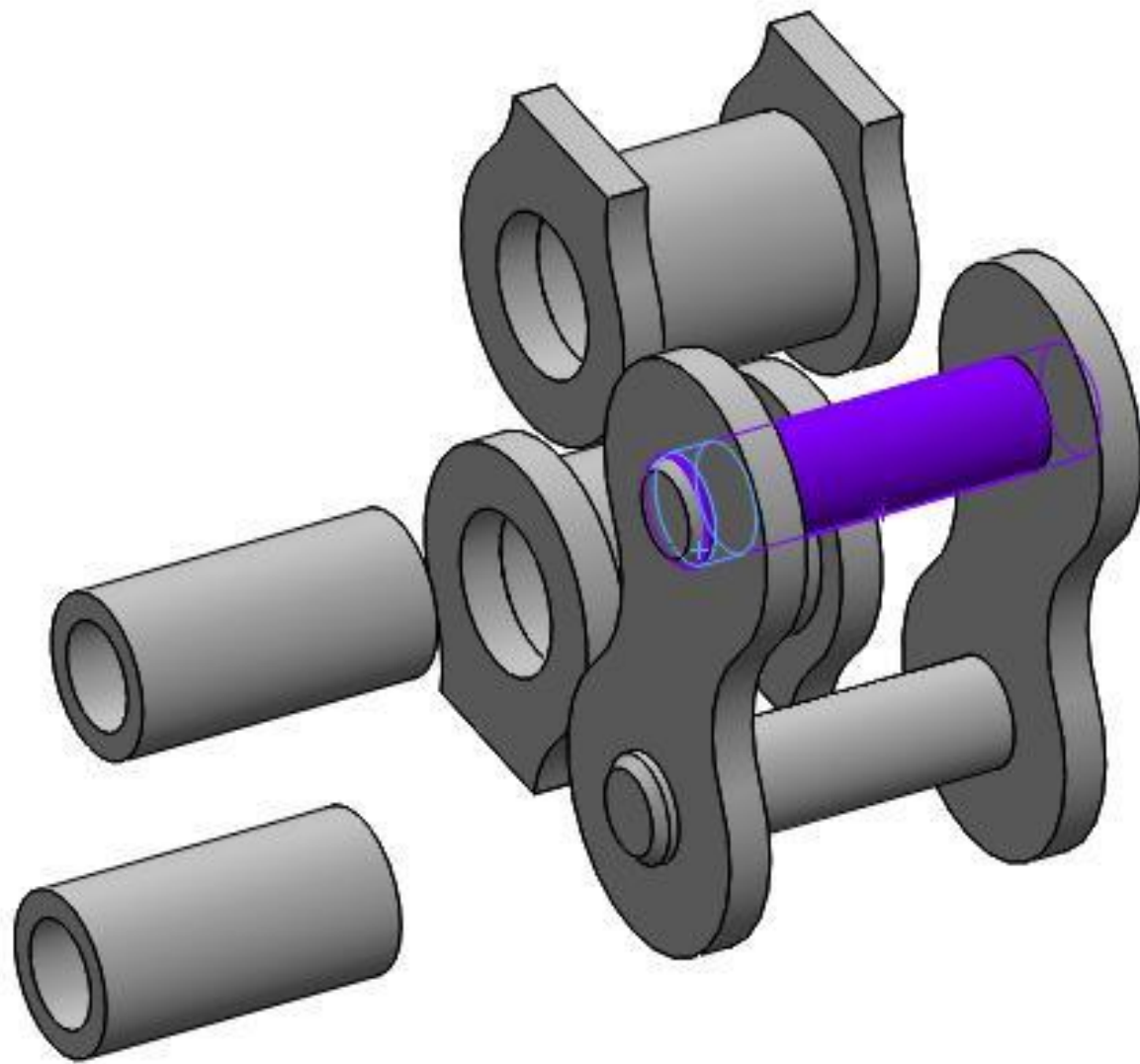


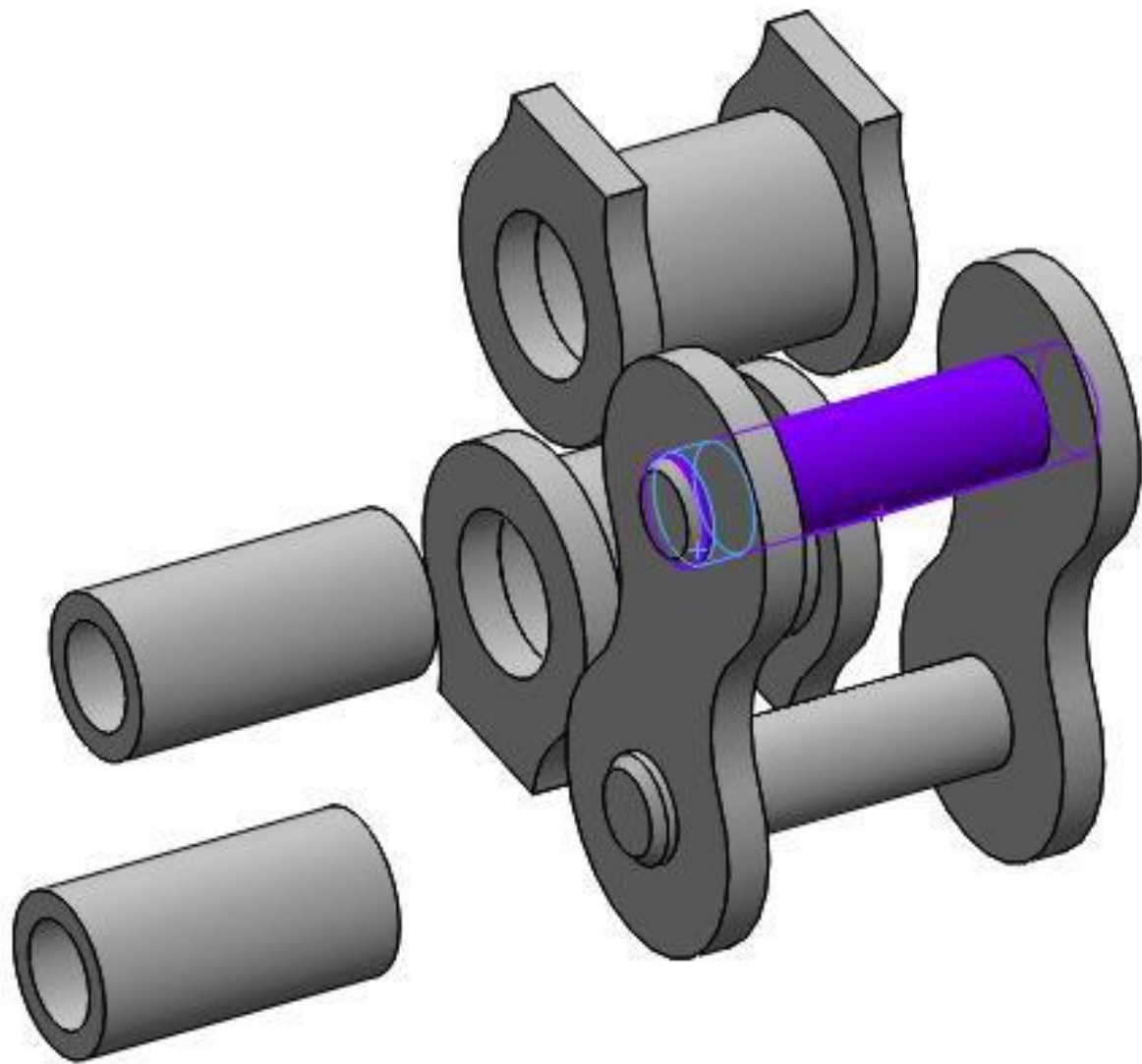


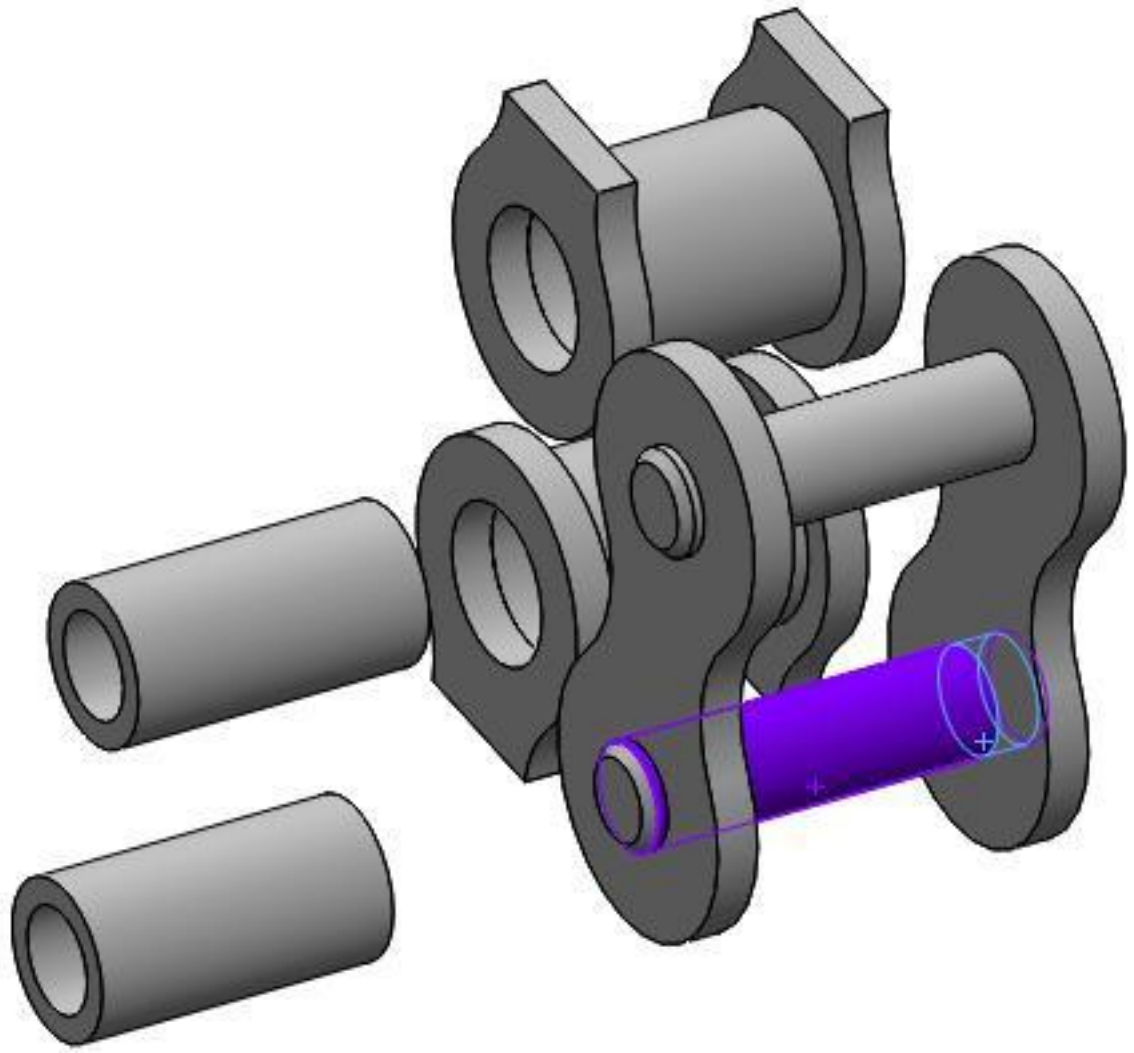








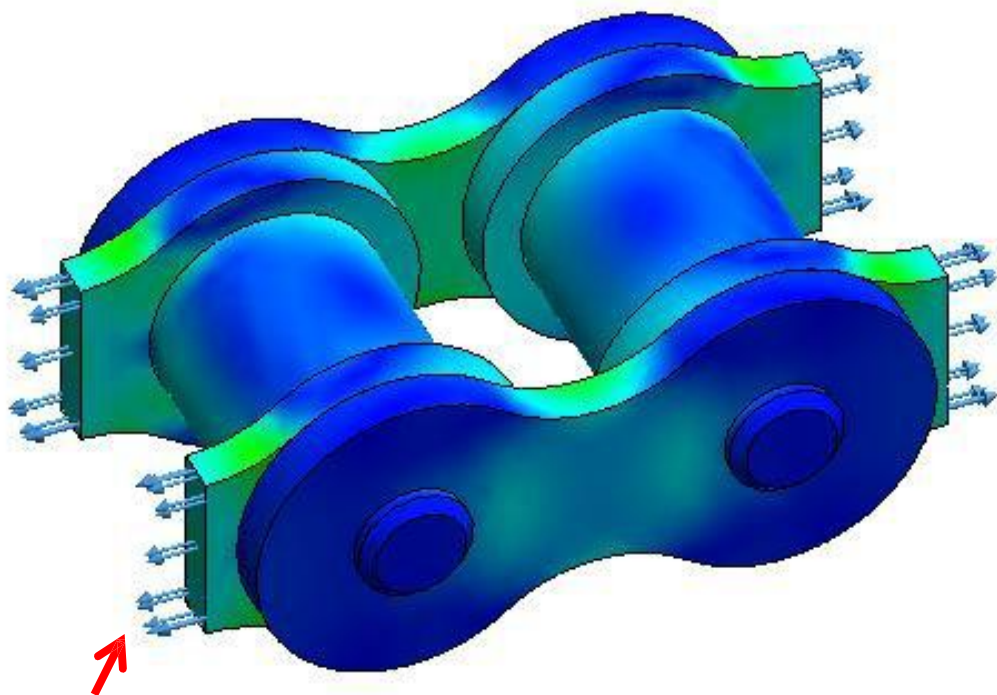




# CRIAR A MALHA

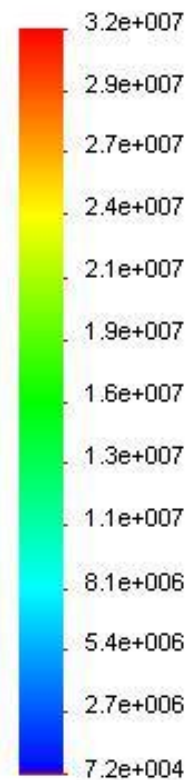
- MALHA BASE EM CURVATURA, TAMANHO DO ELEMENTO 1,92581 mm.
- SELECIONE USAR ALÍVIO INERCIAL E DIRECT SPARSE PARA O SOLVER
- EXECUTE O ESTUDO

# ELO CORRENTE



FORÇA  
200 N EM CADA EXTREMIDADE

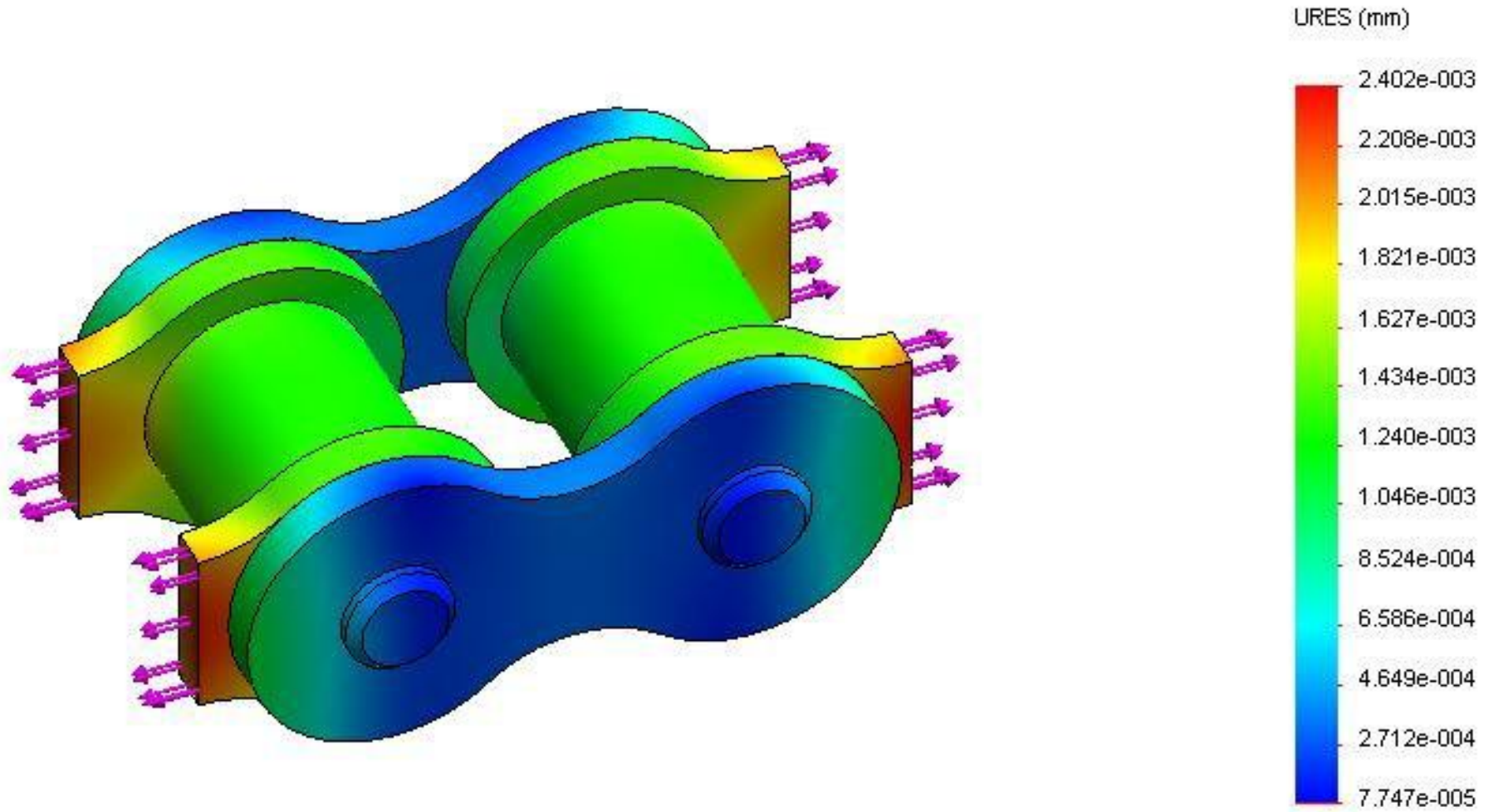
von Mises (N/m<sup>2</sup>)



→ Limite de escoamento: 2.1e+008



# DESLOCAMENTO

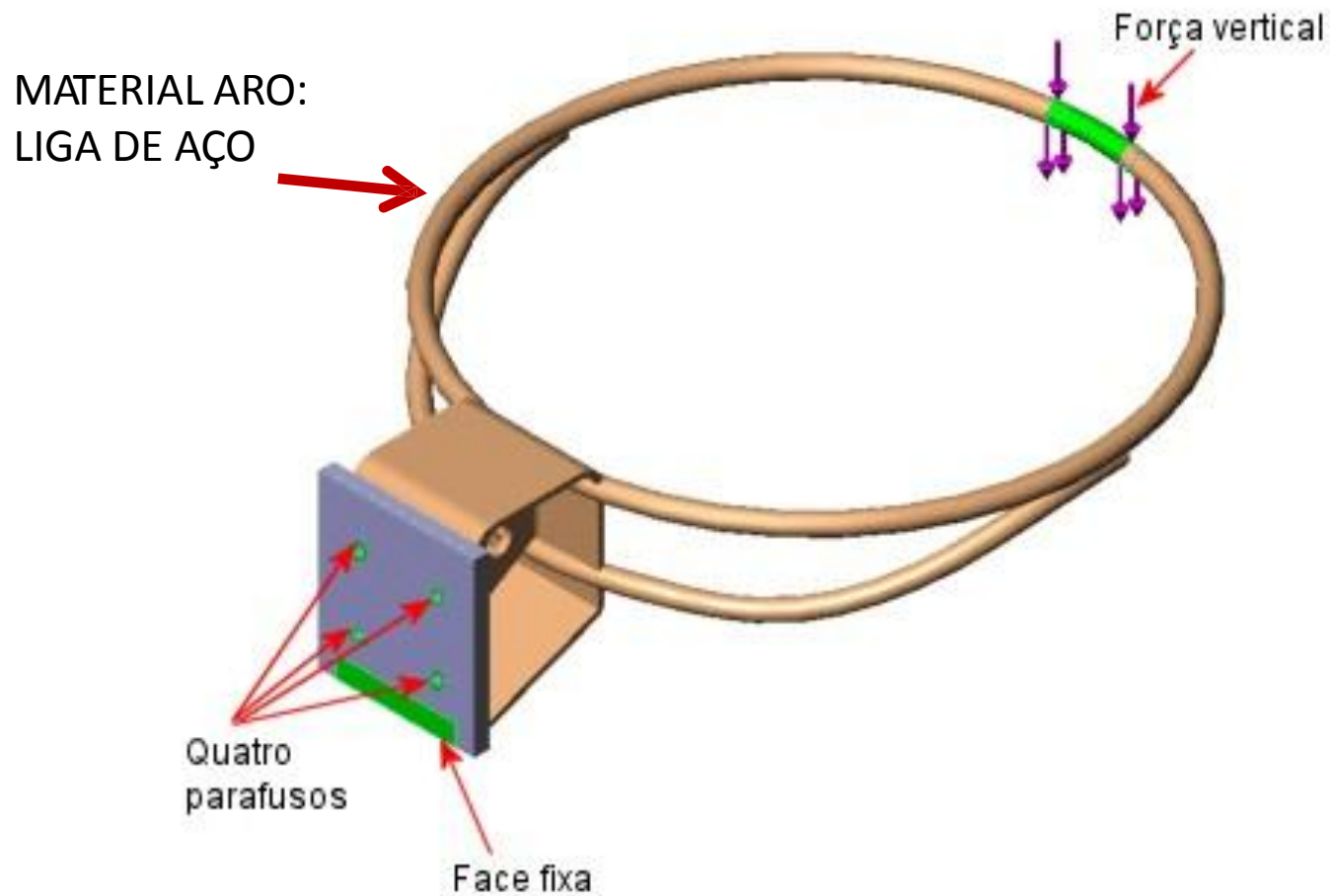


# ARO DE BASQUETE

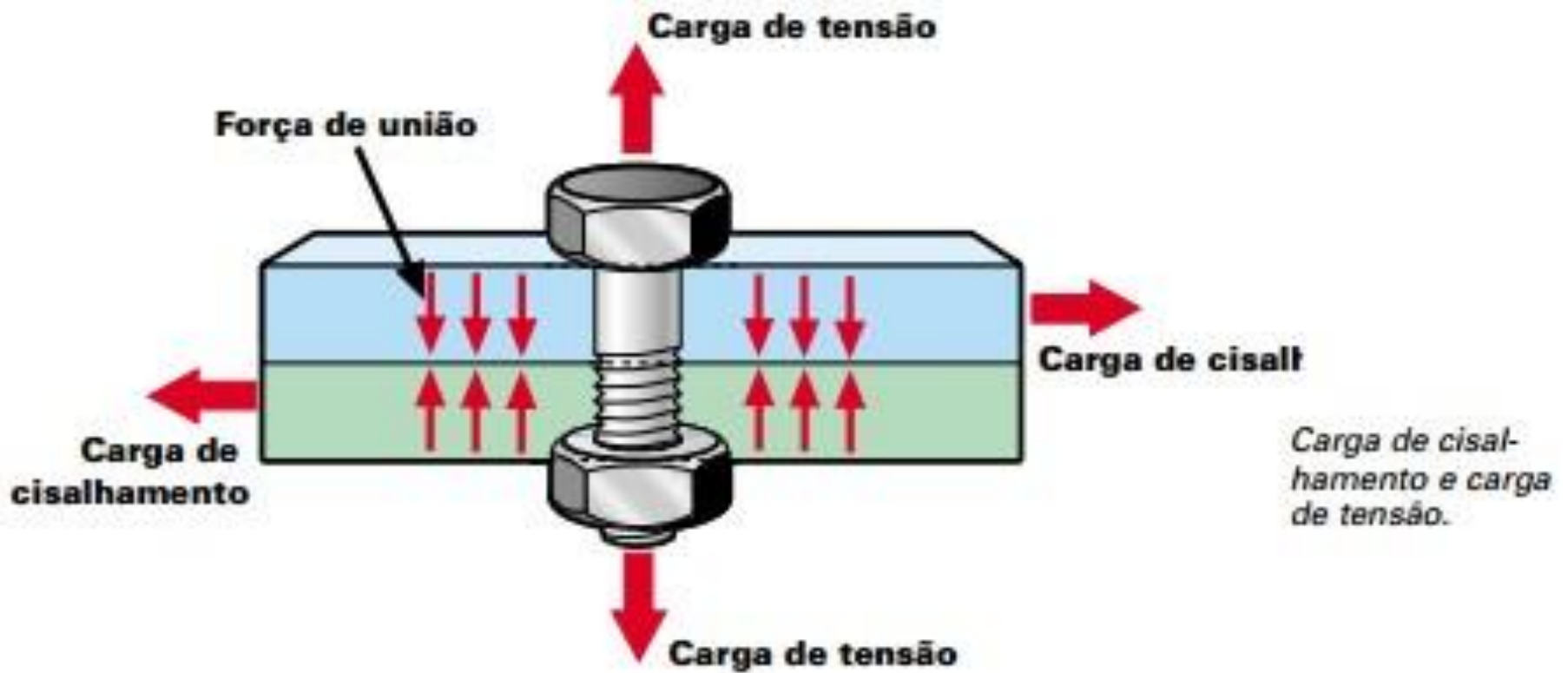
## LIÇÃO 9

# ARO DA CESTA DE BASQUETE

**FORÇA VERTICAL APLICADA DE 250lbf APLICADA NUMA PARTE DO ARO E  
UM TORQUE DE APERTO DOS PARAFUSOS DE 100 lbf**

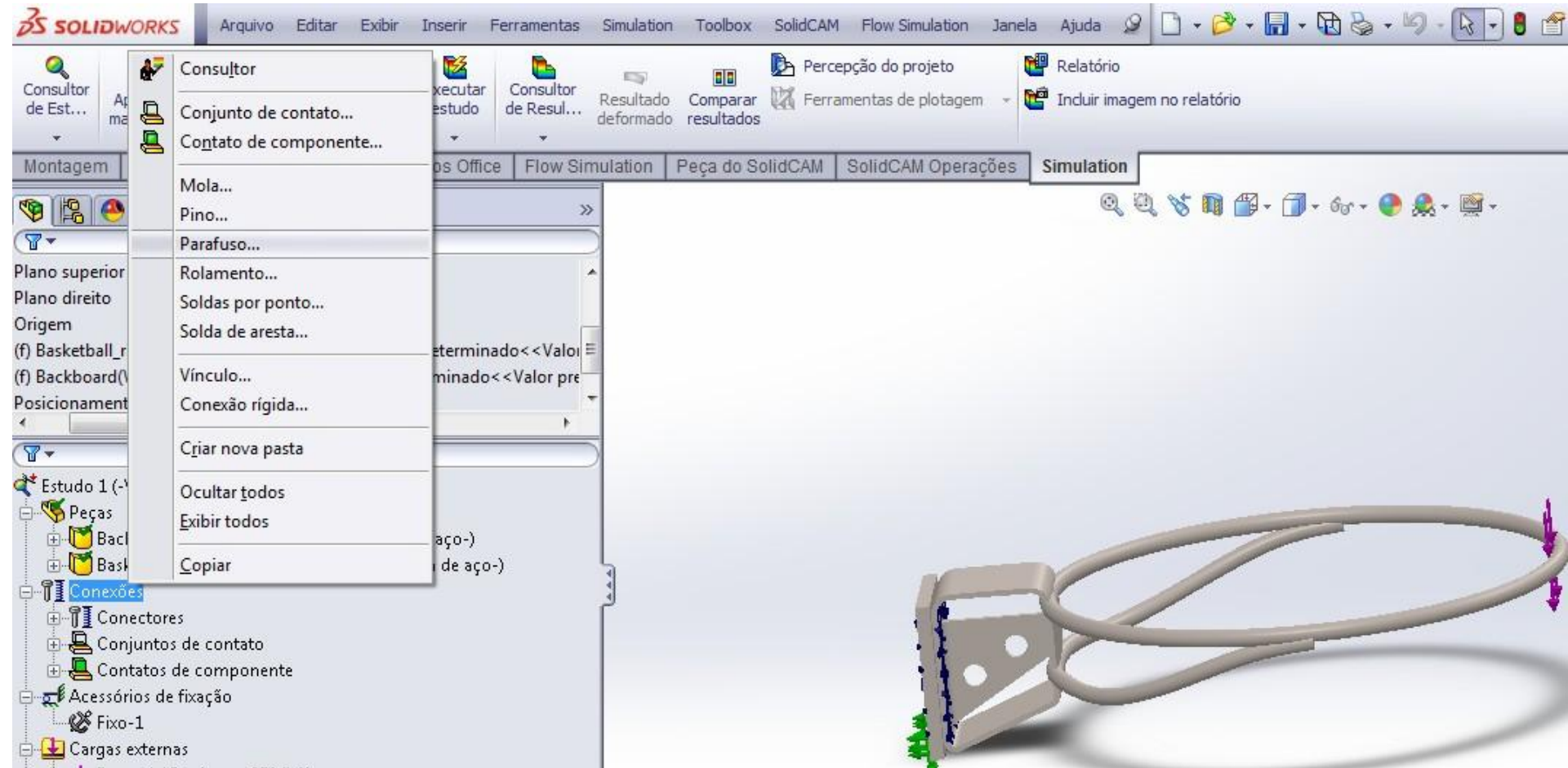


# CARGAS NO PARAFUSO

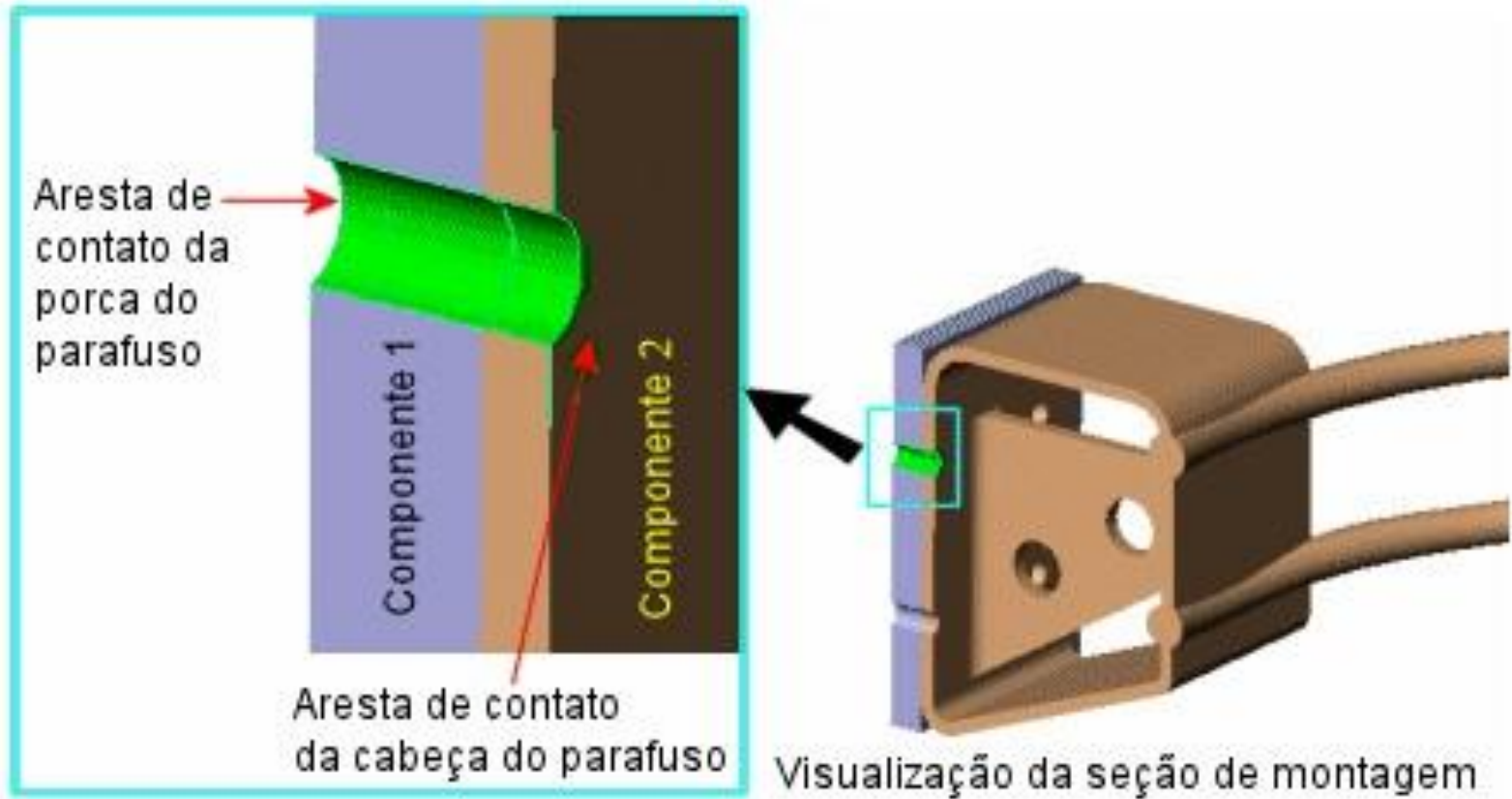


Parâmetro	Valor
Diâmetro da haste do parafuso	0,35 polegada
Diâmetro da cabeça	0,75 polegada
Diâmetro da porca	0,75 polegada
Pré-carregamento	100 lbf
Módulo de Young (EX)	3e7 psi
Coeficiente de Poisson (NUXY)	0,3

# CONTATOS PARAFUSO E PORCA



# CONTATOS PARAFUSO E PORCA

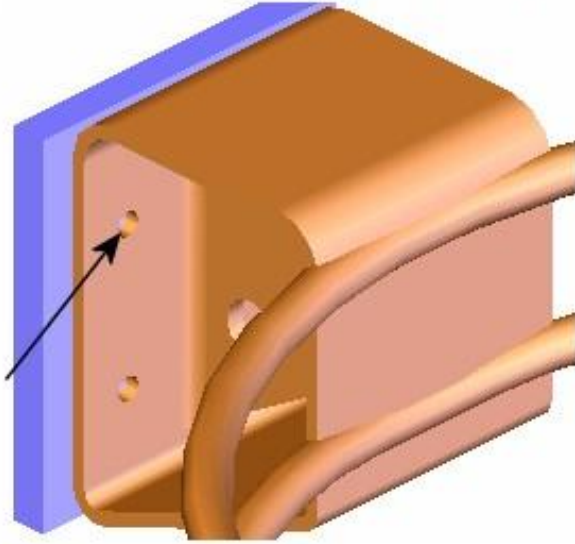


# CONTATOS PARAFUSO E PORCA

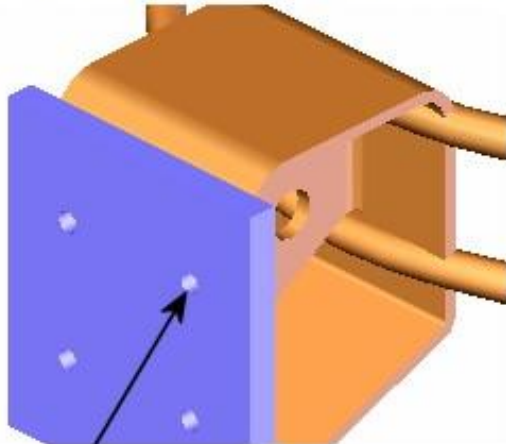
a. Clique em **Padrão ou com rebaixo com porca**



b. Selecione a aresta indicada para **Aresta circular do furo da cabeça de parafuso**

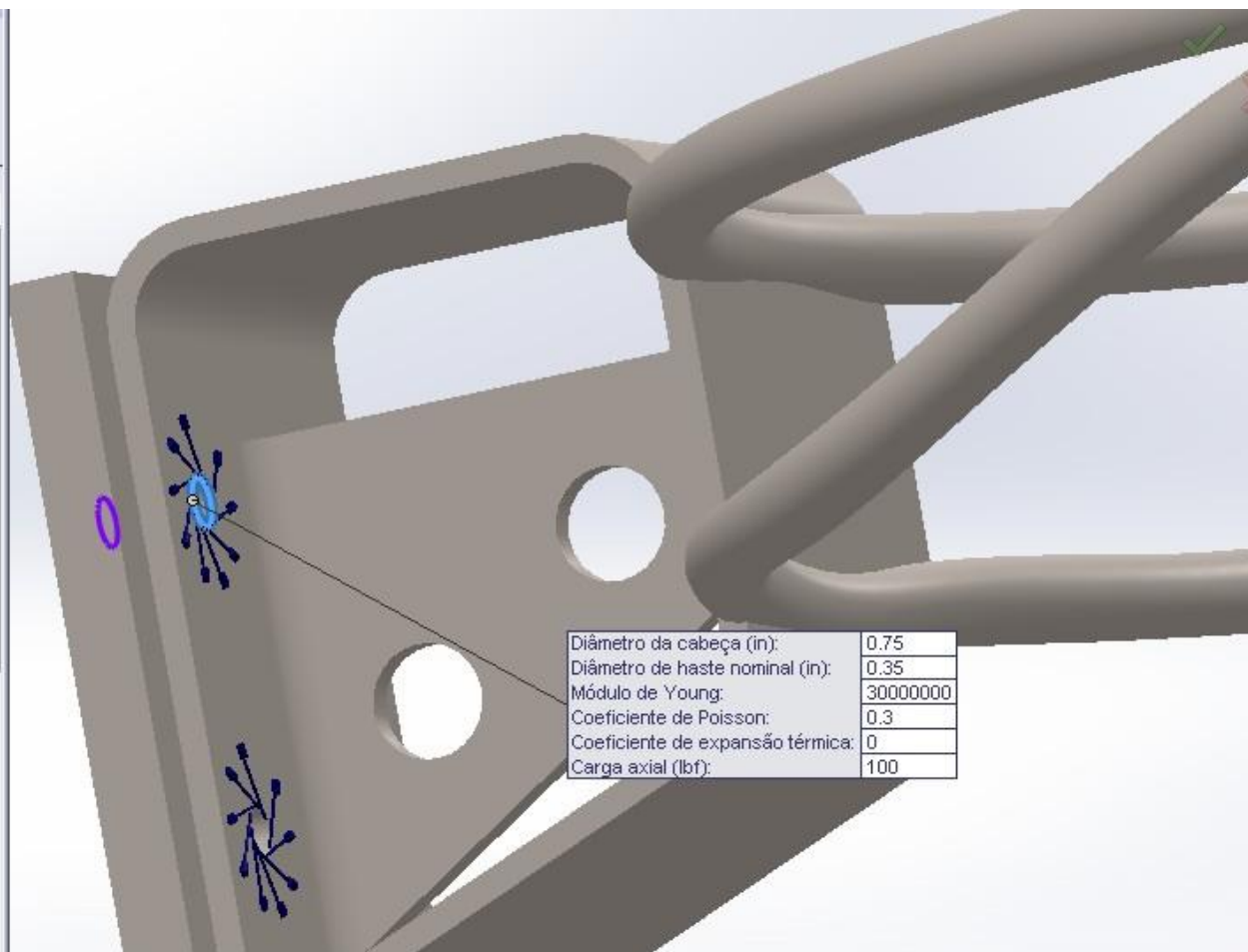
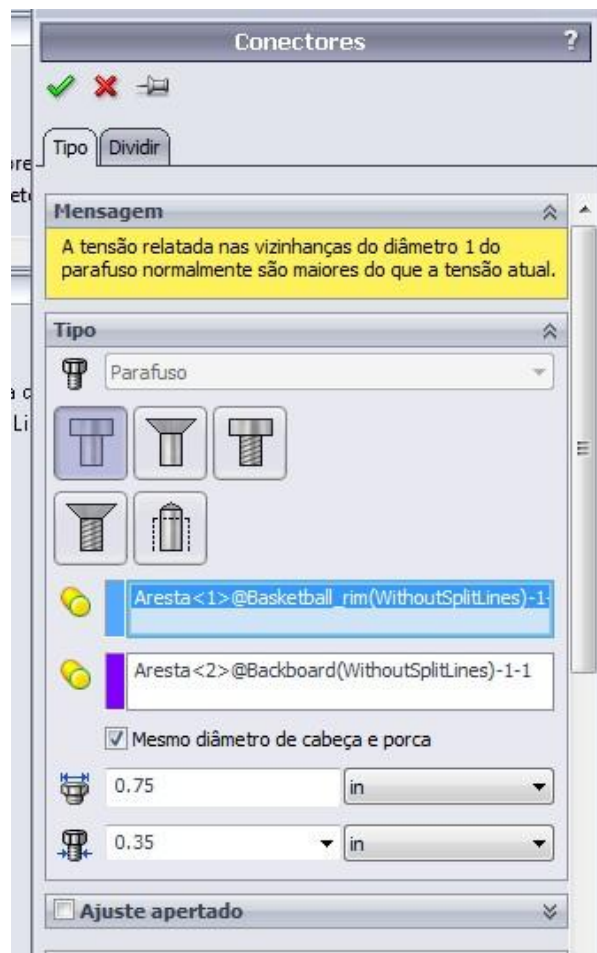


c. Selecione a aresta indicada para **Aresta circular do furo da porca do parafuso**

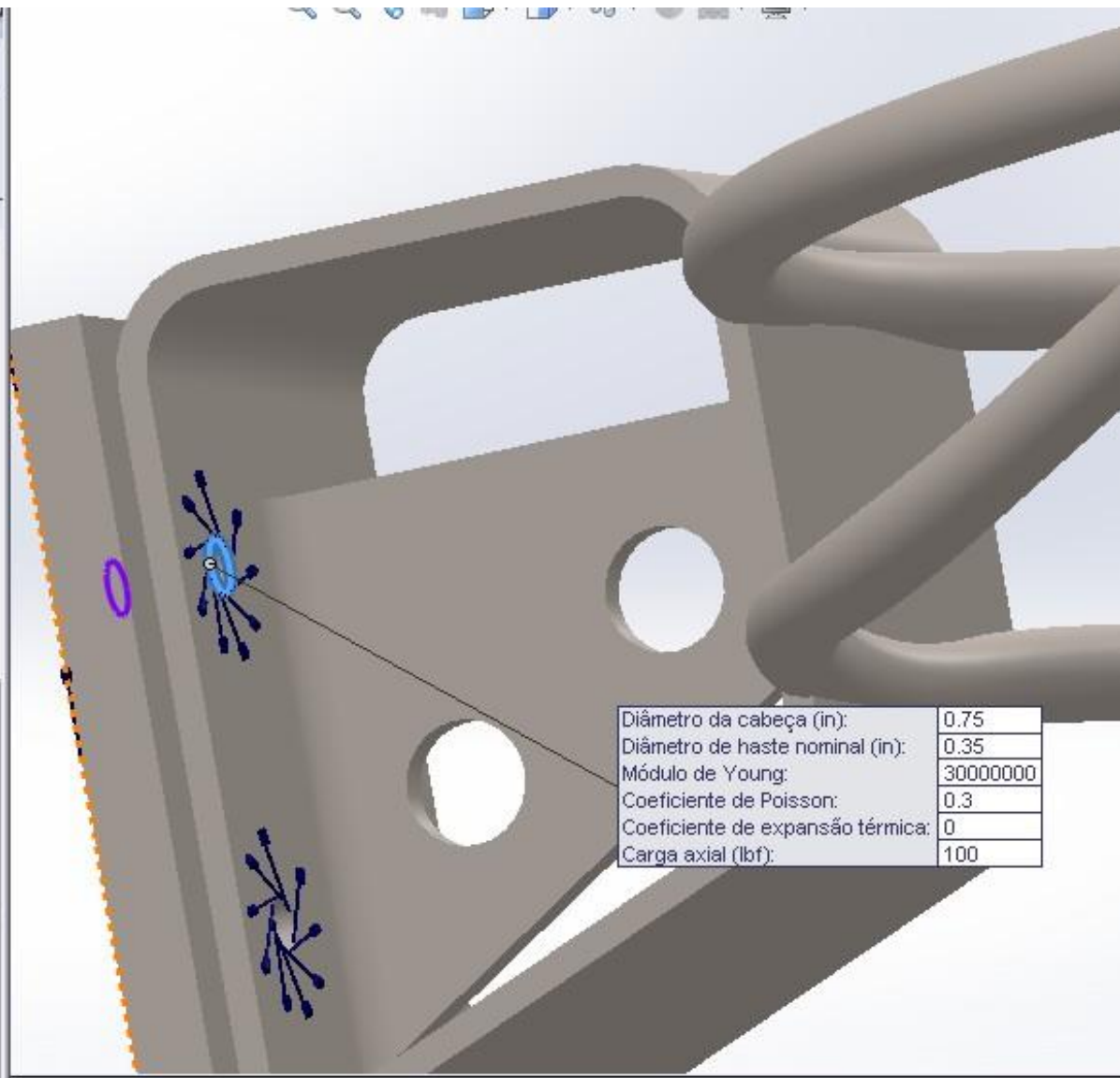
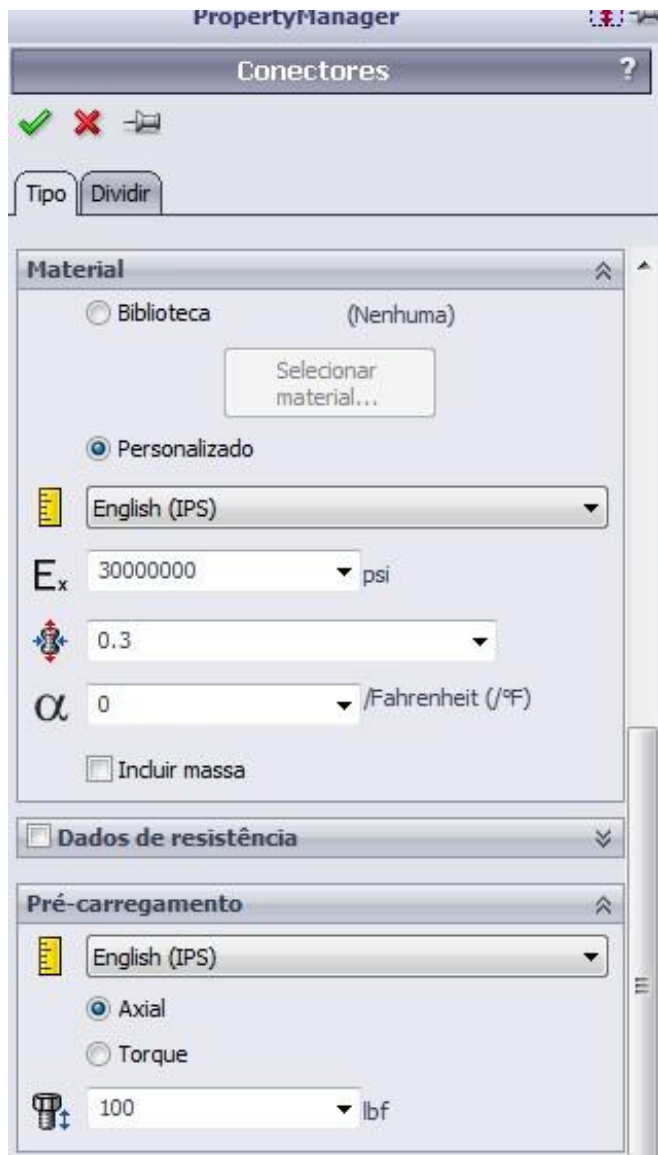




# CONTATOS PARAFUSO E PORCA



# CONTATOS PARAFUSO E PORCA



# SELECIONAR ARESTA CIRCULAR CABEÇA DO PARAFUSO

**Conectores**

Tipo Dividir

**Mensagem**

A tensão relatada nas vizinhanças do diâmetro 1 do parafuso normalmente são maiores do que a tensão atual.

**Tipo**

Parafuso

Aresta<1>@Basketball\_rim(WithoutSplitLines)-1-1

Aresta<2>@Backboard(WithoutSplitLines)-1-1

Mesmo diâmetro de cabeça e porca

0.75 in

0.35 in

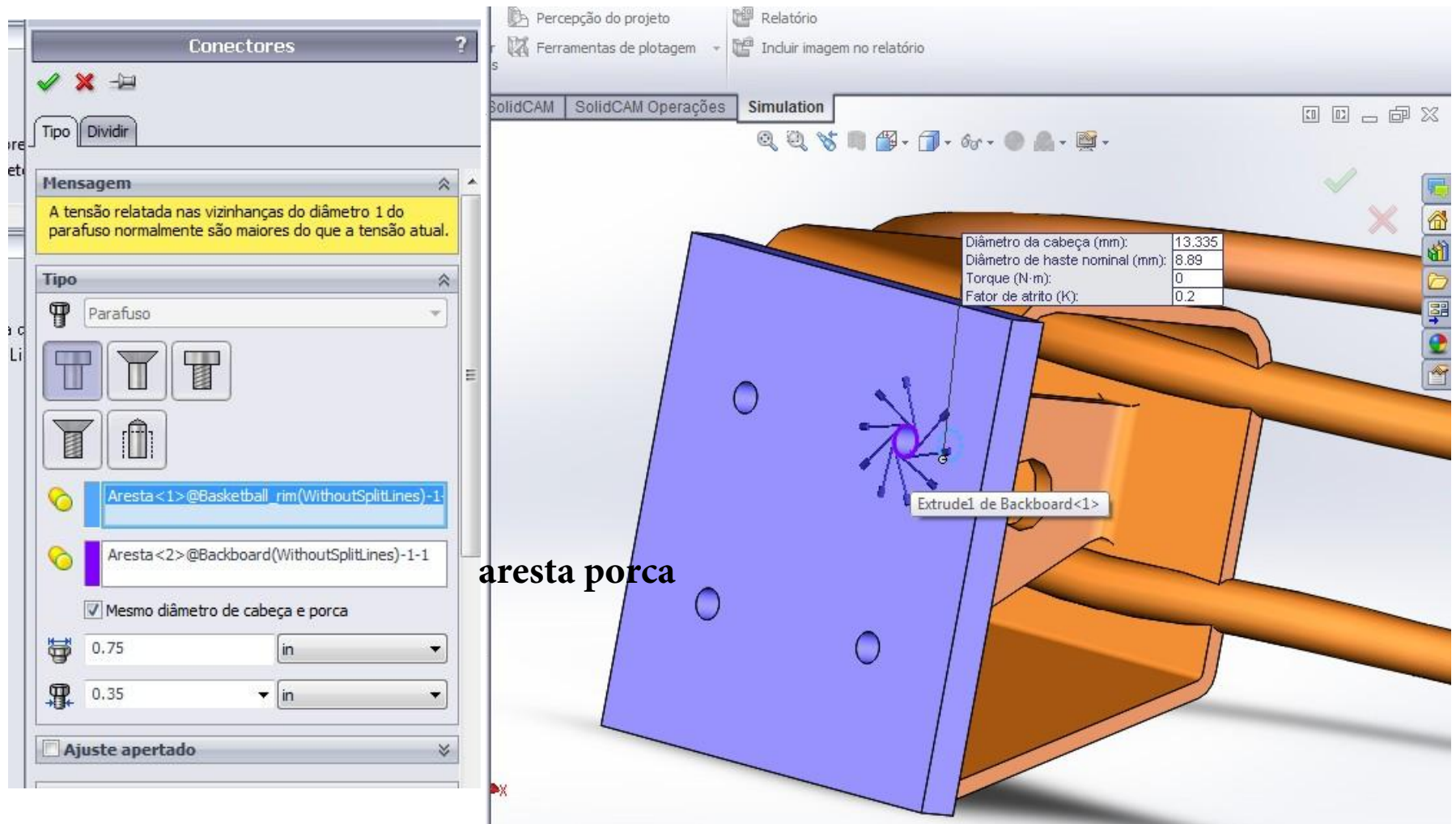
Ajuste apertado

Diâmetro da cabeça (mm):	13.335
Diâmetro de haste nominal (mm):	8.89
Torque (N·m):	0
Fator de atrito (K):	0.2

aresta parafuso

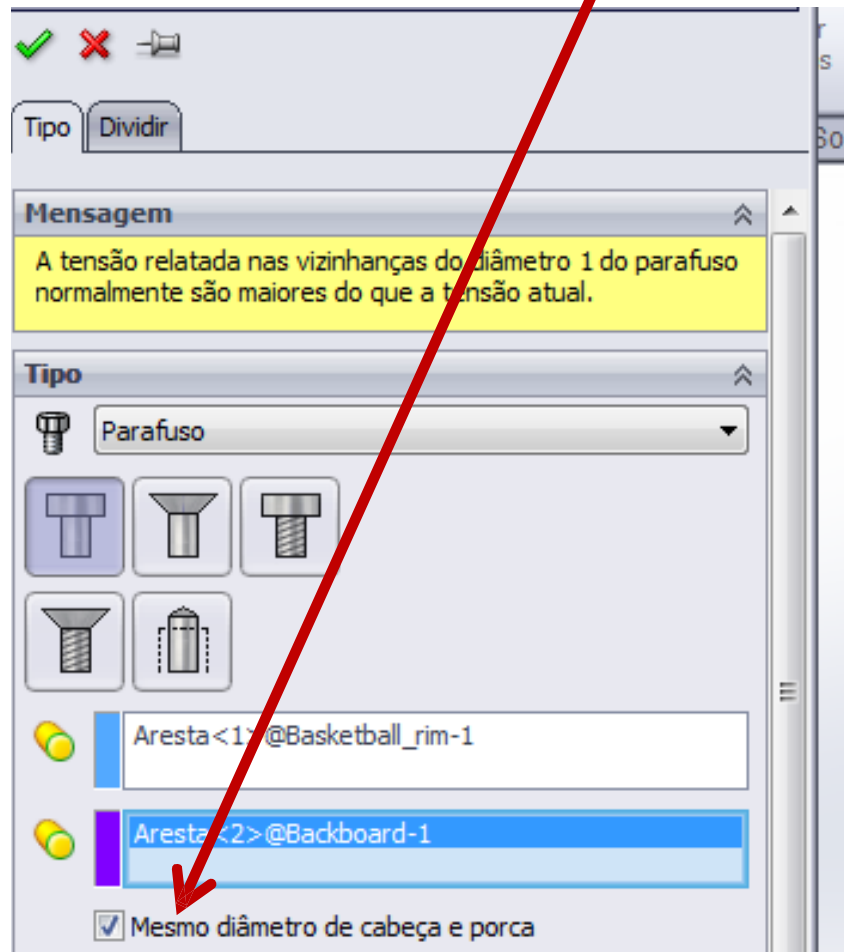
Estudo 3

# SELECIONAR ARESTA CIRCULAR CABEÇA DA PORÇA





# SELECIONE MESMO DIÂMETRO PARAFUSO E PORCA

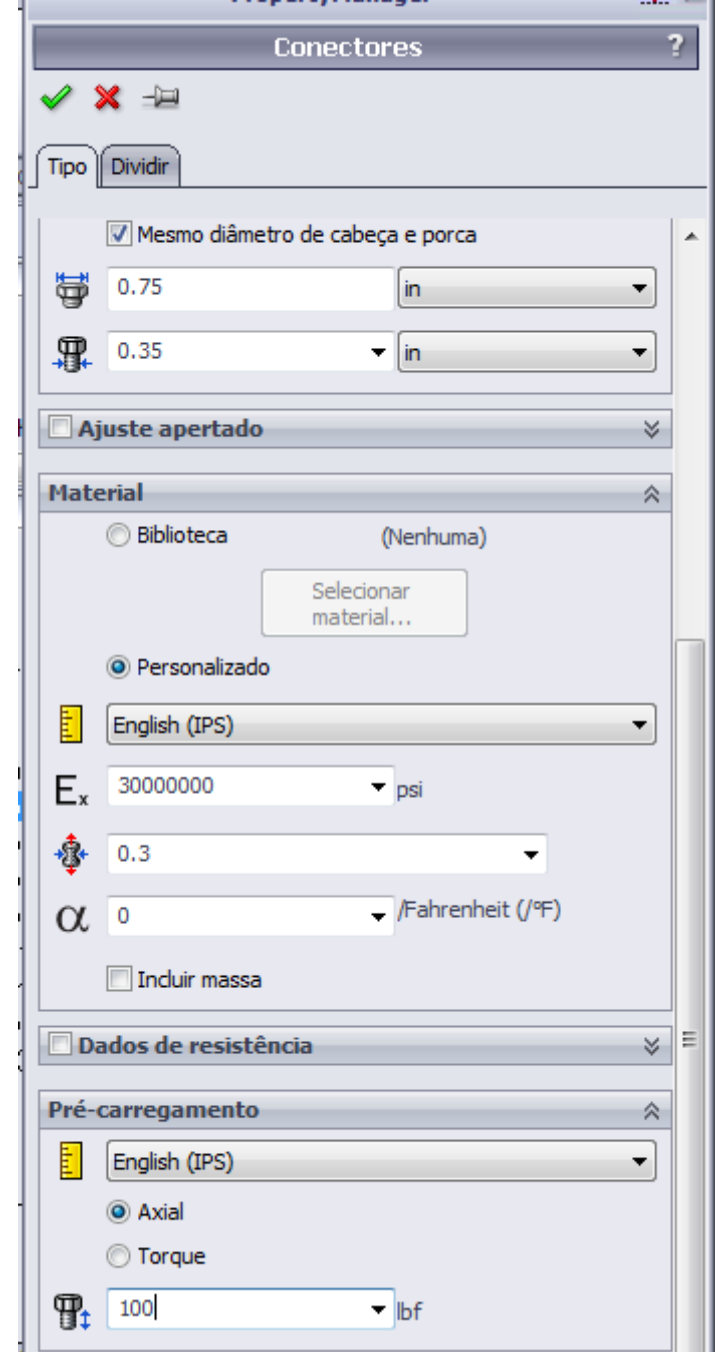


**REPETIR PARA TODOS  
OS 4 CONJUNTOS**

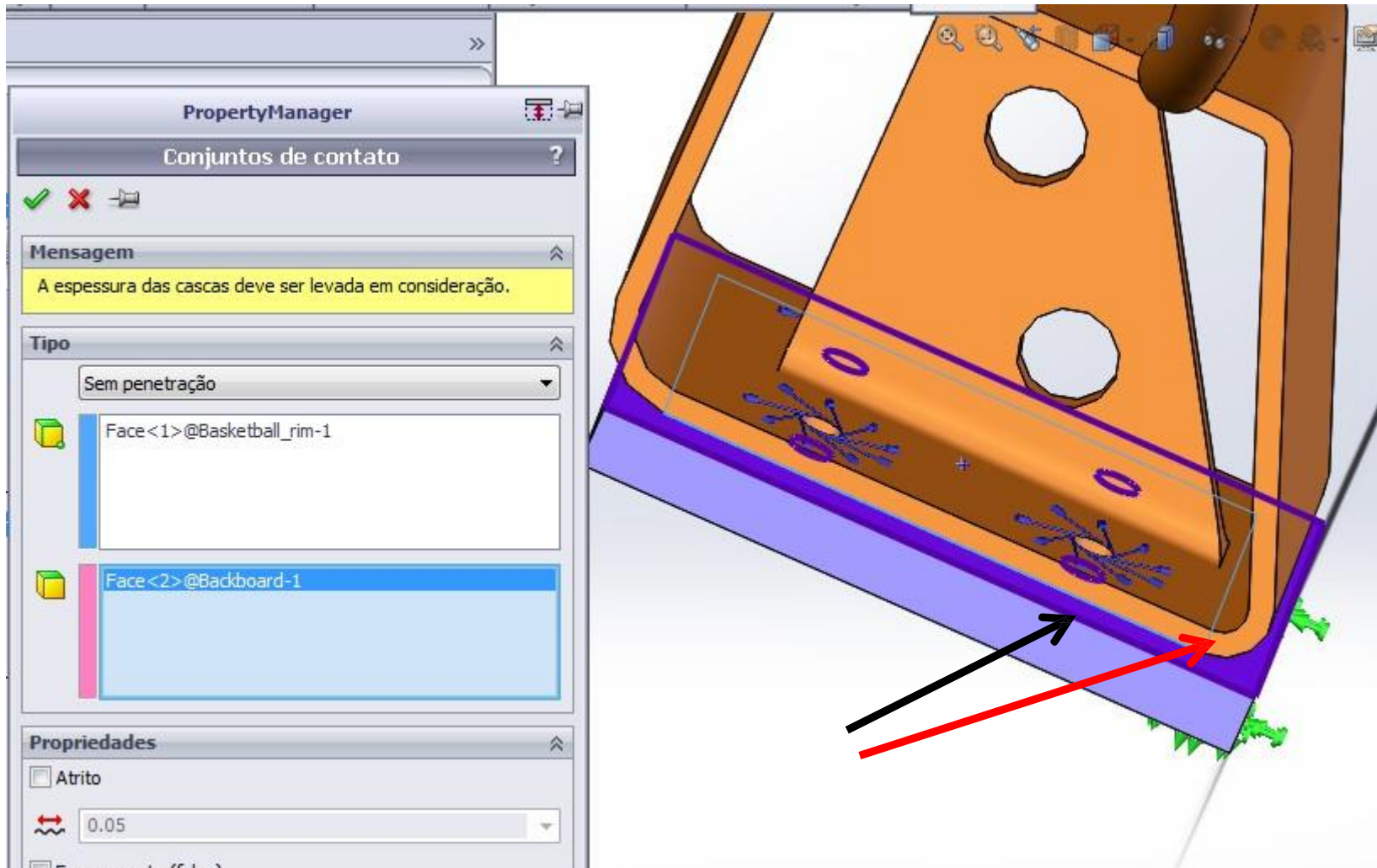


# DEFINIR EM CONECTORES

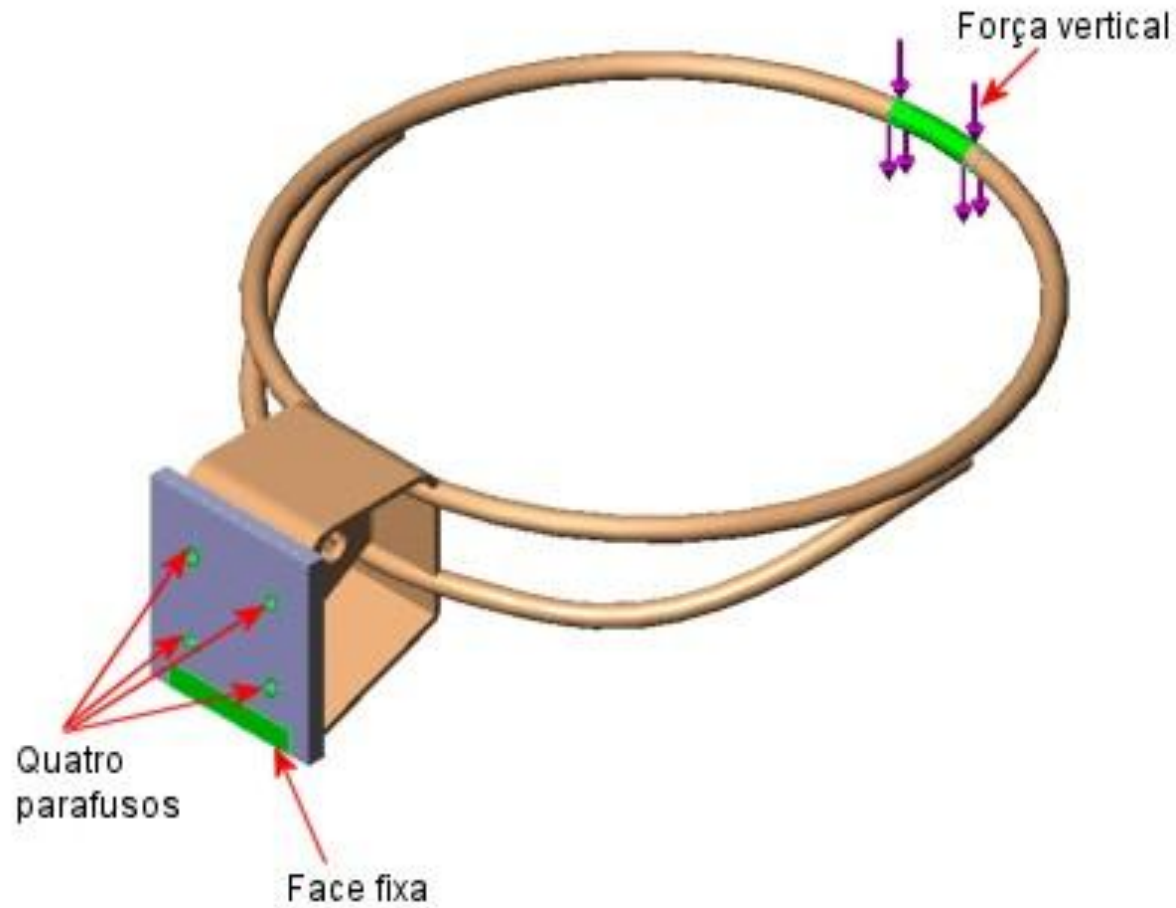
Parâmetro	Valor
Diâmetro da haste do parafuso	0,35 polegada
Diâmetro da cabeça	0,75 polegada
Diâmetro da porca	0,75 polegada
Pré-carregamento	100 lbf
Módulo de Young (EX)	3e7 psi
Coefficiente de Poisson (NUXY)	0,3



# DEFINIR CONJUNTO DE CONTATOS



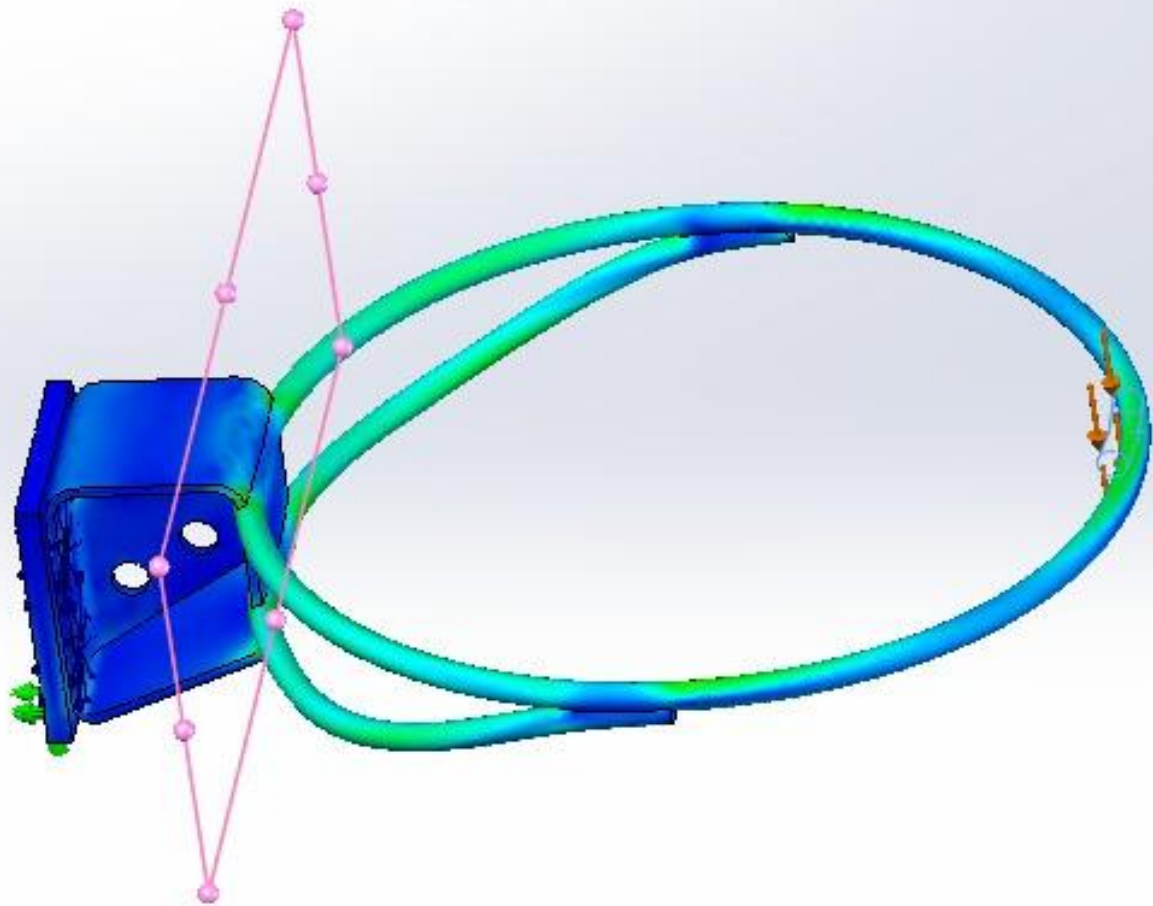
# FIXAÇÃO – GEOMETRIA FIXA



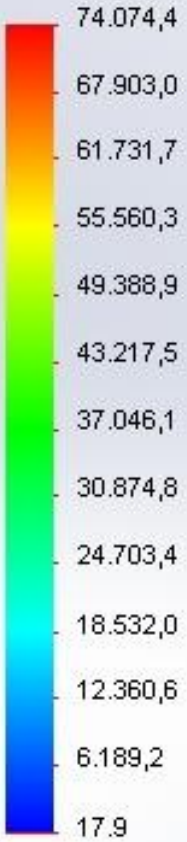


- DEFINIR MALHA COM BASE EM CURVATURA
- EXECUTAR ESTUDO

# PLOTAGEM Von Mises

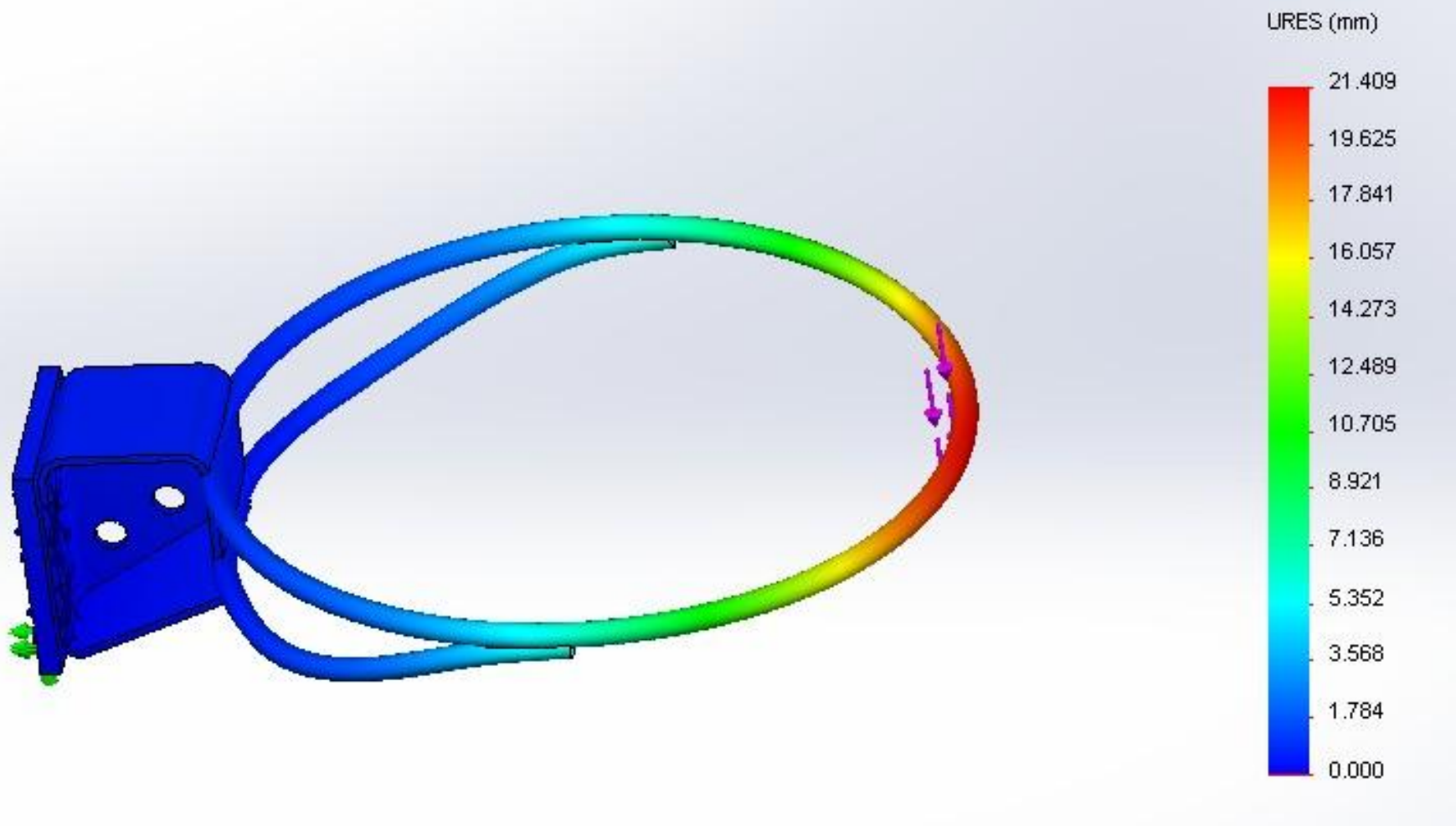


von Mises (psi)



→ Limite de escoamento: 89.984,6

# PLOTAGEM DESLOCAMENTO



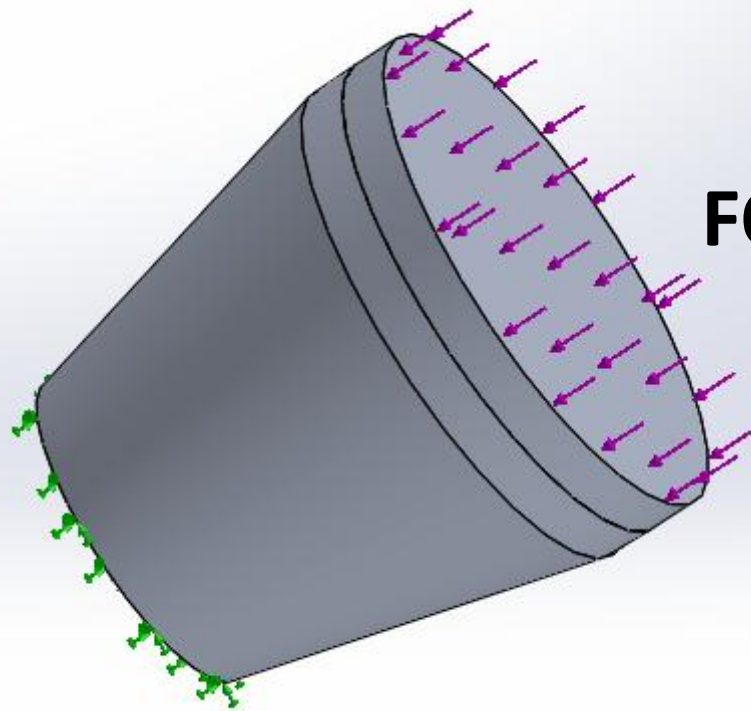
# COPINHO COM TAMPA

## LIÇÃO 10

### ESPECIFICAÇÕES (COPINHO E TAMPA)

- MATERIAL LIGA ALUMÍNIO 1060

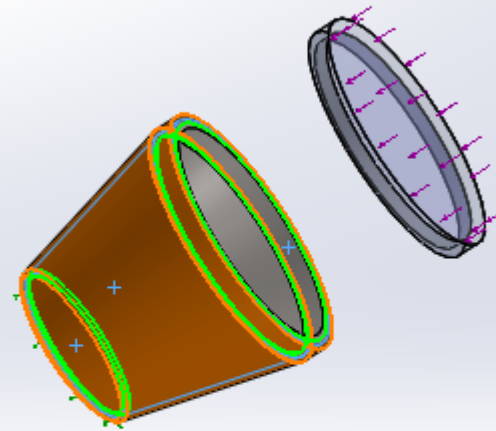
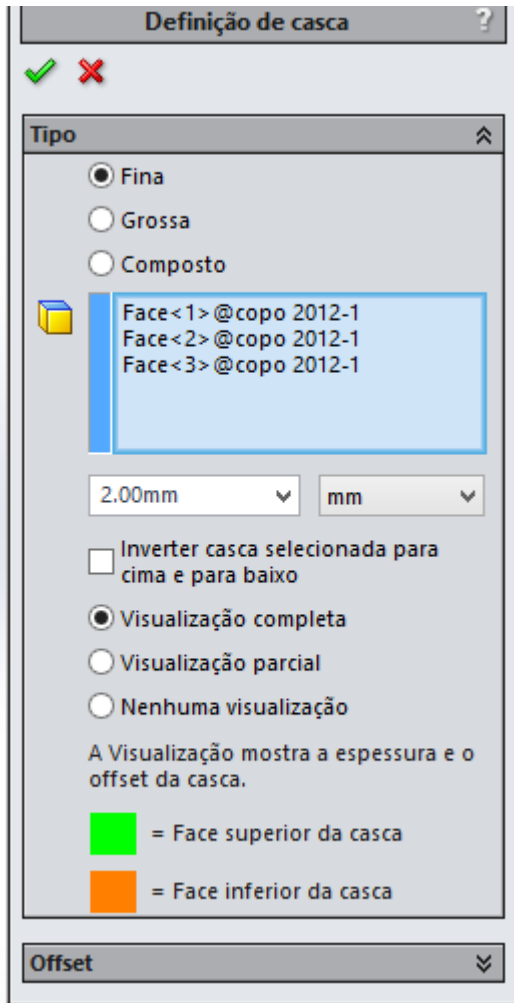
- 



**FORÇA 10 N**

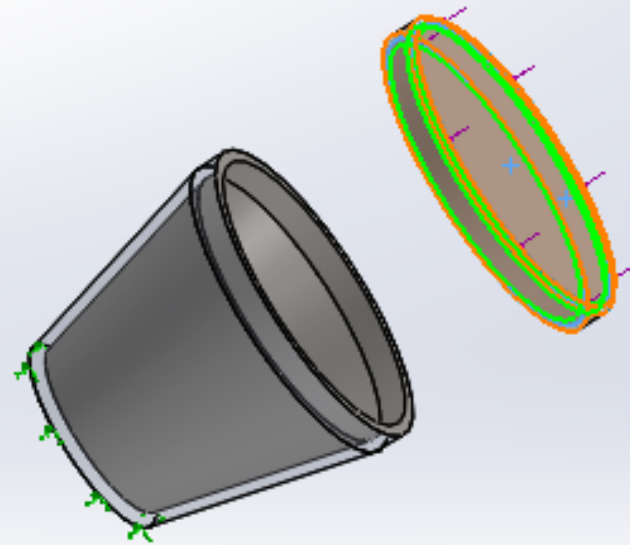
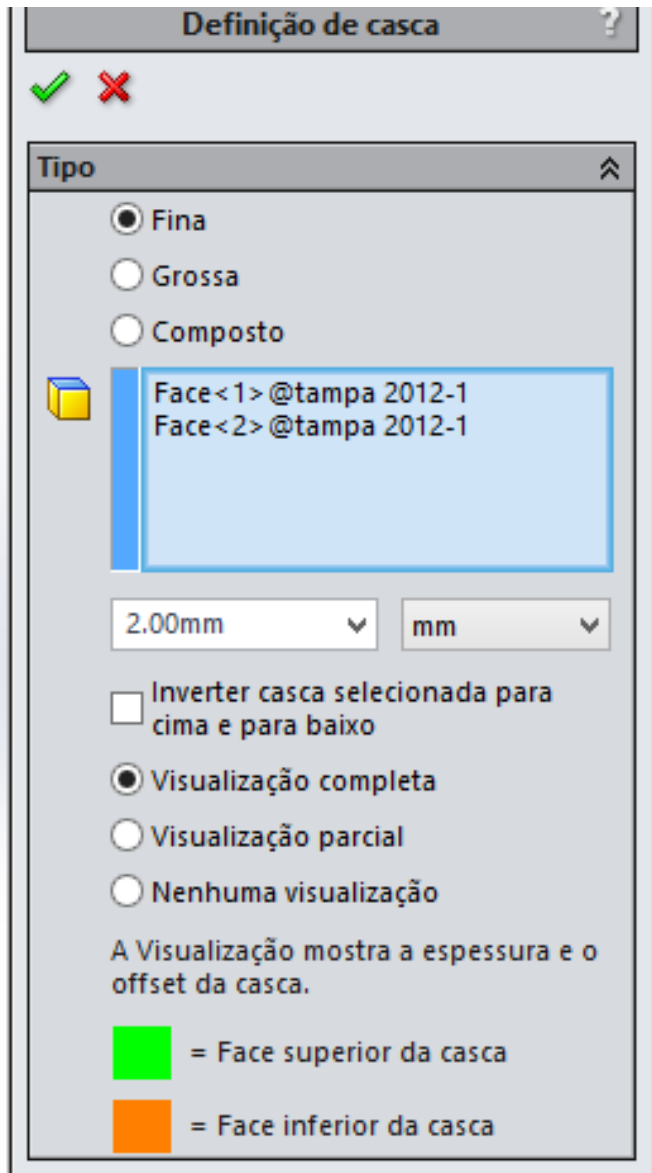
**GEOMETRIA FIXA**

# TRATAR COMO CASCA COPINHO

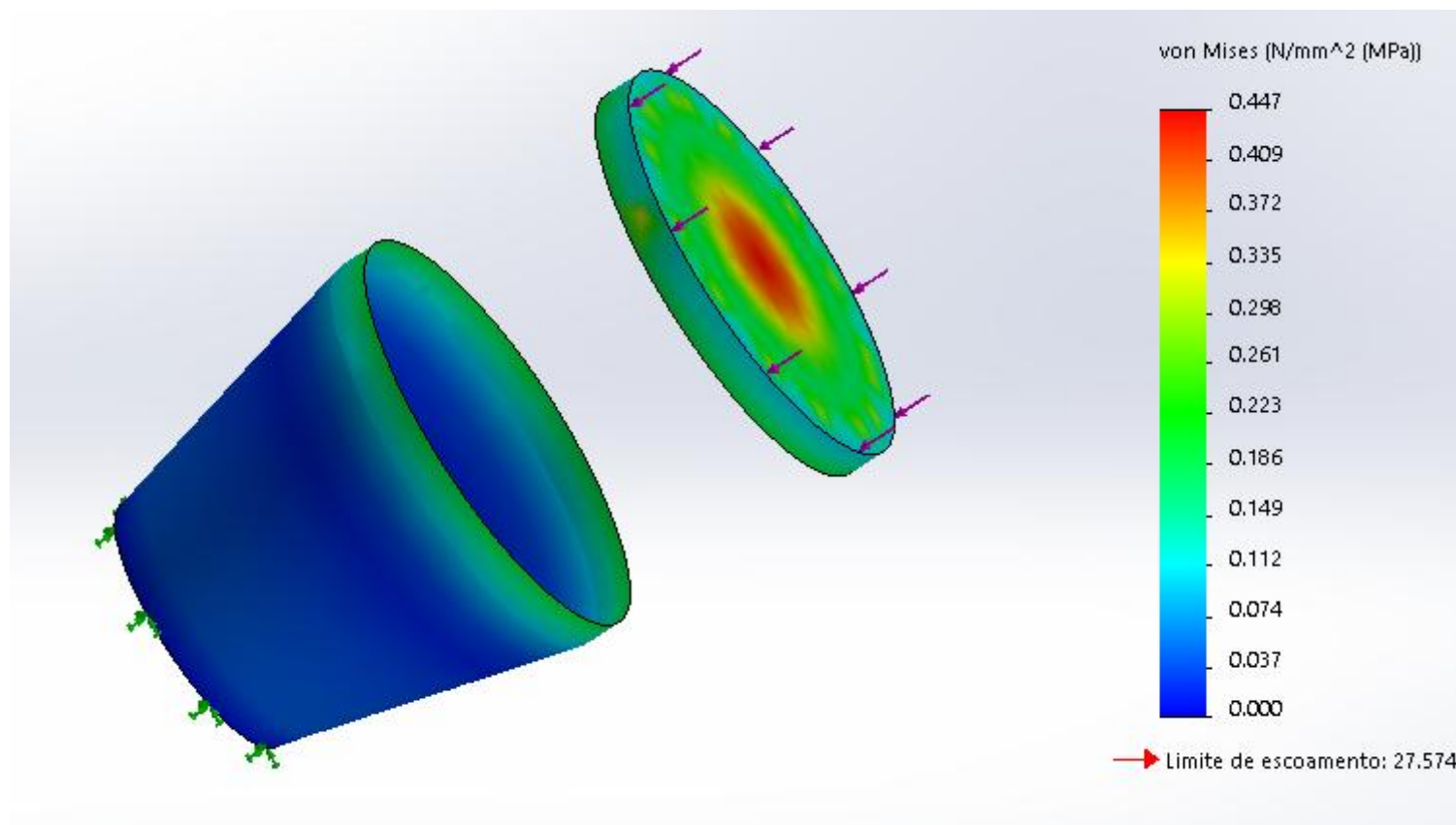


# TRATAR COMO CASCA

## TAMPA

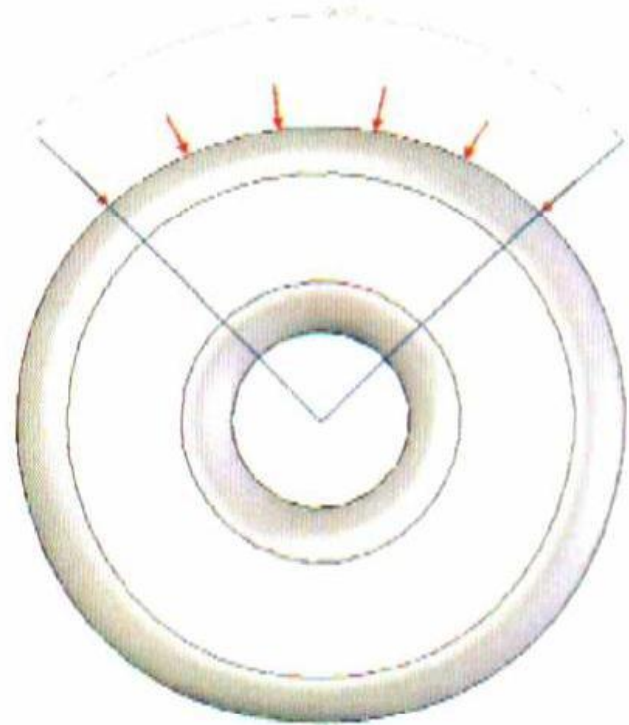


# RESULTADO



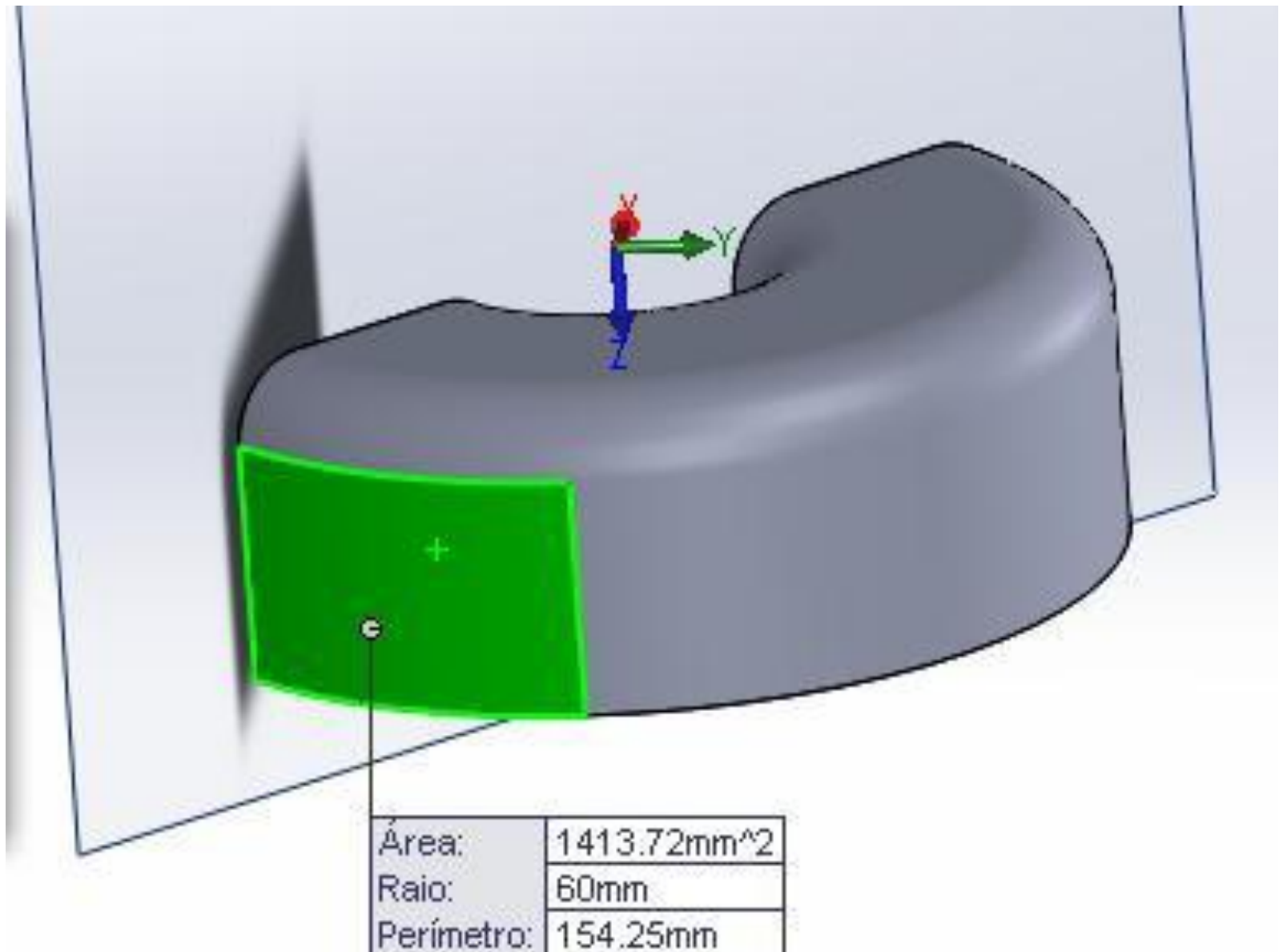
# POLIA

## LIÇÃO 11

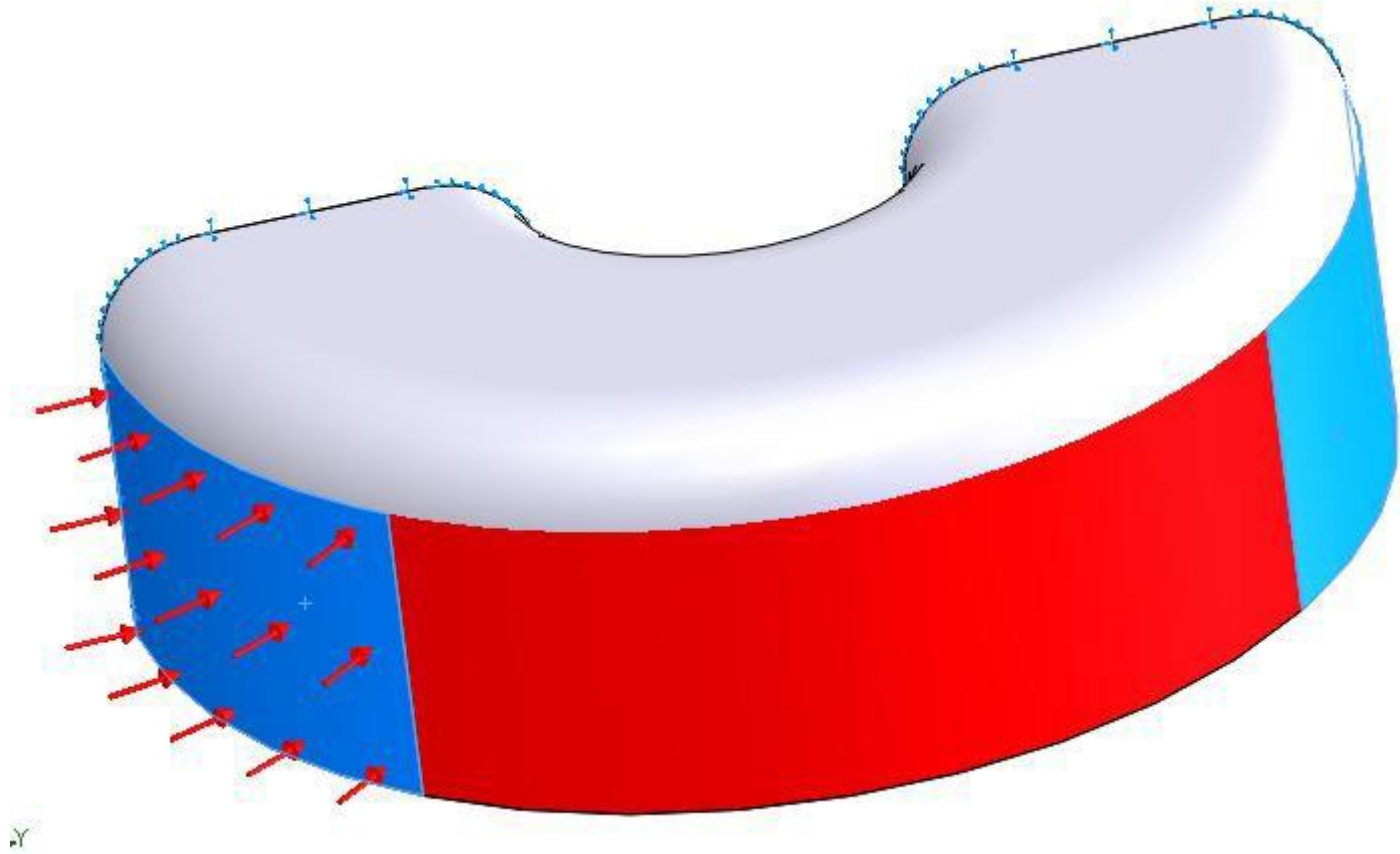




# DIVISÃO DA POLIA

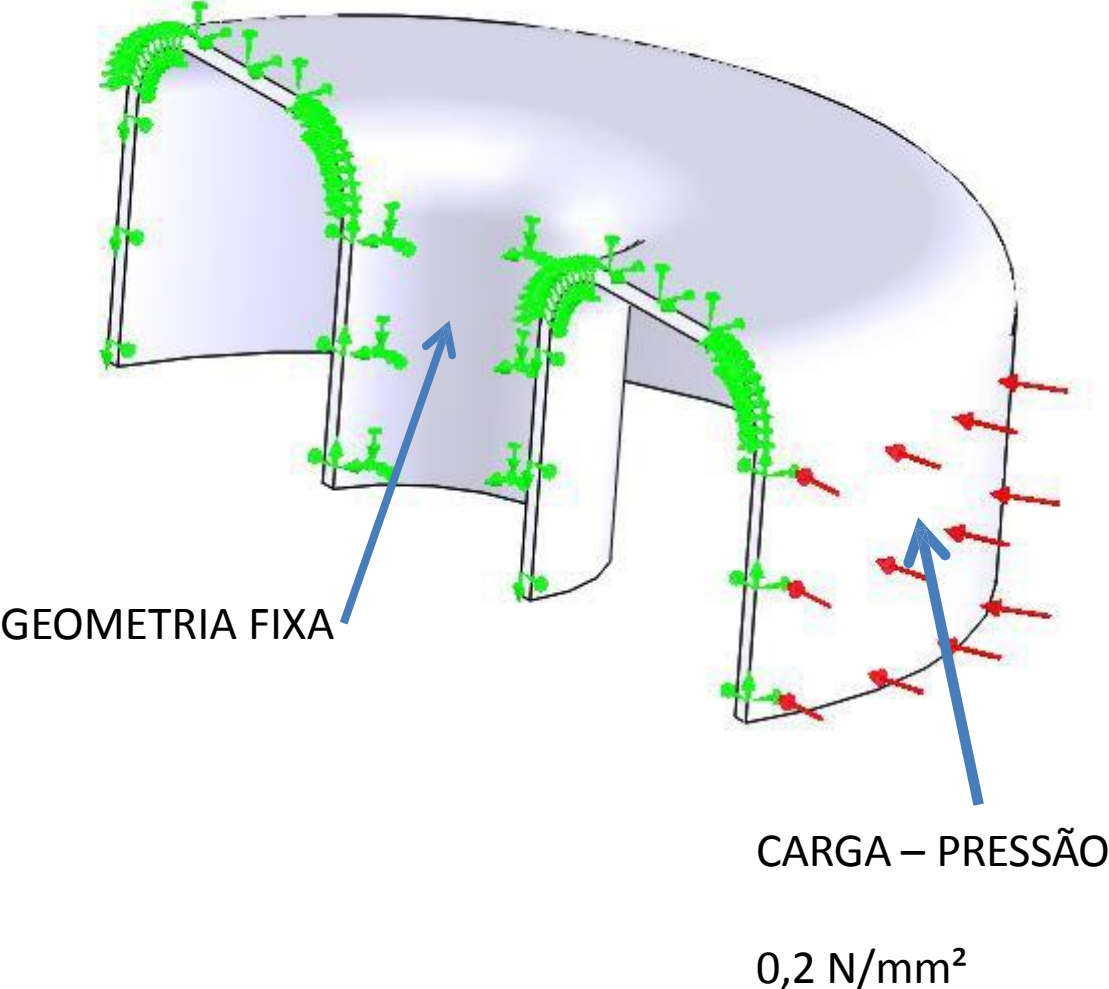


# POLIA

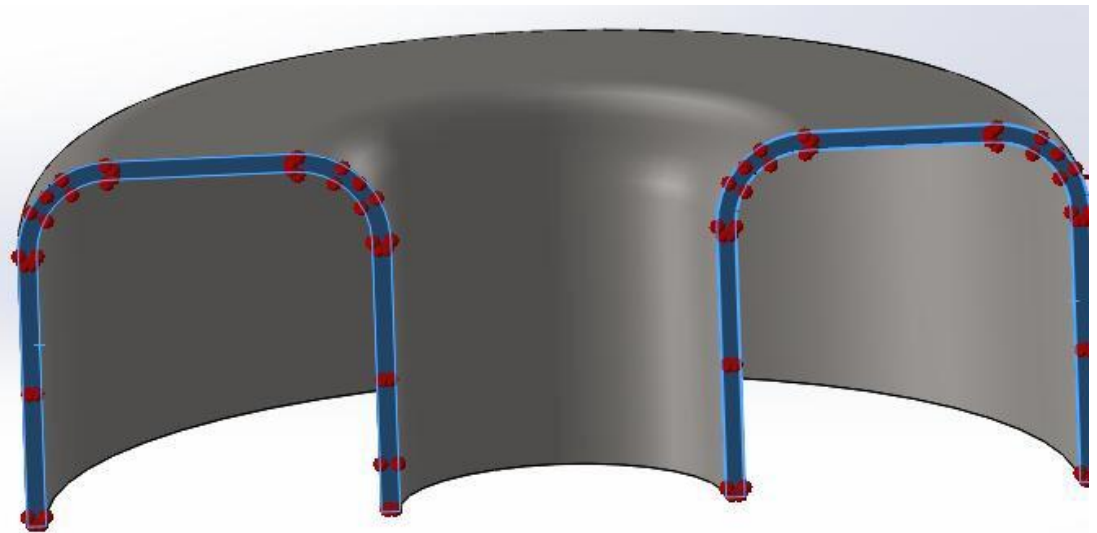
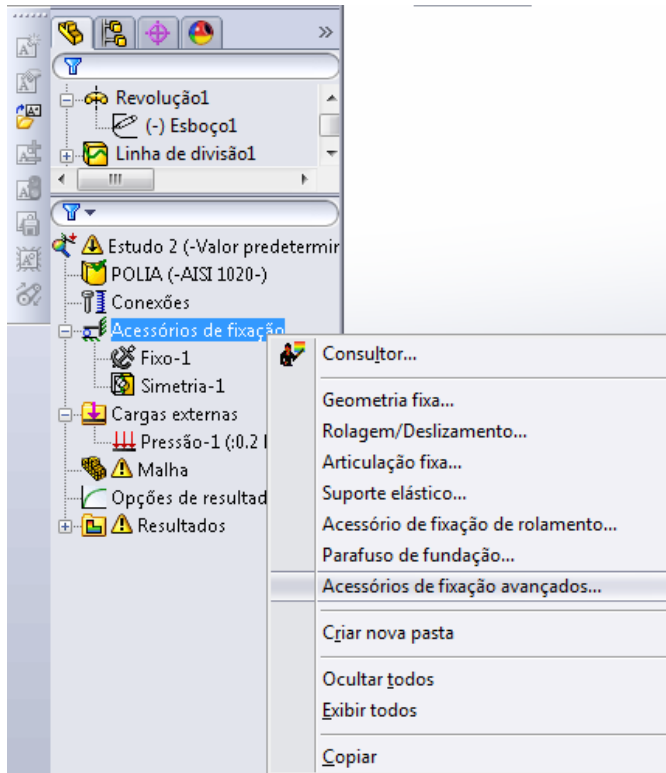


DIVIDIR A POLIA EM 3 SEGMENTOS PARA APLICAÇÃO DA PRESSÃO

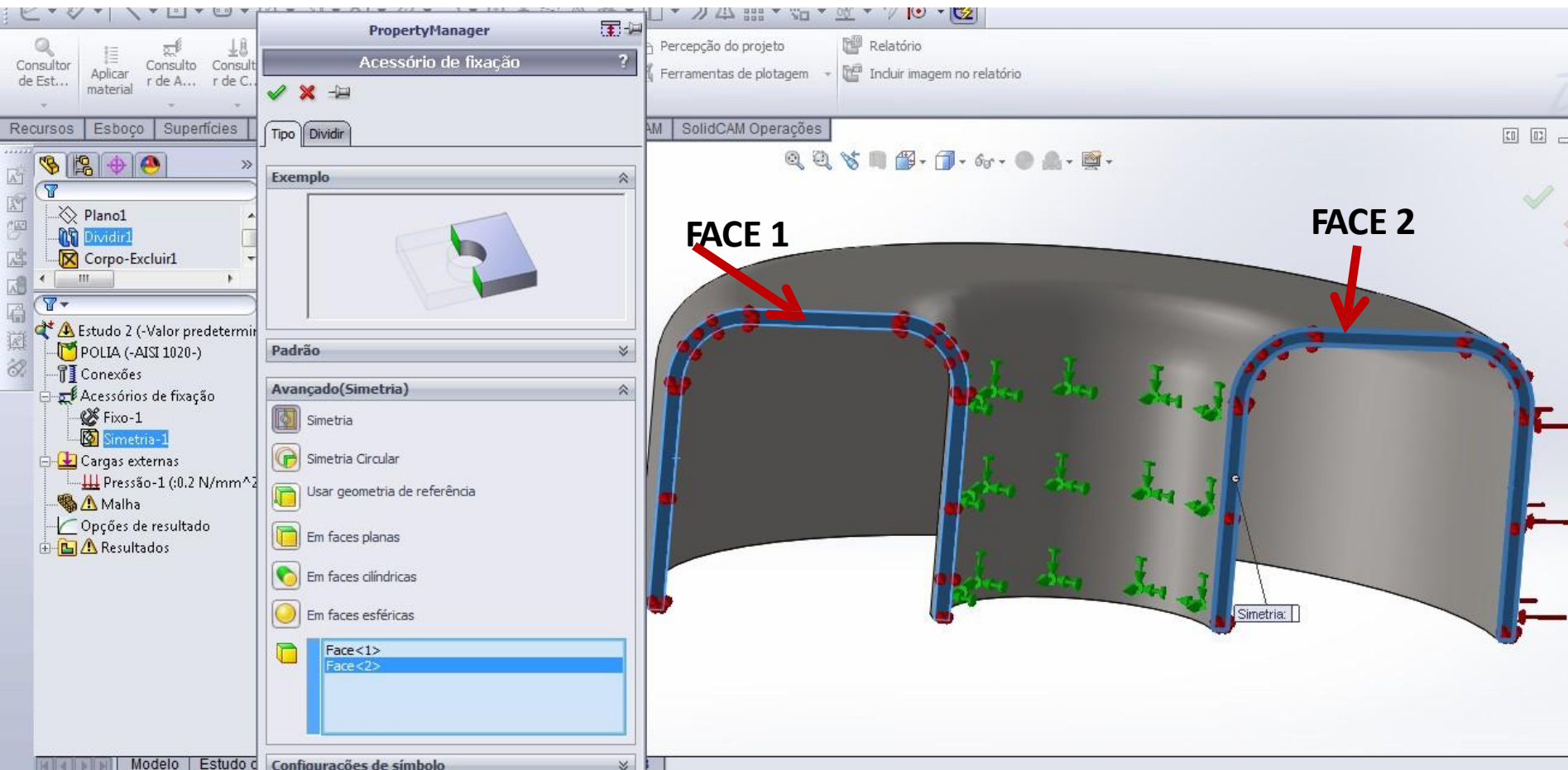
MATERIAL  
AISI 1020



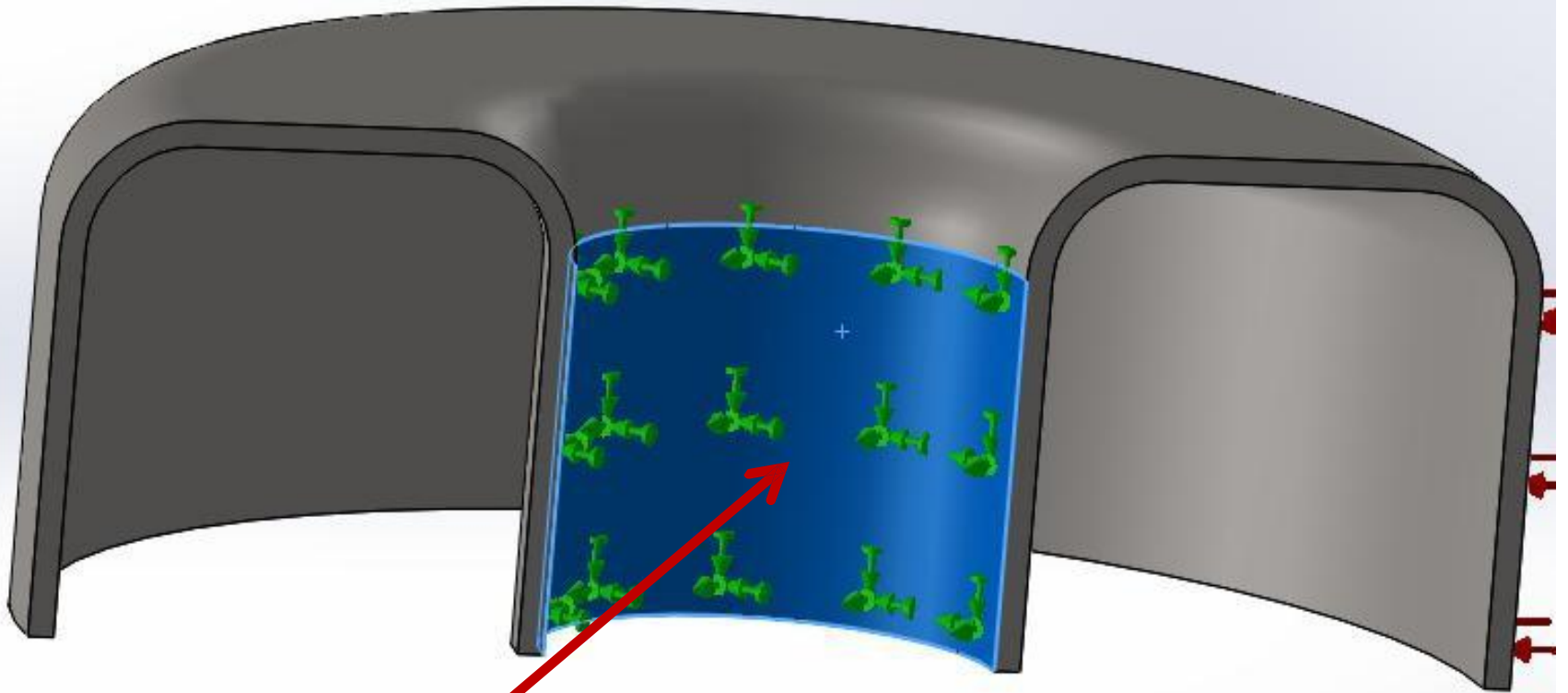
# APLICAR SIMETRIA NO MODELO COMO UM SÓLIDO



# APLICAR SIMETRIA NO MODELO COMO UM SÓLIDO



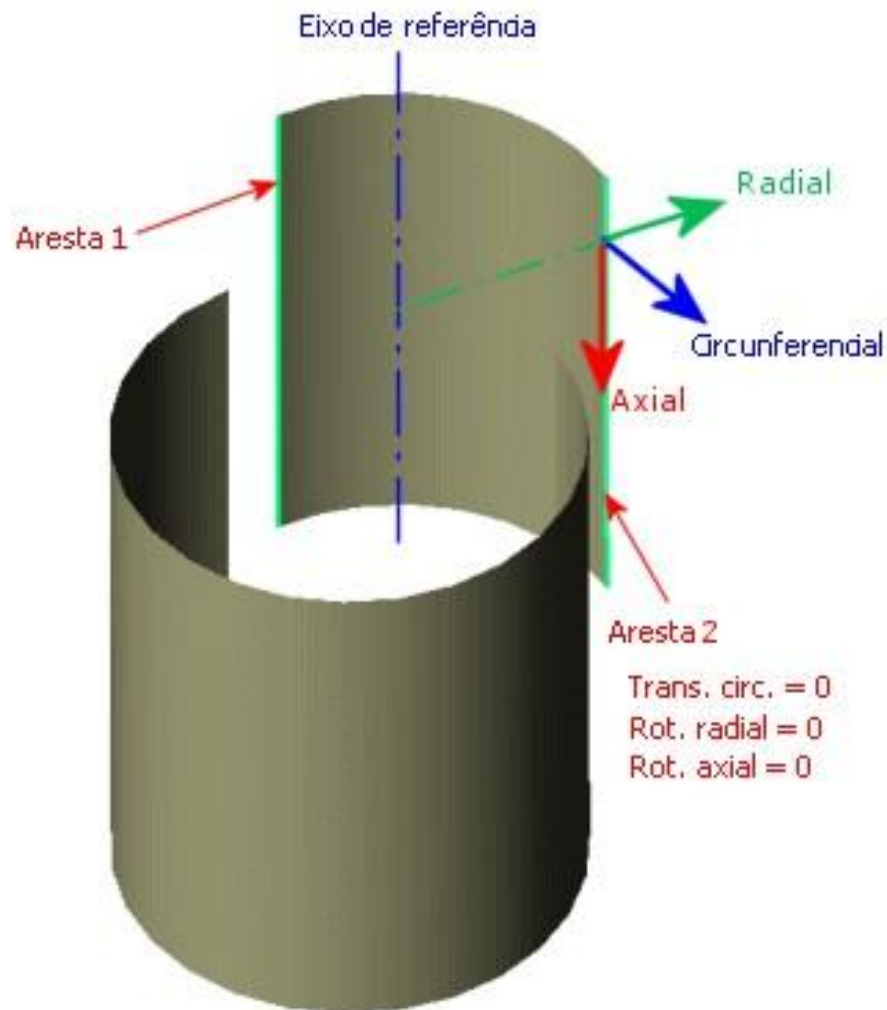
# ACESSÓRIO DE FIXAÇÃO GEOMETRIA FIXA



**GEOMETRIA FIXA**

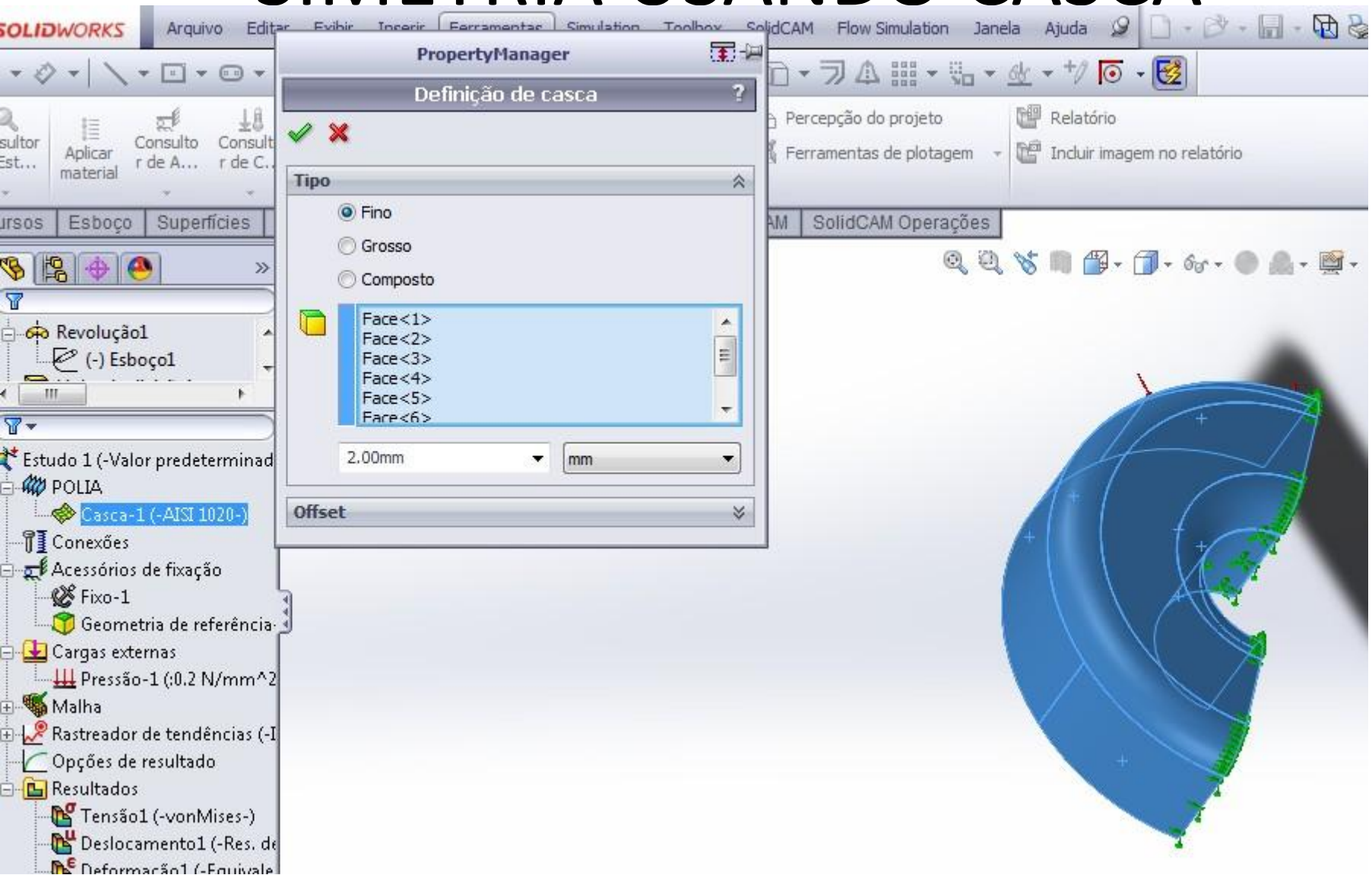
# SIMETRIA USANDO CONCEITO DE CASCA

Simetria axial



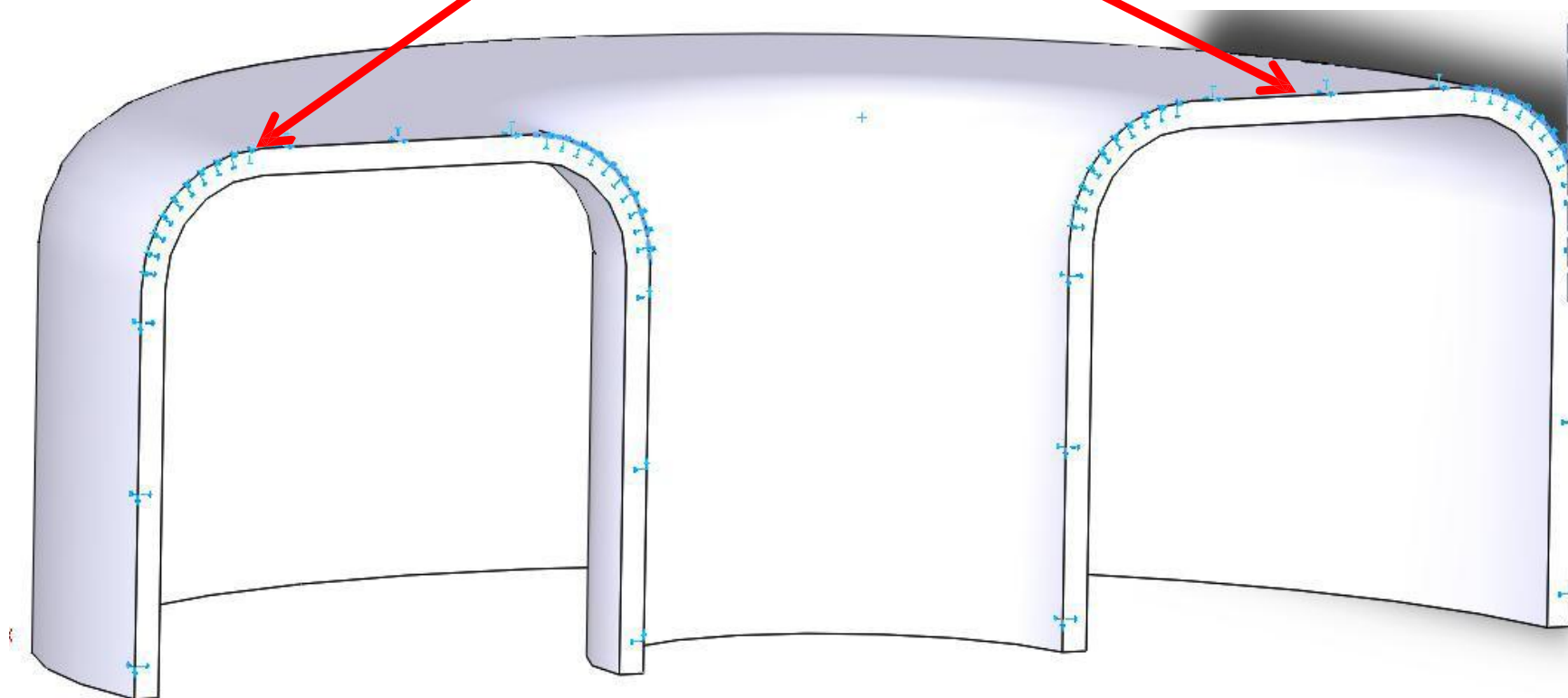


# SIMETRIA USANDO CASCA

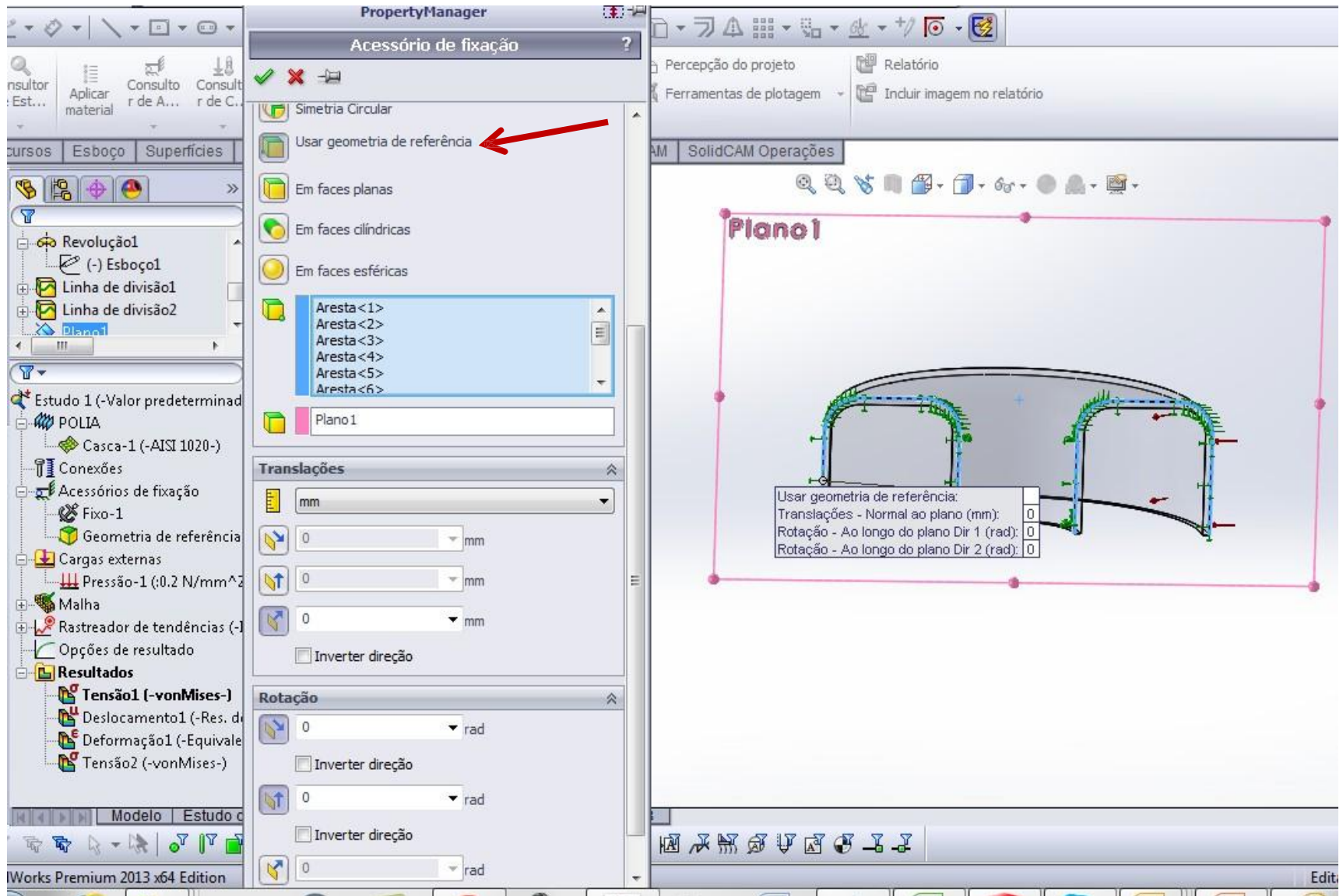




SIMETRIA



# SIMETRIA APLICANDO CASCA



# SIMETRIA USANDO CASCA

## APLICAR MATERIAL AISI 1020

The screenshot shows the SolidWorks Material dialog box. The 'Aço' folder is expanded, and 'AISI 1020' is selected. The 'Propriedades' tab is active, showing material properties. The 'Tipo de modelo' is set to 'Isotrópico linear elástico' and 'Unidades' is 'SI - N/m^2 (Pa)'. The 'Categoria' is 'Aço' and the 'Nome' is 'AISI 1020'. The 'Critério de falha predeterminado' is 'Tensão de Max von Mises'. The 'Sustentabilidade' is 'Definido'. A table of properties is visible at the bottom right.

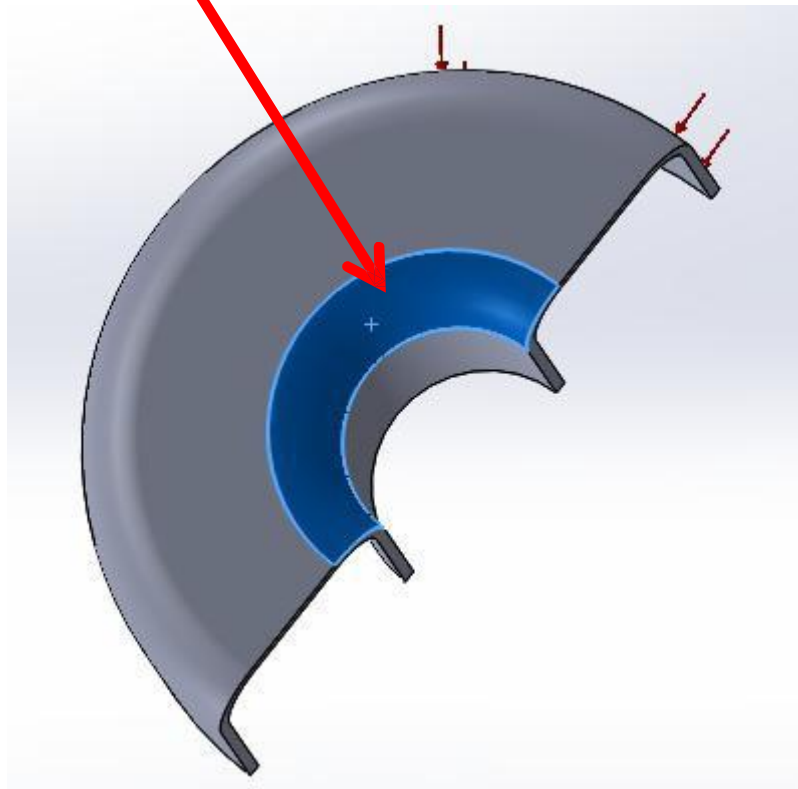
Propriedade	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+011	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29	N/A
Módulo de cisalhamento	7.7e+010	N/m <sup>2</sup>
Densidade	7900	kg/m <sup>3</sup>
Resistência à tração	420507000	N/m <sup>2</sup>
Resistência à compressão em X		N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	351571000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansão térmica	1.5e-005	/K
Condutividade térmica	47	W/(m·K)
Calor específico	420	J/(kg·K)
Coefficiente de amortecimento do material		N/A

# CRIAR MALHA

- MALHA COM BASE EM CURVATURA
- NÚMERO MÍNIMO DE ELEMENTOS EM UM CÍRCULO: 8
- RAZÃO: 1,5
- TAMANHO MÁXIMO DO ELEMENTO E TAMANHO MÍNIMO DO ELEMENTO: 1,1

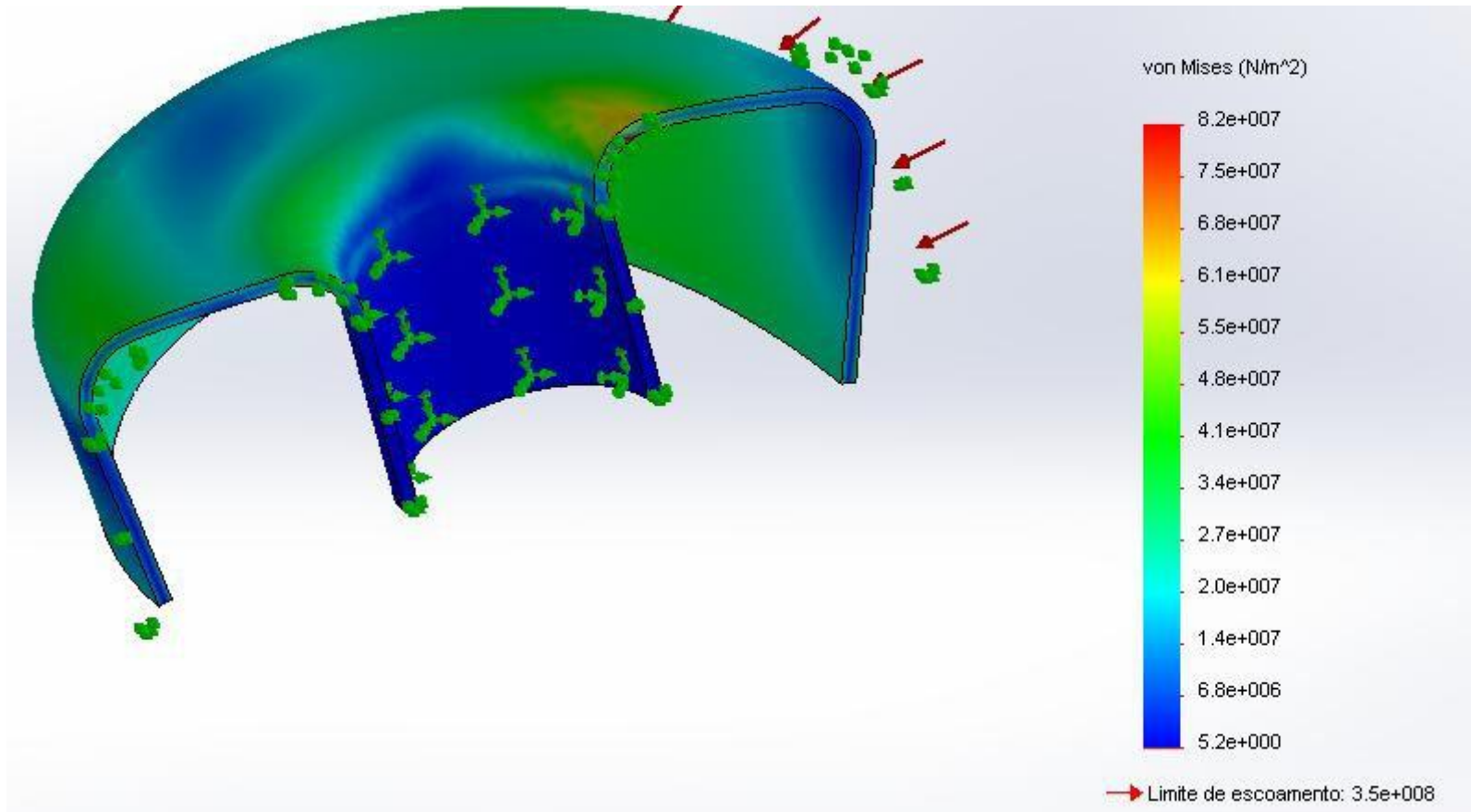
# CRIAR MALHA

- MALHA COM BASE EM CURVATURA, QUALIDADE ALTA.
- APLICAR CONTROLE DE MALHA, TAMANHO DO ELEMENTO 1,5 E RAZÃO 1,5.



# EXECUTAR ESTUDO

- PLOTAGEM DE VON MISES



# MALHAS ADAPTATIVAS

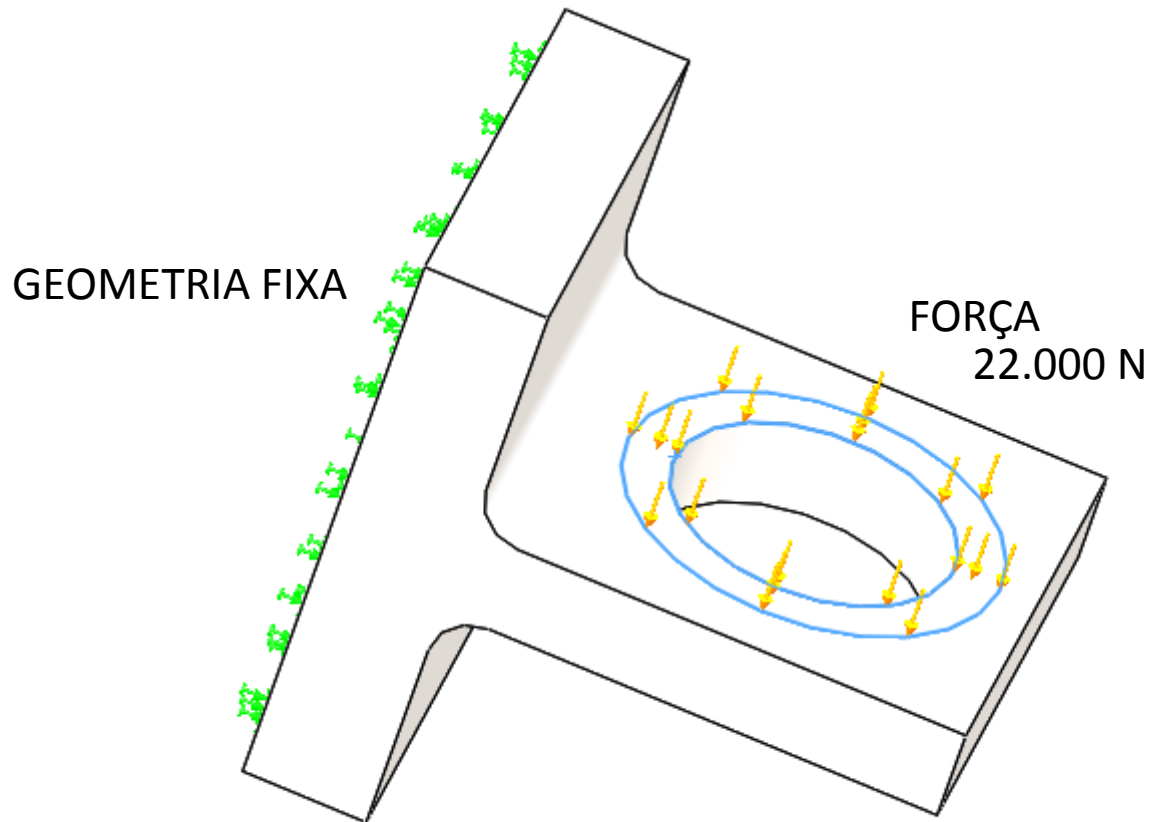
## h ADAPTATIVO

- Loops – número máximo de etapas de refinamento das malhas – usar 5 loops
- Precisão do alvo – precisão da energia de esforço do modelo. Ajustar para 98 %, o que significa que os loops param se a diferença de energia de deformação entre 2 loops consecutivos for abaixo de 2%.
- O loop será finalizado quando a precisão alvo for atingida ou número máximo de loops for atingido.



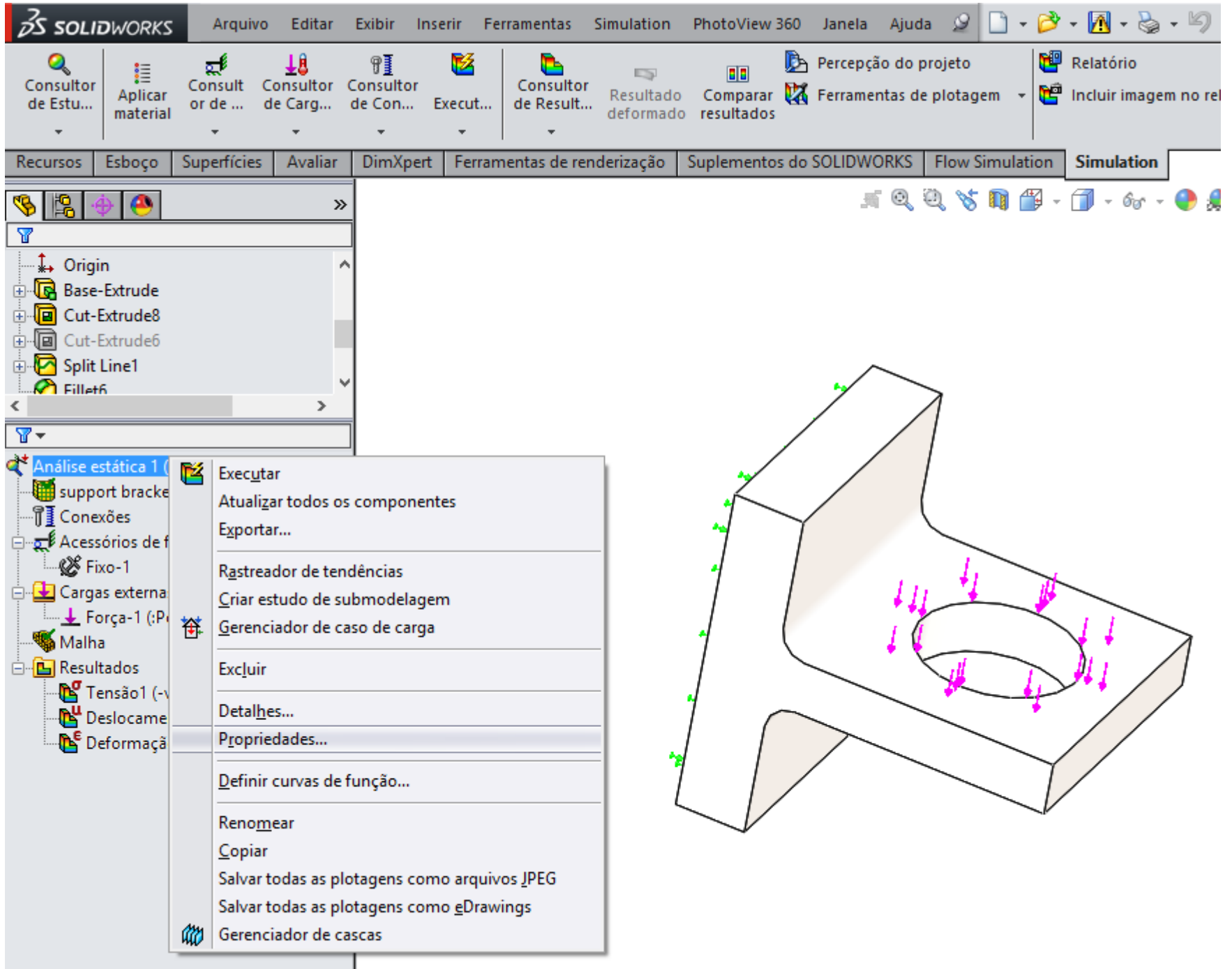
# MALHAS ADAPTATIVAS

## LIÇÃO 12





# h ADAPTATIVO



# h ADAPTATIVO

análise estática

Opções Adaptativo Efeitos de fluxo/térmicos Observação

Método adaptativo

Nenhum

h-adaptativo

p-adaptativo

Opções h-adaptativo

Precisão-alvo: Baixa Alta 98 %

Local (mais rápido) Global (mais lento)

Desvio da precisão:

Nº máximo de loops 5

Engrossar a malha

Opções p-adaptativo

Parar quando a alteração da Energia de deformação  $\epsilon$  for 1 % ou menor

Atualizar elementos com erro de Energia de deformação relativa de 2 % ou maior

P-ordem inicial 2

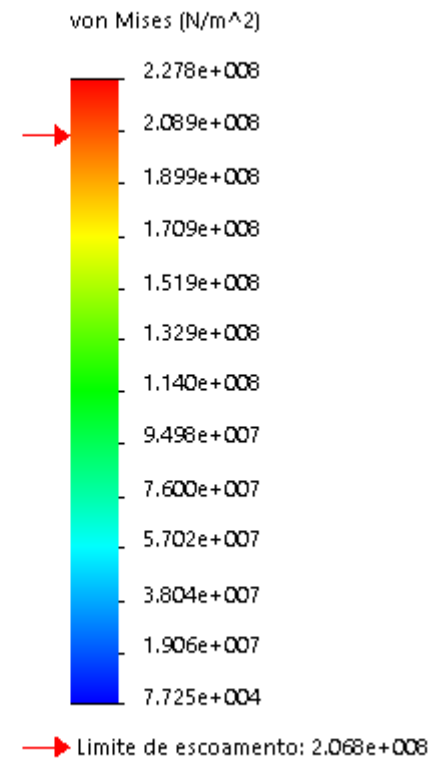
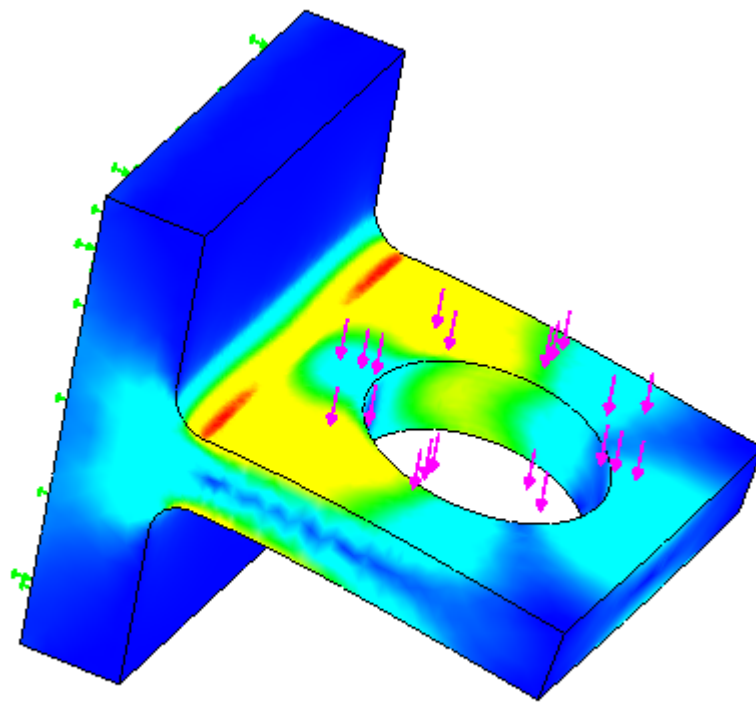
P-ordem máxima 5

Nº máximo de loops 4

OK Cancelar Aplicar Ajuda

Modelo Estudo de movimento 1 Estudo 1

# RESULTADO "h" adaptativo



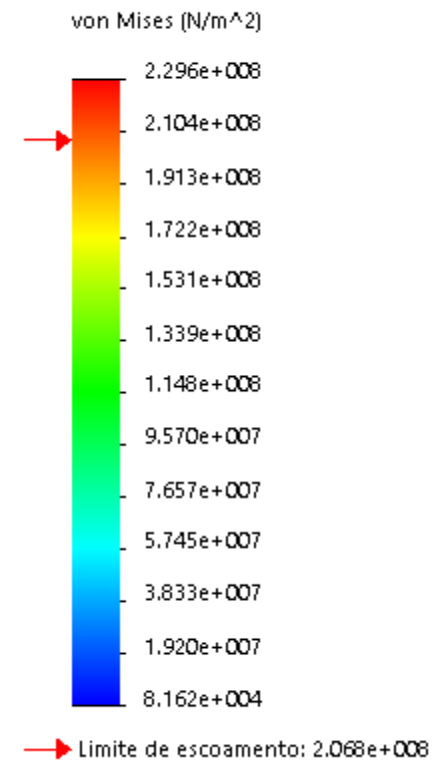
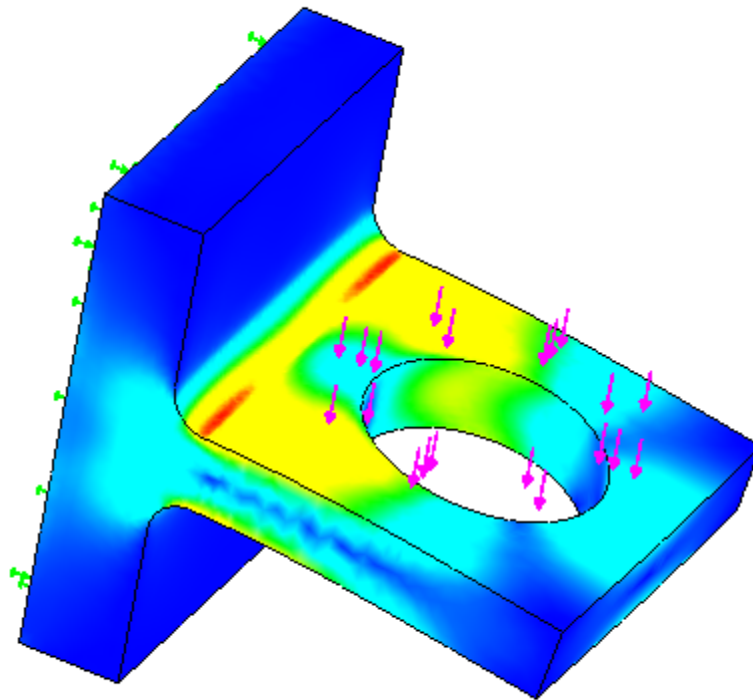
# p ADAPTATIVO

- Utilizada um modelo de polinômio de até quinta ordem, para modelar um campo de deslocamento dentro do elemento ao longo de faces e arestas
- Definir: ordem inicial: 2  
ordem final: 5
- Energia de deformação for menor que 0,05%

# P Adaptativo

- Loops continuam até que a energia de deformação entre duas avaliações consecutivas seja menor que 0,05%.
- Se a exigência não for satisfeita os loops param quando os elementos alcançarem a quinta ordem.

# P Adaptativo



# Modelagem e simulação da sustentabilidade

O módulo *Sustainability* do SolidWorks® avalia as etapas do ciclo de vida do produto



# Sustainability

---



•**Energia total consumida:** é um indicador que mensura o consumo de total de energia de fontes não renováveis associados ao ciclo de vida do produto. Representa o poder calorífico líquido em megaJoules (MJ) da demanda de energia primária a partir de recursos não-renováveis e sua eficiência de conversão. Neste indicador estão inclusos o consumo da eletricidade e/ou dos combustíveis usados durante o ciclo de vida do produto, adicionando a energia necessária para extração e processamento para a obtenção desses combustíveis, incluindo também a energia que seria liberada se os materiais que compõe o produto fossem queimados.

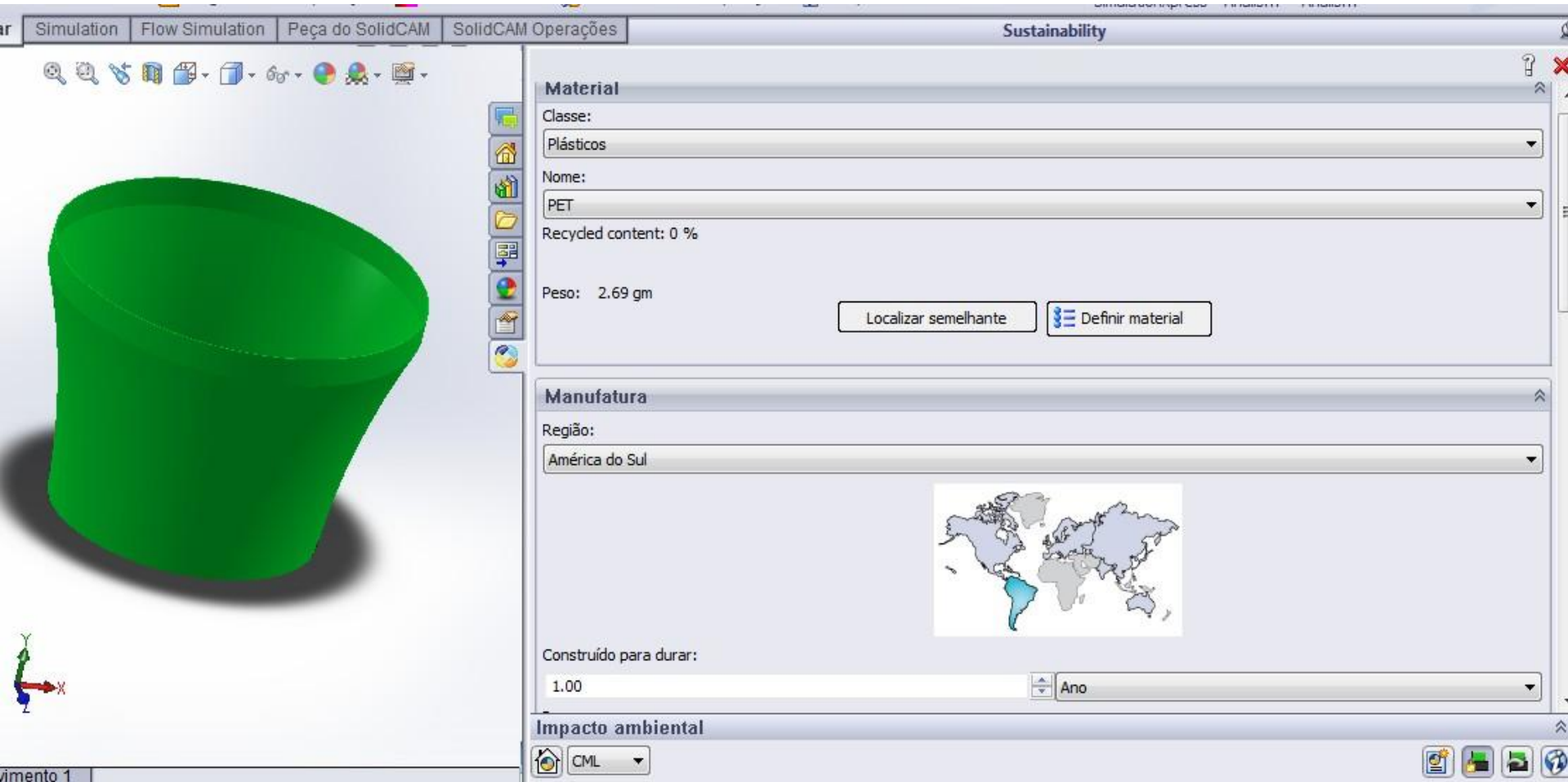
•**Pegada de Carbono:** indica a quantidade em massa dos gases de efeito estufa liberados durante o ciclo de vida do produto que podem contribuir para o aquecimento global. São associados ao aquecimento global problemas como o derretimento das calotas polares e o aumento da temperatura global à superfície entre outros, pois o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases resultantes da queima de combustíveis fósseis se acumulam na atmosfera aumentando sua concentração. Esse fenômeno é denominado Potencial de Aquecimento Global, ou GWP da abreviação do termo em inglês: *Global Warming Potential*. A pegada de carbono é medida em unidades de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) destes gases.

•**Eutrofização da água:** assim como a pegada de carbono é um indicador mensurado em unidades de massa equivalente de substâncias, sendo apresentado em massa equivalente de fosfato ( $\text{PO}_4$ ) ou massa equivalente de nitrogênio (N). A eutrofização da água é um fenômeno que ocorre quando nutrientes em excesso são adicionados a um ecossistema aquático provocando um desequilíbrio prejudicial aos seres vivos. Um exemplo de eutrofização da água ocorre quando fertilizantes agrícolas contendo nitrogênio e fósforo atingem um lago, provocando uma explosão populacional de algas, esgotando o oxigênio dissolvido na água e causando a morte da biota do lago.

•**Acidificação do ar:** o indicador de acidificação do ar é mensurado em unidades de massa equivalentes de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) para os gases provenientes da queima de combustíveis que criam emissões atmosféricas ácidas. Essas emissões são a causa principal do aumento da acidez da água da chuva, o que acarreta em vários danos ao ambiente. Entre outros, podem ser citados o desgaste de materiais de construção como calcário e concreto, e a diminuição do valor do pH de lagos e do solo que pode acarretar na morte de plantas e animais desses ecossistemas.

# Sustainability

## Definir Material

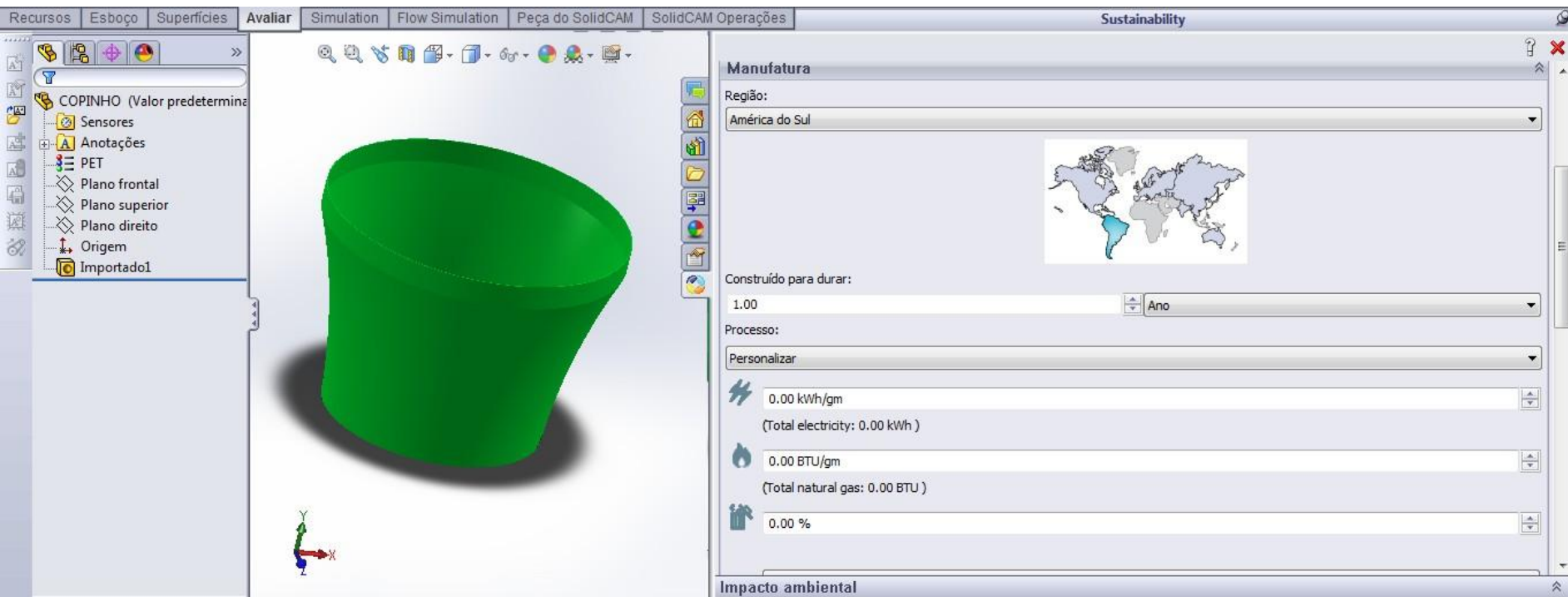


The screenshot displays the SolidCAM Sustainability software interface. On the left, a 3D model of a green cup is shown. The main window is titled "Sustainability" and contains several panels:

- Material Panel:**
  - Classe: Plásticos
  - Nome: PET
  - Recycled content: 0 %
  - Peso: 2.69 gm
  - Buttons: Localizar semelhante, Definir material
- Manufatura Panel:**
  - Região: América do Sul
  - Mapa do mundo com a América do Sul destacada em azul.
  - Construído para durar: 1.00 Ano
- Impacto ambiental Panel:**
  - CML

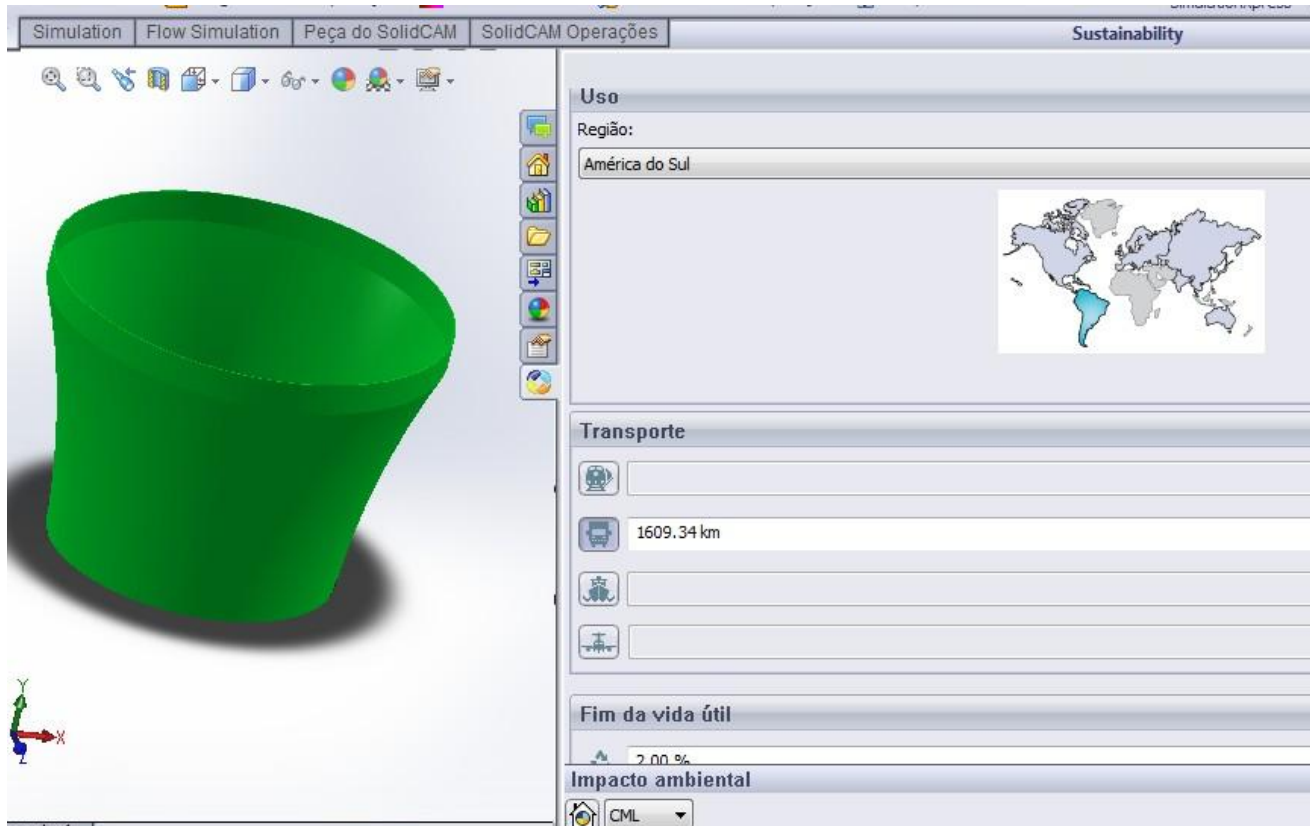
The interface also shows a top menu bar with "Simulation", "Flow Simulation", "Peça do SolidCAM", and "SolidCAM Operações". A toolbar with various icons is visible at the top left, and a 3D coordinate system is shown at the bottom left.

# Sustainability



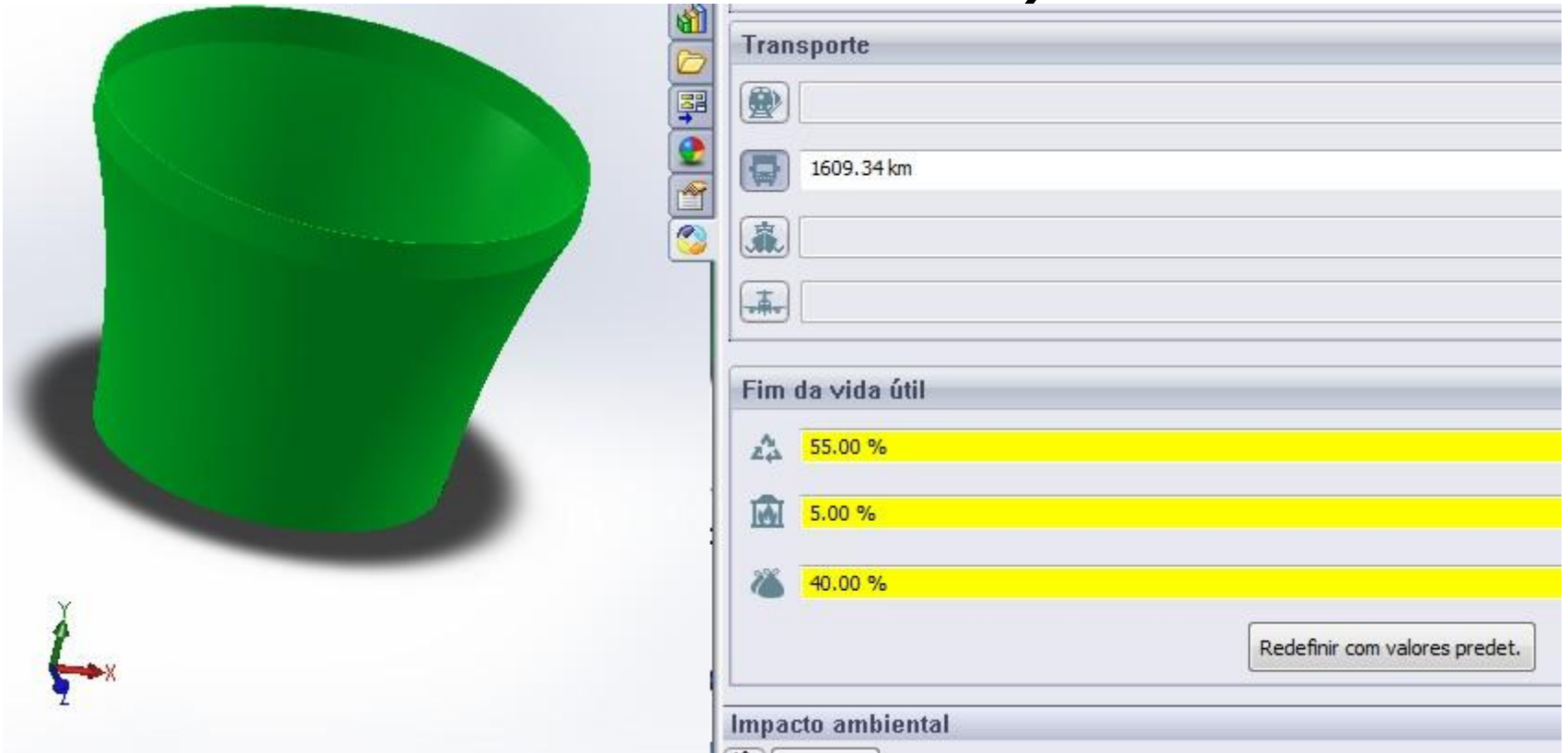
- Definir manufatura
- Vida útil

# Sustainability



- Definir onde será utilizado
- Tipo de transporte

# Sustainability



- Final da vida útil
- Reciclado
- Incinerado
- Depósito de lixo



# MATERIAL

## **Criação do material**

Compreende todas as etapas, desde a extração do minério bruto até a manufatura do material, incluindo a energia e outros recursos consumidos, e o transporte que normalmente ocorre no processo.

# USO

## **Uso**

Leva em consideração o impacto ambiental do transporte das peças de onde elas são fabricadas para onde elas são usadas. A distância a ser percorrida entre regiões e o método de transporte (caminhão, navio, trem ou avião) determina o nível de impacto. No Sustainability, a distância entre regiões e o método de transporte são definidos automaticamente pelo software.

# TRANSPORTE

## Transporte

Leva em consideração o impacto ambiental do transporte das peças de onde elas são fabricadas para onde elas são usadas. A distância a ser percorrida entre regiões e o método de transporte (caminhão, navio, trem ou avião) determina o nível de impacto. No Sustainability, a distância entre regiões e o método de transporte são definidos automaticamente pelo software.

# MANUFATURA

## Manufatura do produto

O processo e o local da manufatura têm uma influência significativa no impacto ambiental. Cada tipo de processo (fresagem, fundição, moldagem por injeção, etc.) utiliza diferentes tipos e quantidades de energia e recursos. Cada região do mundo usa diferentes combinações de métodos para gerar eletricidade (combustíveis fósseis, usinas hidrelétricas ou nucleares, etc.). Isso significa que, em cada região, um kW de energia tem um impacto ambiental diferente.

# FINAL DA VIDA ÚTIL

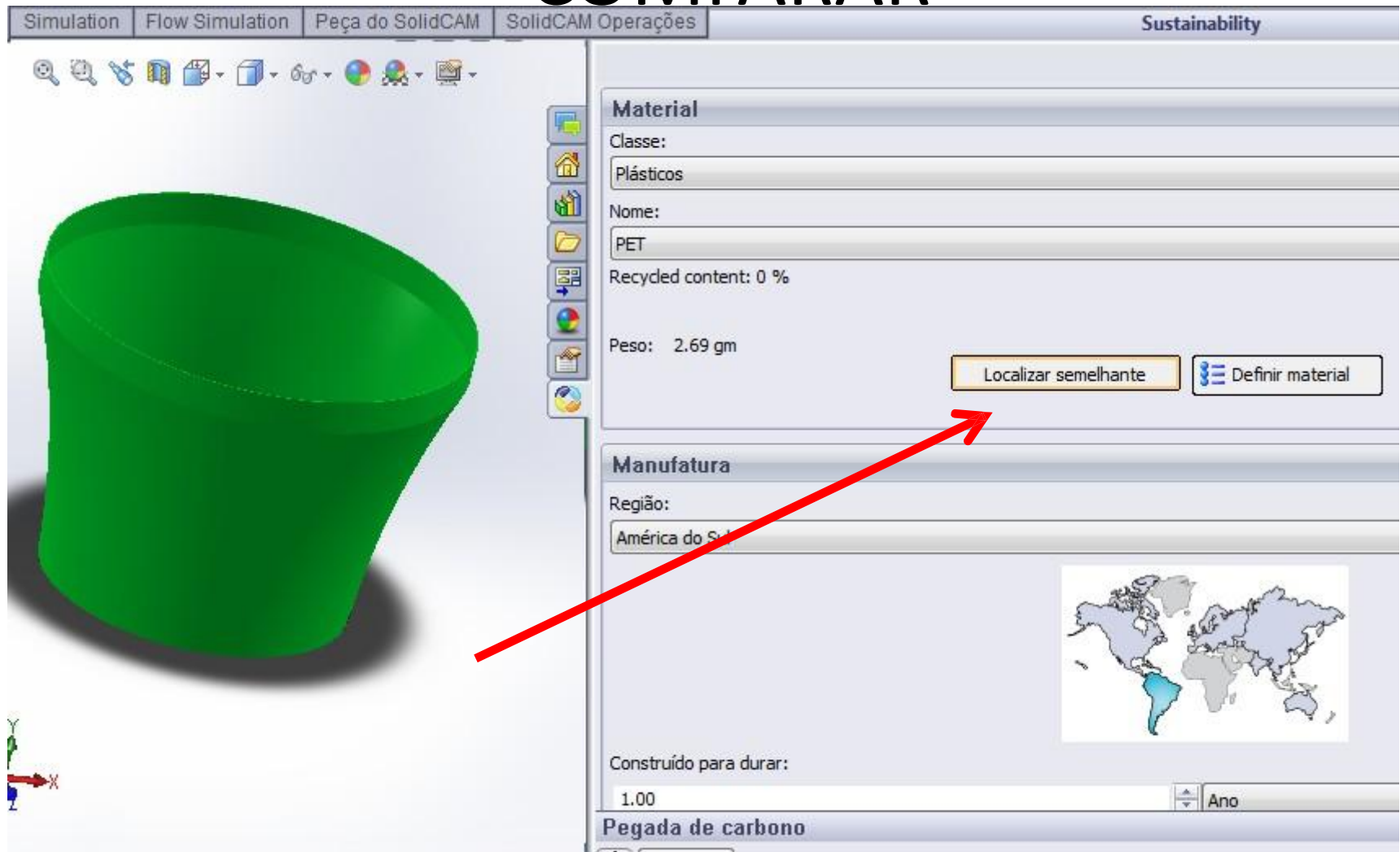
## **Fim da vida útil (EOL)**

Este termo se refere ao que acontece com os componentes quando sua utilização chega a um fim.

Componentes podem ser reciclados, incinerados ou ir para um depósito de lixo. Isso é determinado pelas médias típicas observadas dentro da região de Utilização do produto.



# LOCALIZAR MATERIAL SEMELHANTE E COMPARAR



The image shows a screenshot of the SolidCAM Sustainability interface. On the left, a 3D model of a green cylindrical part is displayed. The main interface is divided into several sections:

- Material**
  - Classe: Plásticos
  - Nome: PET
  - Recycled content: 0 %
  - Peso: 2.69 gm
  - Buttons: Localizar semelhante (highlighted with a red arrow), Definir material
- Manufatura**
  - Região: América do Sul
  - Mapa do mundo
- Construído para durar:** 1.00 Ano
- Pegada de carbono**

# LOCALIZAR MATERIAL SEMELHANTE E COMPARAR

Localizar material semelhante

Materiais	Classe do material	Módulo elástico ... N/m <sup>2</sup>	Coefficiente de P... N/A	Massa específica kg/m <sup>3</sup>	Condutividade t... W/(m·K)	Calor específico J/(kg·K)	Resistência à tr... N/m <sup>2</sup>
-----------	--------------------	---	-----------------------------	---------------------------------------	-------------------------------	------------------------------	---

Propriedade	Condição	Valor	Unidades
Classe do material	=	Plásticos	
Módulo elástico em X	>>	2.96e+009	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson em XY	<<	0.37	N/A
Massa específica	~	1420	kg/m <sup>3</sup>
Condutividade térmica em X	~	0.261	W/(m·K)
Calor específico	-qualqu	1140	J/(kg·K)
Resistência à tração em X	-qualqu	5.73e+007	N/m <sup>2</sup>
Resistência à compressão em X	-qualqu	9.29e+007	N/m <sup>2</sup>
Impacto financeiro	-qualqu	2.20	USD/kg

Selecione os critérios de pesquisa. Defina as condições e valores

Localizar semelhante

# Sustainability

