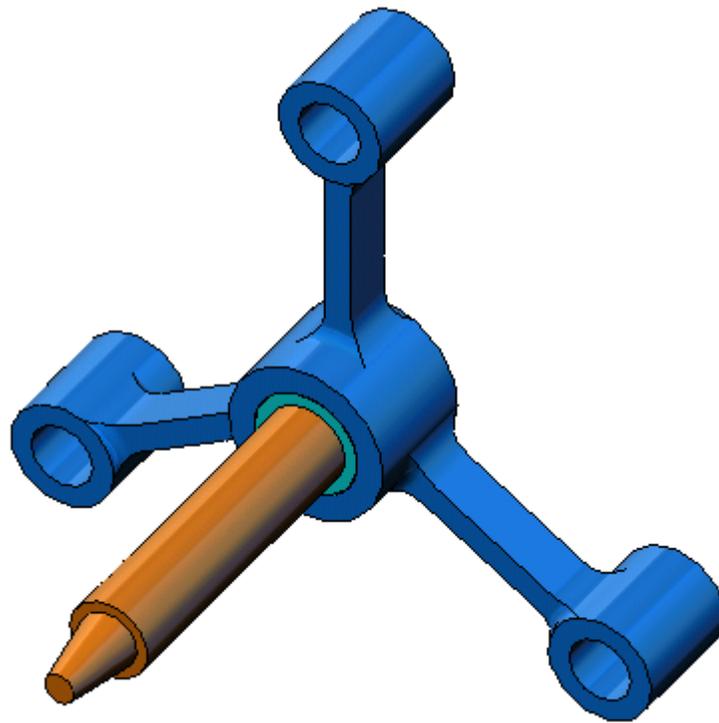




# Uma introdução a aplicações de análise de tensão com o SolidWorks Simulation, Guia do Aluno



© 1995-2010, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, a Dassault Systèmes S.A. company, 300 Baker Avenue, Concord, Mass. 01742 USA. All Rights Reserved.

The information and the software discussed in this document are subject to change without notice and are not commitments by Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks).

No material may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, for any purpose without the express written permission of DS SolidWorks.

The software discussed in this document is furnished under a license and may be used or copied only in accordance with the terms of this license. All warranties given by DS SolidWorks as to the software and documentation are set forth in the SolidWorks Corporation License and Subscription Service Agreement, and nothing stated in, or implied by, this document or its contents shall be considered or deemed a modification or amendment of such warranties.

### **Patent Notices for SolidWorks Standard, Premium, Educational, and Professional Products**

U.S. Patents 5,815,154; 6,219,049; 6,219,055; 6,603,486; 6,611,725; 6,844,877; 6,898,560; 6,906,712; 7,079,990; 7,184,044; 7,477,262; 7,502,027; 7,558,705; 7,571,079; 7,590,497; 7,643,027; 7,672,822; 7,688,318; 7,694,238, and foreign patents, (e.g., EP 1,116,190 and JP 3,517,643). U.S. and foreign patents pending.

### **Trademarks and Other Notices for All SolidWorks Products**

SolidWorks, 3D PartStream.NET, 3D ContentCentral, PDMWorks, eDrawings, and the eDrawings logo are registered trademarks and FeatureManager is a jointly owned registered trademark of DS SolidWorks.

SolidWorks Enterprise PDM, SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation, and SolidWorks 2010 are product names of DS SolidWorks.

CircuitWorks, Feature Palette, FloXpress, PhotoWorks, TolAnalyst, and XchangeWorks are trademarks of DS SolidWorks.

FeatureWorks is a registered trademark of Geometric Ltd.

Other brand or product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders.

#### **COMMERCIAL COMPUTER SOFTWARE - PROPRIETARY**

U.S. Government Restricted Rights. Use, duplication, or disclosure by the government is subject to restrictions as set forth in FAR 52.227-19 (Commercial Computer Software - Restricted Rights), DFARS 227.7202 (Commercial Computer Software and Commercial Computer Software Documentation), and in the license agreement, as applicable.

Contractor/Manufacturer:

Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742 USA

### **Copyright Notices for SolidWorks Standard, Premium, Educational, and Professional Products**

Portions of this software © 1990-2010 Siemens Product Lifecycle Management Software III (GB) Ltd.

Portions of this software © 1998-2010 Geometric Ltd.

Portions of this software © 1986-2010 mental images GmbH & Co. KG.

Portions of this software © 1996-2010 Microsoft Corporation. All rights reserved.

Portions of this software © 2000-2010 Tech Soft 3D.

Portions of this software © 1998-2010 3Dconnexion.

This software is based in part on the work of the Independent JPEG Group. All Rights Reserved.

Portions of this software incorporate PhysX™ by NVIDIA 2006-2010.

Portions of this software are copyrighted by and are the property of UGS Corp. © 2010.

Portions of this software © 2001 - 2010 Luxology, Inc. All Rights Reserved, Patents Pending.

Portions of this software © 2007 - 2010 DriveWorks Ltd.

Copyright 1984-2010 Adobe Systems Inc. and its licensors. All rights reserved. Protected by U.S. Patents 5,929,866; 5,943,063; 6,289,364; 6,563,502; 6,639,593; 6,754,382; Patents Pending.

Adobe, the Adobe logo, Acrobat, the Adobe PDF logo, Distiller and Reader are registered trademarks or trademarks of Adobe Systems Inc. in the U.S. and other countries.

For more copyright information, in SolidWorks see **Help > About SolidWorks**.

Other portions of SolidWorks 2010 are licensed from DS SolidWorks licensors.

#### **Copyright Notices for SolidWorks Simulation**

Portions of this software © 2008 Solversoft Corporation.

PCGLSS © 1992-2007 Computational Applications and System Integration, Inc. All rights reserved.

Portions of this product are distributed under license from DC Micro Development, Copyright © 1994-2005 DC Micro Development, Inc. All rights reserved.

## Sobre este curso

A *Introdução a aplicações de análise de tensão com o SolidWorks Simulation* e os materiais de apoio associados foram projetados para ajudá-lo a ensinar a simulação com o SolidWorks Simulation em um ambiente acadêmico.

## Tutoriais on-line

A *Introdução a aplicações de análise de tensão com o SolidWorks Motion* funciona como recurso adicional, complementada pelos Tutoriais On-line do SolidWorks Simulation.

### Acessar os tutoriais

Para iniciar os Tutoriais on-line, clique em **Ajuda, Tutoriais do SolidWorks, Todos os tutoriais do SolidWorks**. A janela do SolidWorks é redimensionada e uma segunda janela aparece ao lado com uma lista de tutoriais disponíveis. Quando você passa o ponteiro sobre os links, uma ilustração do tutorial aparece na parte inferior da janela. Clique no link desejado para iniciar o tutorial.

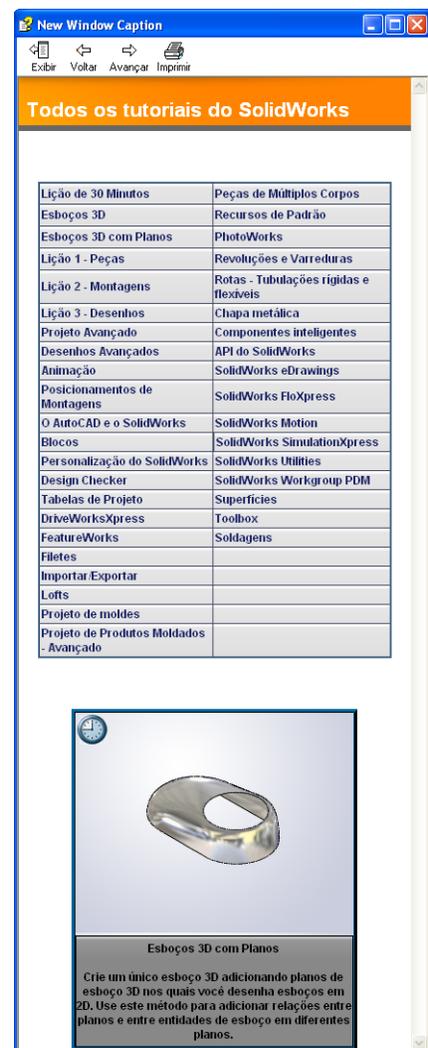
### Convenções

Defina sua resolução de tela como 1280x1024 para visualizar melhor os tutoriais.

Os tutoriais apresentam os seguintes ícones:

 [Seguinte](#) Passa para a próxima tela do tutorial.

 Representa uma nota ou uma dica. Não é um link; a informação é apresentada à direita do ícone. As notas e dicas oferecem sugestões úteis e etapas que pouparam tempo.



Todos os tutoriais do SolidWorks	
Lição de 30 Minutos	Peças de Múltiplos Corpos
Esboços 3D	Recursos de Padrão
Esboços 3D com Planos	PhotoWorks
Lição 1 - Peças	Revoluções e Varreduras
Lição 2 - Montagens	Rotas - Tubulações rígidas e flexíveis
Lição 3 - Desenhos	Chapa metálica
Projeto Avançado	Componentes inteligentes
Desenhos Avançados	API do SolidWorks
Animação	SolidWorks eDrawings
Posicionamentos de Montagens	SolidWorks FloXpress
O AutoCAD e o SolidWorks	SolidWorks Motion
Blocos	SolidWorks SimulationXpress
Personalização do SolidWorks	SolidWorks Utilities
Design Checker	SolidWorks Workgroup PDM
Tabelas de Projeto	Superfícies
DriveWorksXpress	Toolbox
FeatureWorks	Soldagens
Filetes	
Importar/Exportar	
Lofts	
Projeto de moldes	
Projeto de Produtos Moldados - Avançado	



**Esboços 3D com Planos**

Crie um único esboço 3D adicionando planos de esboço 3D nos quais você desenha esboços em 2D. Use este método para adicionar relações entre planos e entre entidades de esboço em diferentes planos.

 Você pode clicar na maioria dos botões da barra de ferramentas que aparece nas lições para fazer piscar o botão correspondente no SolidWorks. Na primeira vez em que você clicar no botão, aparecerá uma mensagem do controle ActiveX: Um controle ActiveX nesta página pode ser inseguro para interagir com outras partes da página. Deseja permitir essa interação? Essa é uma medida de precaução padronizada. Os controles ActiveX nos Tutoriais on-line não prejudicarão o seu sistema. Se você clicar em **Não**, os scripts serão desativados nesse tópico. Clique em **Sim** para executar os scripts e fazer piscar o botão.

 **Abrir arquivo** ou **Definir esta opção** automaticamente abre o arquivo ou define a opção.

 **Exemplo de vídeo** mostra um vídeo sobre essa etapa.

 **Mais detalhes sobre...** apresenta mais informações sobre o tópico. Embora não sejam necessárias para concluir o tutorial, essas informações oferecem mais detalhes sobre o assunto.

 **Por que eu...?** oferece um link para mais informações sobre um procedimento e os motivos para a utilização do método indicado. Essas informações não são necessárias para concluir o tutorial.

### Imprimir os tutoriais

Se desejar, você pode imprimir os Tutoriais on-line seguindo este procedimento:

- 1 Na barra de navegação do tutorial, clique em **Exibir**  .  
A tabela de conteúdo dos Tutoriais on-line aparece.
- 2 Clique com o botão direito do mouse no livro que representa a lição que você deseja imprimir e selecione **Imprimir** no menu de atalho.  
A caixa de diálogo **Imprimir tópicos** é exibida.
- 3 Selecione **Imprimir o cabeçalho selecionado e todos os subtópicos** e clique em **OK**.
- 4 Repita esse processo para cada lição que desejar imprimir.

### Linha de produtos do SolidWorks Simulation

---

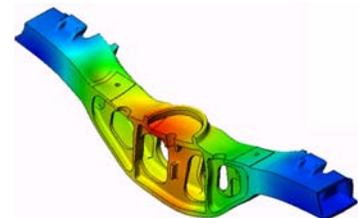
Embora este curso esteja focalize uma introdução à dinâmica de corpo rígido usando o SolidWorks Motion Simulation, a linha de produtos completa abrange uma ampla faixa de áreas de análise a considerar. O parágrafo a seguir lista toda a linha de pacote e módulos do SolidWorks Simulation.

Estudos estáticos oferecem ferramentas para análise de tensão linear de peças e montagens submetidas a cargas estáticas. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

A peça quebrará sob cargas normais de operação?

O modelo está superdimensionado?

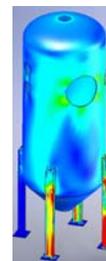
O projeto pode ser modificado para aumentar o fator de segurança?



Estudos de flambagem analisam o desempenho de peças finas sob cargas de compressão. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

As pernas de meu vaso são fortes o suficiente para não apresentar falha por escoamento, mas serão resistentes para não cederem devido à perda de estabilidade?

O projeto pode ser modificado para assegurar a estabilidade dos componentes finos na montagem?

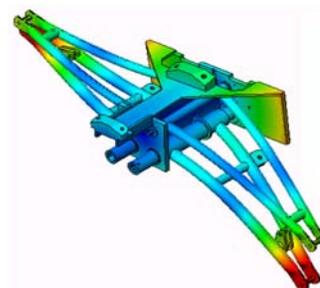


Estudos de frequência oferecem ferramentas para análise dos modos e frequências naturais. Isso é essencial no projeto de muitos componentes carregados de maneira estática e dinâmica. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

A peça irá entrar em ressonância sob cargas normais de operação?

As características de frequência dos componentes são adequadas para a aplicação pretendida?

O projeto pode ser modificado para melhorar as características de frequência?



Estudos térmicos oferecem ferramentas para análise da transferência de calor por meio de condução, convecção e radiação. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

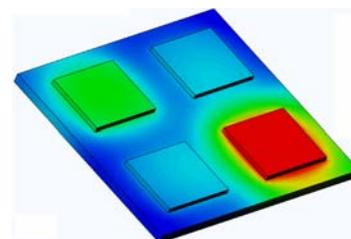
Mudanças de temperatura afetarão o modelo?

Como o modelo opera em um ambiente com flutuação de temperatura?

Quanto tempo demora para o modelo resfriar ou superaquecer?

A alteração de temperatura provoca expansão do modelo?

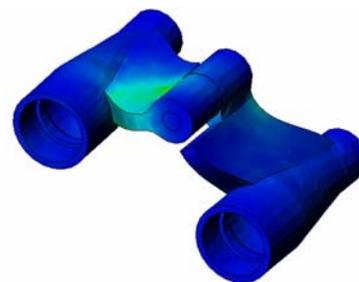
As tensões provocadas pela mudança de temperatura provocam a falha do produto (estudos estáticos e térmicos são usados para responder a esta pergunta)?



Estudos de teste de queda são usados para analisar a tensão em peças ou montagens móveis que se chocam contra um obstáculo. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

O que acontecerá se o produto for manuseado incorretamente durante o transporte ou sofrer uma queda?

Como o produto se comporta quando sofre uma queda em piso de madeira rígida, carpete ou concreto?



Estudos de otimização são aplicados para melhorar (otimizar) o projeto inicial com base em um conjunto de critérios selecionados como tensão máxima, peso, frequência ideal etc. Perguntas típicas que serão respondidas usando este tipo de estudo incluem:

A forma do modelo pode ser alterada mantendo a intenção do projeto?

O projeto pode ser modificado para se tornar mais leve, menor e mais econômico sem comprometer a resistência e o desempenho?



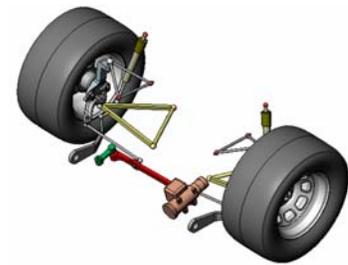
Estudos de fadiga analisam a resistência de peças e montagens submetidas a cargas repetitivas por longo tempo. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

A vida útil do produto pode ser estimada com exatidão?

A modificação do projeto atual ajuda a prolongar a vida do produto?

O modelo está seguro quando exposto a forças variáveis ou a extremos de temperatura por longos períodos?

Reprojetar o modelo ajuda a minimizar os danos causados por forças ou temperaturas variáveis?



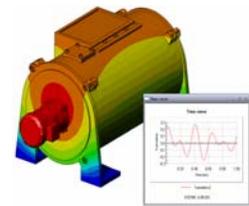
Estudos não lineares oferecem ferramentas para análise de tensão em peças e montagens que sofrem cargas intensas e/ou grandes deformações. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

Peças fabricadas em borracha (o-rings, por exemplo) ou espuma apresentam bom desempenho sob determinada carga?

O modelo sofre dobramento excessivo sob condições normais de operação?

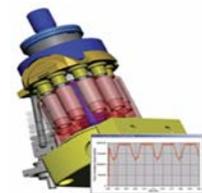


Estudos dinâmicos analisam objetos submetidos a cargas que variam com o tempo. Exemplos típicos poderiam ser cargas de choque em componentes montados em veículos, turbinas submetidas a cargas de forças oscilatórias, componentes de aeronaves sob cargas aleatórias etc. Estão disponíveis estudos lineares (pequenas deformações estruturais, modelos de materiais básicos) e não lineares (grandes deformações estruturais, cargas intensas e materiais avançados). Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:



Os suportes submetidos a cargas de choque quando o veículo passa por buracos na estrada foram projetados de forma segura? Quanto eles se deformam sob essas circunstâncias?

O Motion Simulation permite ao usuário analisar o comportamento cinemático e dinâmico dos mecanismos. Forças inerciais e forças que atuam nas juntas podem ser subsequentemente transferidas para os estudos do SolidWorks Simulation para continuar com a análise de tensão.



Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste módulo incluem:

Qual é o tamanho correto do motor ou do atuador para o projeto?

O projeto das articulações, engrenagens ou mecanismos de travamento está otimizado?

Quais são os deslocamentos, as velocidades e as acelerações dos componentes do mecanismo?

O mecanismo é eficiente? Ele pode ser aprimorado?

O módulo de compostos permite ao usuário simular estruturas fabricadas a partir de materiais laminados compostos.

Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste módulo incluem:

O modelo composto falha sob a carga especificada?

A estrutura pode ficar mais leve usando materiais compostos sem comprometer a resistência e a segurança?

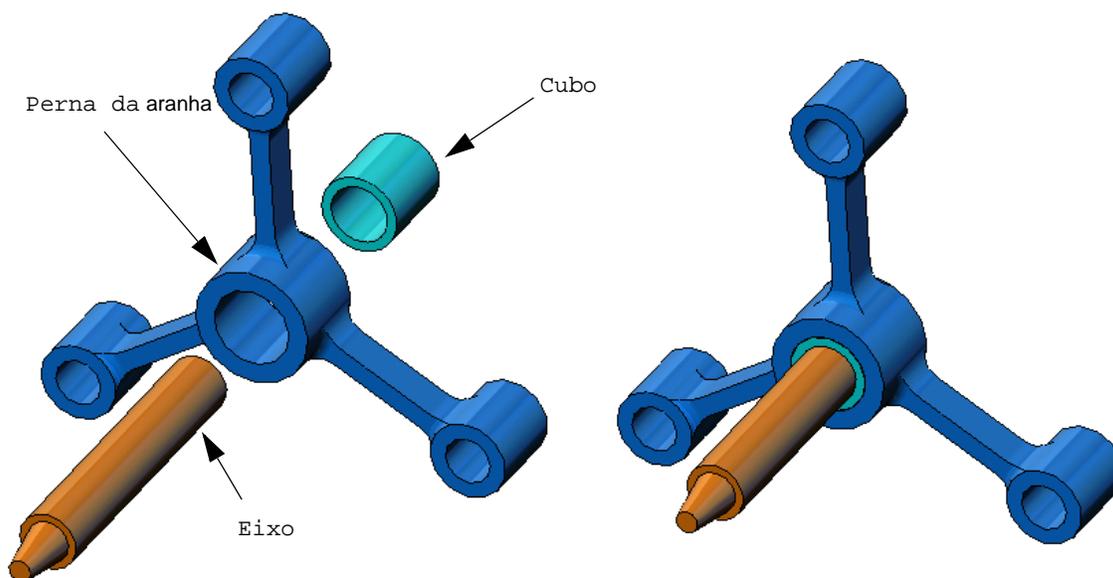
O composto laminado soltará suas camadas?



## Lição 1: Funcionalidade básica do SolidWorks Simulation

---

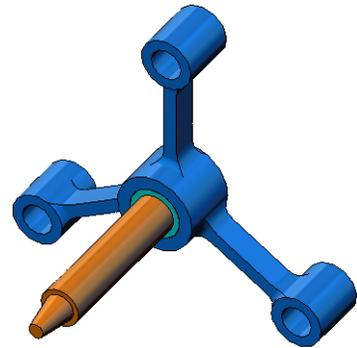
Após a conclusão bem-sucedida desta lição, você poderá compreender a funcionalidade básica do SolidWorks Simulation e executar a análise estática da montagem a seguir.



## Exercício de aprendizado ativo – Execução da análise estática

Use o SolidWorks Simulation para executar uma análise estática da montagem *Spider*. SLDASM mostrada à direita.

As instruções passo a passo são fornecidas abaixo.



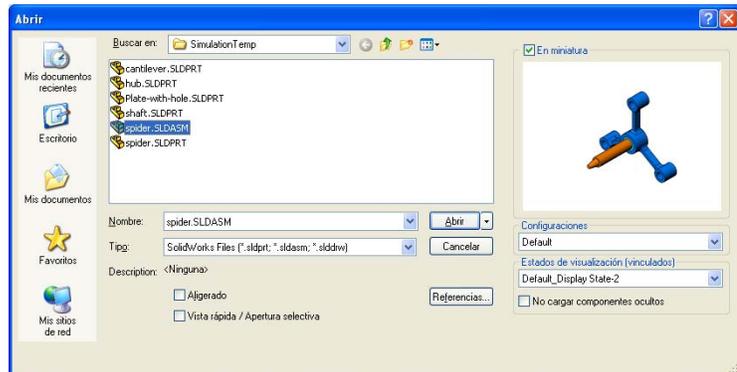
### Criar um diretório SimulationTemp

Recomendamos salvar o SolidWorks Simulation Education Examples em um diretório temporário para salvar a cópia original para uso repetido.

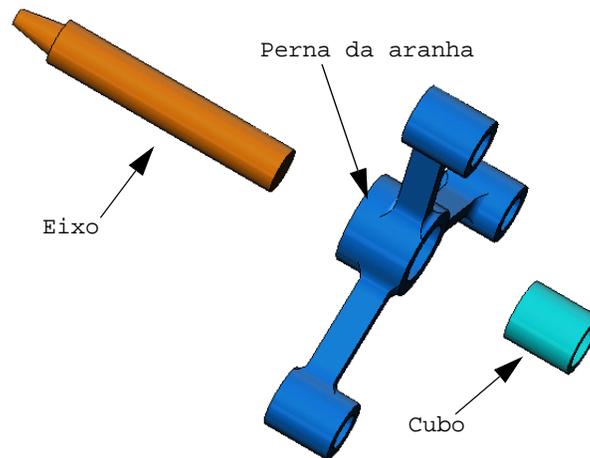
- 1 Crie um diretório temporário denominado *SimulationTemp* na pasta *Examples* do diretório de instalação do SolidWorks Simulation.
- 2 Copie o diretório do SolidWorks Simulation Education Examples no diretório *SimulationTemp*.

### Abrir o documento *Spider*. SLDASM

- 1 Clique em **Abrir**  na barra de ferramentas Padrão. A caixa de diálogo **Abrir** é exibida.
- 2 Acesse a pasta *SimulationTemp* no diretório de instalação do SolidWorks Simulation.
- 3 Selecione *Spider*. SLDASM
- 4 Clique em **Abrir**.  
A montagem *spider*. SLDASM é aberta.



A montagem spider (aranha) tem três componentes: shaft (eixo), hub (cubo) e perna da spider (aranha). A figura abaixo mostra os componentes da montagem em vista explodida.



### Verificar o menu do SolidWorks Simulation

Se o SolidWorks Simulation estiver instalado corretamente, o menu SolidWorks Simulation será exibido na barra de menus do SolidWorks.



Menu do SolidWorks Simulation

Caso contrário:

- 1 Clique em **Ferramentas, Suplementos**.

A caixa de diálogo **Suplementos** é exibida.

- 2 Marque as caixas de seleção ao lado do SolidWorks Simulation.

Se o SolidWorks Simulation não estiver na lista, será necessário instalar o SolidWorks Simulation.

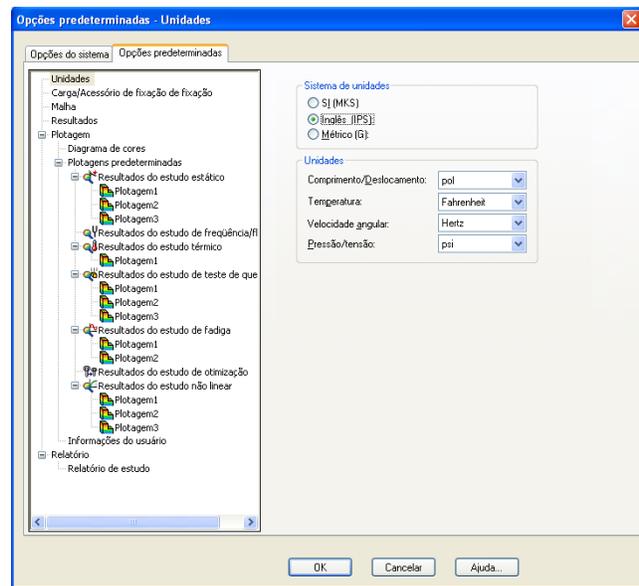
- 3 Clique em **OK**.

O menu SolidWorks Simulation é exibido na barra de menus do SolidWorks.

## Definir as unidades de análise

Antes de começar esta lição vamos definir as unidades da análise.

- 1 Na barra de menus do SolidWorks, clique em **Simulation, Opções**.
- 2 Clique na guia **Opções predeterminadas**.
- 3 Selecione **Inglês (IPS)** em **Sistema de unidades**.
- 4 Selecione **pol.** e **psi** nos campos **Comprimento/deslocamento** e **Pressão/tensão**, respectivamente.
- 5 Clique em **OK**.



## Etapa 1: Criar um estudo

A primeira etapa da execução da análise é criar um estudo.

- 1 Clique em **Simulation, Estudo** no menu principal do SolidWorks na parte superior da tela.

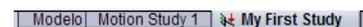
O PropertyManager de **Estudo** é exibido.

- 2 Em **Nome**, digite My First Study (Meu primeiro estudo).
- 3 Em **Tipo**, selecione **Estático**.
- 4 Clique em **OK**.

O SolidWorks Simulation cria uma árvore de estudo do Simulation localizada abaixo da árvore de projeto do FeatureManager.



Também é criada uma guia na parte inferior da janela para você navegar entre vários estudos e o seu modelo.

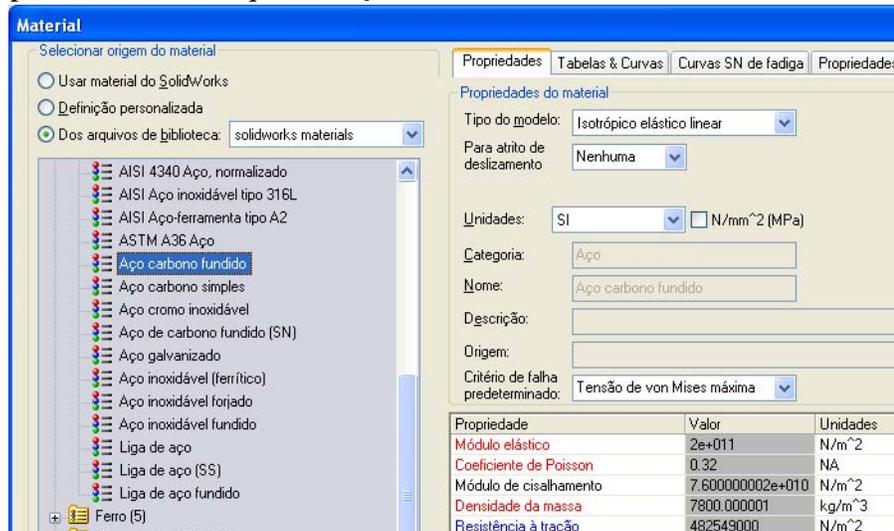


## Etapa 2: Atribuir material

Todos os componentes da montagem são fabricados em liga de aço.

### Atribuir Liga de aço para Todos os componentes

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta **Parts** e clique em **Aplicar material a todos**.



A caixa de diálogo Material é exibida.

- 2 Em **Selecionar a origem do material**:
  - a) Selecione **De arquivos de biblioteca**.
  - b) Selecione **solidworks materials** (materiais do solidworks) como a biblioteca de materiais.
  - c) Clique no sinal de mais ao lado da categoria de materiais **Aço** e selecione **Liga de aço**.

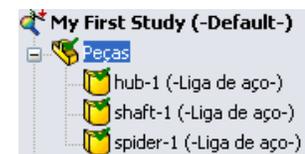
---

**Nota:** As propriedades mecânicas e físicas da liga de aço são exibidas na tabela da direita.

---

- 3 Clique em **OK**.

A liga de aço é atribuída a todos os componentes e uma marca de seleção é exibida no ícone de cada componente. Observe que o nome do material atribuído é exibido ao lado do nome do componente.



### Etapa 3: Aplicar restrições

Vamos fixar os três furos.

- 1 Use as teclas de **Setas** para girar a montagem, conforme mostrado na figura.



- 2 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse em **Fixtures** (Acessórios de fixação) e selecione **Geometria fixa**.

O PropertyManager de **Acessórios de fixação** é exibido.

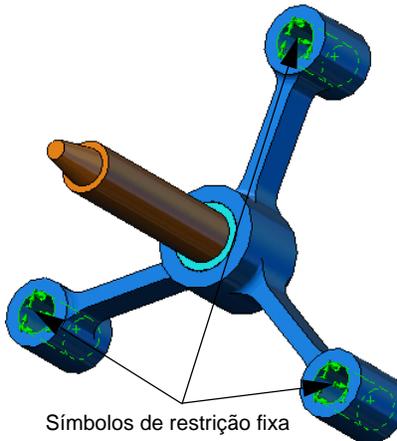
- 3 Certifique-se de que **Tipo** esteja configurado como **Geometria fixa**.

- 4 Na área de gráficos, selecione as faces dos três furos, como mostra a figura.

Face<1>, Face<2> e Face<3> são exibidas na caixa **Faces, Arestas, Vértices para acessório de fixação**.

- 5 Clique em .

A restrição Fixa é aplicada, e seus símbolos são exibidos nas faces selecionadas.

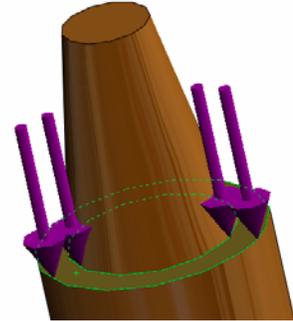


O item **Fixture-1** também aparece na pasta **Fixtures** na árvore de estudo do Simulation. O nome da restrição pode ser alterado a qualquer momento.

## Etapa 4: Aplicar cargas

Vamos aplicar uma força de 500 lb. normal à face mostrada na figura.

- 1 Clique no ícone **Zoom na área**  na parte superior da área de gráficos e aplique zoom à parte afilada do eixo.
- 2 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta **External Loads** e selecione **Força**.  
O PropertyManager de **Força/Torque** é exibido.
- 3 Na área de gráficos, clique na face mostrada na figura.  
Face<1> é exibida na caixa de listagem **Faces e arestas de casca para força normal**.
- 4 Certifique-se de que a direção **Normal** esteja selecionada.
- 5 Certifique-se de que **Unidades** esteja definida como **Inglês (IPS)**.
- 6 Na caixa **Valor da força** , digite **500**.
- 7 Clique em .



O SolidWorks Simulation aplica a força à face selecionada, e o item Force-1 é exibido na pasta External Loads.

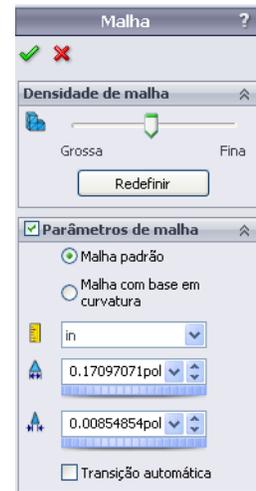
### Para ocultar símbolos de restrições e cargas

Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta **Fixtures** ou **External Loads** e clique em **Ocultar todos**.

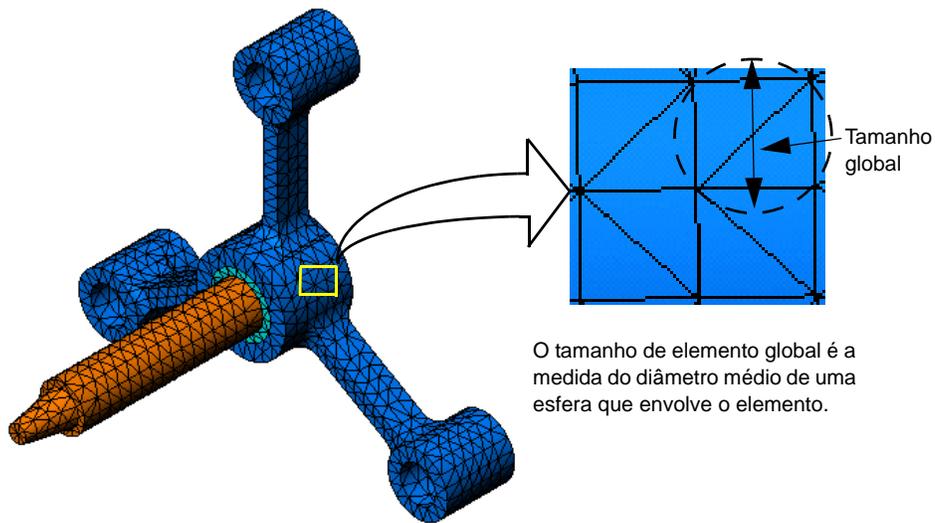
## Etapa 5: Gerar malha da montagem

A geração de malha divide o modelo em pequenas partes chamadas elementos. Com base nas dimensões geométricas do modelo, o SolidWorks Simulation sugere um tamanho predeterminado de elemento (neste caso, 0,179707 pol.) que pode ser alterado conforme necessário.

- 1 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse no ícone **Malha** e selecione **Criar malha**.  
O PropertyManager de **Malha** é exibido.
- 2 Expanda **Parâmetros de malha** marcando a caixa de seleção.  
Certifique-se de que **Malha padrão** esteja selecionado e **Transição automática** não esteja marcada.  
Mantenha o **Tamanho global**  predeterminado e a **Tolerância**  sugerida pelo programa.



- 3 Clique em **OK** para começar a gerar a malha.



### Etapa 6: Executar a análise

Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse no ícone *My First Study* (Meu primeiro estudo) e clique em **Executar** para iniciar a análise.

Quando a análise é concluída, o SolidWorks Simulation cria automaticamente a plotagem predeterminada dos resultados armazenados na pasta *Results*.

## Etapa 7: Visualizar os resultados

### Tensão de von Mises

- 1 Clique no sinal de mais  ao lado da pasta Results.

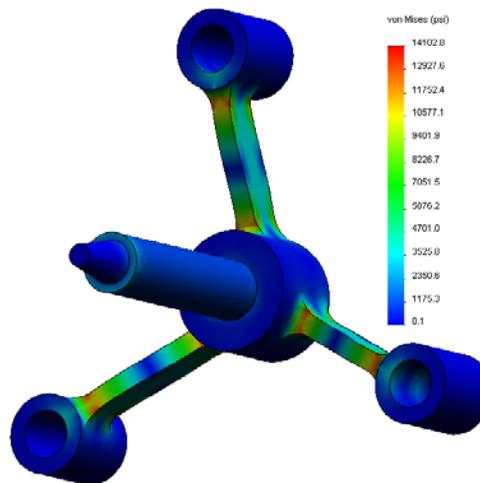
Todos os ícones de plotagem padrão são exibidos.

---

**Nota:** Se as plotagens predeterminadas não forem exibidas, clique com o botão direito do mouse na pasta Results e selecione **Definir plotagem de tensão**. Defina as opções no PropertyManager e clique em .

---

- 2 Clique duas vezes em Stress1 (-vonMises-) para exibir a plotagem dos resultados.




---

**Nota:** Para exibir a anotação indicando os valores máximo e mínimo na plotagem, clique duas vezes na legenda e marque as caixas de seleção **Exibir anotação mín.** e **Exibir anotação máx.**. Em seguida, clique em .

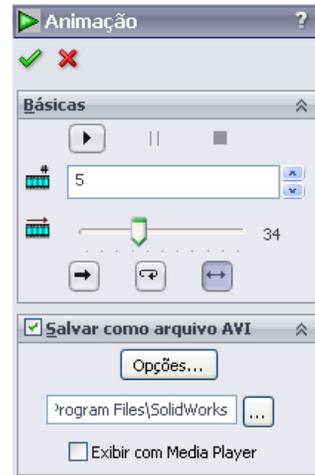
---

### Animar a plotagem

- 1 Clique com o botão direito do mouse em Stress1 (-vonMises-) e clique em **Animar**.

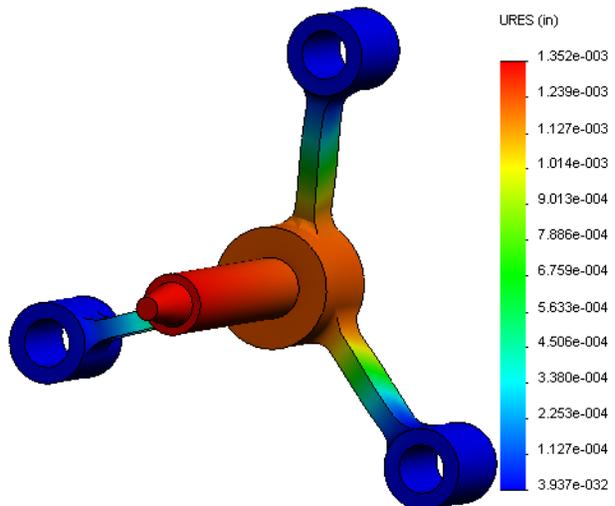
O PropertyManager de **Animação** é exibido e a animação inicia automaticamente.

- 2 Interrompa a animação clicando no botão **Parar** .  
A animação deve ser interrompida para salvar o arquivo AVI em disco.
- 3 Marque **Salvar como arquivo AVI**, em seguida clique em  Procurar e selecione uma pasta de destino para salvar o arquivo AVI.
- 4 Clique em  para **Reproduzir** a animação.  
A animação é reproduzida na área de gráficos.
- 5 Clique em  para **Parar** a animação.
- 6 Clique em  para fechar o PropertyManager de **Animação**.



### Visualizar os deslocamentos resultantes

- 1 Clique duas vezes no ícone Displacement1 (-Res disp-) para exibir a plotagem do deslocamento resultante.



## O projeto é seguro?

O **Assistente de verificação de projeto** pode ajudar a responder a essa pergunta. Vamos usar o assistente para estimar o fator de segurança em cada ponto do modelo. No processo, é preciso selecionar um critério de falha de escoamento.

- 1 Clique com o botão direito do mouse na pasta **Results** e selecione **Definir Plotagem de Fator de Segurança**.

É exibido o PropertyManager de **Fator de Segurança**  
**Etapa 1 de 3**.

- 2 Em **Critério** , clique em **Tensão de Max von Mises**.

---

**Nota:** Vários critérios de escoamento estão disponíveis. O critério de von Mises geralmente é usado para verificar a falha de escoamento em materiais maleáveis.

---

- 3 Clique em  **Avançar**.



O PropertyManager do **Assistente de verificação de projeto**  
**Etapa 2 de 3** é exibido.

- 4 Defina **Unidades**  como **psi**.
- 5 Em **Definir limite de tensão em**, selecione **Limite de escoamento**.

---

**Nota:** Quando escoar, o material continua a se deformar plasticamente a uma razão mais rápida. No caso extremo, ele continua a se deformar mesmo quando a carga não é aumentada.

---

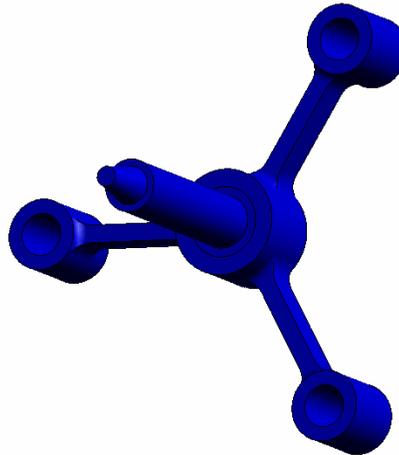
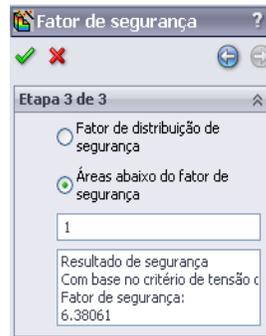
- 6 Clique em  **Avançar**.

O PropertyManager do **Assistente de verificação de projeto**  
**Etapa 3 de 3** é exibido.

- 7 Selecione **Áreas abaixo do fator de segurança** e digite **1**.



- 8 Clique em  para gerar a plotagem.



Inspecione o modelo e verifique se há áreas inseguras mostradas em vermelho. Podemos observar que a plotagem não apresenta a cor vermelha, o que indica que todos os locais são seguros.

### Qual é o nível de segurança do projeto?

- 1 Clique com o botão direito do mouse na pasta **Results** e selecione **Definir plotagem de verificação de projeto**.

O PropertyManager do assistente de **Verificação de projeto Etapa 1 de 3** é exibido.

- 2 Na lista **Critério**, selecione **Tensão de Max von Mises**.

- 3 Clique em **Avançar**.

O PropertyManager do assistente de **Verificação de projeto Etapa 2 de 3** é exibido.

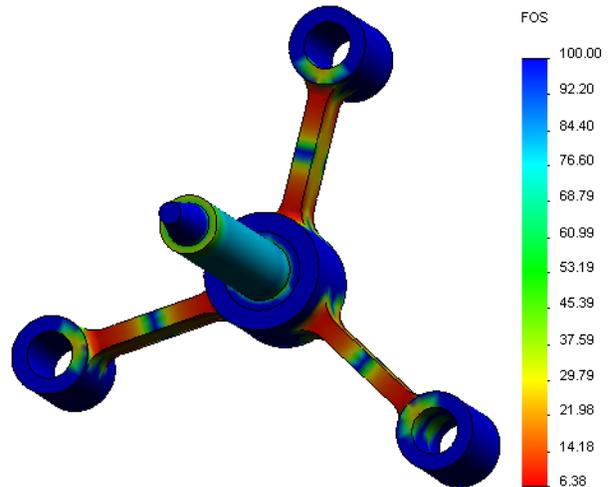
- 4 Clique em **Avançar**.

O PropertyManager do assistente de **Verificação de projeto Etapa 3 de 3** é exibido.

- 5 Em **Resultados da plotagem**, clique em **Distribuição de fator de segurança**.

- 6 Clique em .

A plotagem gerada mostra a distribuição do fator de segurança. O menor fator de segurança é de aproximadamente 6,4.



---

**Nota:** O fator de segurança 1,0 em um local significa que o material está começando a escoar. O fator de segurança 2,0, por exemplo, significa que o projeto é seguro no local e que o material começará a escoar se você dobrar as cargas.

---

## Salvar todas as plotagens geradas

- 1 Clique com o botão direito do mouse no ícone *My First Study* e clique em **Salvar todas as plotagens como arquivos JPEG**.

A janela **Procurar pasta** é exibida.

- 2 Acesse o diretório onde deseja salvar todas as plotagens de resultado.
- 3 Clique em **OK**.

## Gerar um relatório de estudo

O utilitário **Relatório** ajuda a documentar seu trabalho de maneira rápida e sistemática para cada estudo. O programa gera relatórios estruturais prontos para a Internet (arquivos HTML) e documentos do Word que descrevem todos os aspectos relacionados ao estudo.

- 1 Clique em **Simulation, Relatório** no menu principal do SolidWorks na parte superior da tela.

A caixa de diálogo **Opções de relatório** é exibida.

A seção **Configurações de formato de relatório** permite selecionar um estilo de relatório e escolher as seções que serão incluídas nele. Você pode excluir algumas seções movendo-as do campo **Seções incluídas** para o campo **Disponível**.

- 2 Cada seção do relatório pode ser personalizada. Por exemplo, selecione a seção **Página de capa** em **Seções incluídas** e preencha os campos **Nome**, **Logotipo**, **Autor** e **Empresa**. Observe que os formatos aceitáveis de logotipo são **Arquivos JPEG (\*.jpg)**, **Arquivos GIF (\*.gif)** ou **Arquivos Bitmap (\*.bmp)**.

- 3 Realce **Conclusão** na lista **Seções incluídas** e digite a conclusão do seu estudo na caixa **Comentários**.

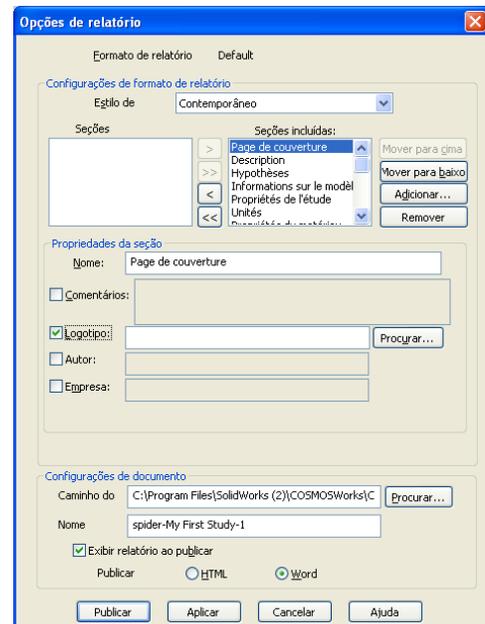
- 4 Marque a caixa de seleção **Exibir relatório ao publicar** e a opção **Word**.

- 5 Clique em **Publicar**.

O relatório é aberto como um documento do Word.

Além disso, o programa cria um ícone  na pasta **Report** na árvore do SolidWorks Simulation Manager.

Para editar qualquer seção do relatório, clique com o botão direito do mouse no ícone do relatório e clique em **Editar definição**. Modifique a seção e clique em **OK** para substituir o relatório existente.



## Etapa 8: Salvar o seu trabalho e sair do SolidWorks

- 1 Clique em  na barra de ferramentas Padrão ou em **Arquivo, Salvar**.
- 2 Clique em **Arquivo, Sair** no menu principal.

## Avaliação de 5 minutos

---

1 Como você inicia uma sessão do SolidWorks Simulation?

---

---

2 O que fazer se o menu do SolidWorks Simulation não estiver na barra de menus do SolidWorks?

---

---

3 Que tipos de documentos o SolidWorks Simulation pode analisar?

---

---

4 O que é análise? \_\_\_\_\_

---

5 Por que a análise é importante? \_\_\_\_\_

---

---

6 O que é estudo de análise? \_\_\_\_\_

---

7 Quais tipos de análise podem ser realizadas no SolidWorks Simulation?

---

8 O que a análise estática calcula? \_\_\_\_\_

---

9 O que é tensão? \_\_\_\_\_

---

10 Quais são as principais etapas da execução de uma análise?

---

11 Como é possível alterar o material de uma peça?

---

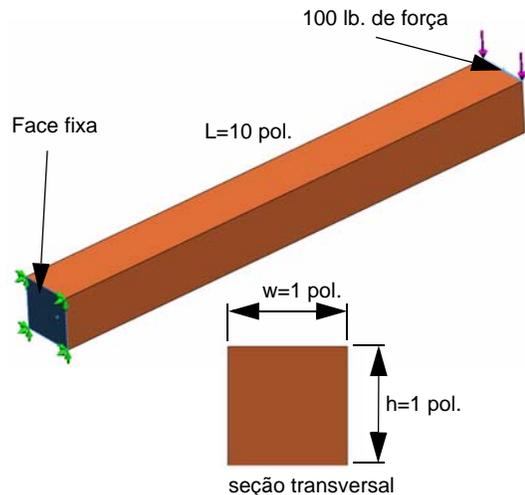
12 O assistente de Verificação de projeto mostra um fator de segurança de 0,8 em alguns locais. O projeto é seguro? \_\_\_\_\_

## Projetos – Deflexão de uma viga devido a uma força na extremidade

Alguns problemas simples têm respostas exatas. Um desses problemas é uma viga com a carga de uma força em sua extremidade, conforme mostrado na figura. Vamos usar o SolidWorks Simulation para solucionar esse problema e comparar seus resultados com a solução exata.

### Tarefas

- 1 Abra o arquivo `Front_Cantilever.sldprt` na pasta `Examples` do diretório de instalação do SolidWorks Simulation.
- 2 Meça a largura, altura e comprimento do cantiléver.
- 3 Salve a peça com outro nome.
- 4 Crie um estudo **Estático**.
- 5 Atribua **Alloy Steel** (Liga de aço) à peça. Qual é o valor do módulo elástico em psi?



- Resposta:** \_\_\_\_\_
- 6 Fixe uma das faces da extremidade da viga engastada.
  - 7 Aplique uma força para baixo, com magnitude de **100 lb.**, à borda superior da face da outra extremidade.
  - 8 Gere a malha para a peça e execute a análise.
  - 9 Faça a plotagem do deslocamento na direção Y. Qual é o deslocamento Y máximo na extremidade livre da viga engastada?

- Resposta:** \_\_\_\_\_
- 10 Calcule o deslocamento vertical teórico na extremidade livre usando a seguinte fórmula:

$$UY_{Theory} = \frac{4FL^3}{Ewh^3}$$

onde  $F$  é a força,  $L$  o comprimento da viga,  $E$  o módulo de elasticidade,  $w$  e  $h$  a largura e a altura da viga, respectivamente.

- Resposta:** \_\_\_\_\_

- 11 Calcule o erro no deslocamento vertical usando a seguinte fórmula:

$$ErrorPercentage = \left( \frac{UY_{Theory} - UY_{COSMOS}}{UY_{Theory}} \right) 100$$

- Resposta:** \_\_\_\_\_

## Lição 1 – Folha de trabalho de vocabulário

---

Nome: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

*Preencha as lacunas com as palavras apropriadas.*

- 1 A seqüência de criação de um modelo no SolidWorks, fabricação e teste de um protótipo: \_\_\_\_\_
- 2 Uma *situação hipotética* de tipo de análise, materiais, restrições e cargas: \_\_\_\_\_
- 3 O método usado pelo SolidWorks Simulation para realizar uma análise: \_\_\_\_\_
- 4 O tipo de estudo que calcula deslocamentos, deformações e tensões: \_\_\_\_\_
- 5 O processo de subdivisão do modelo em pequenas partes: \_\_\_\_\_
- 6 Pequenas partes com formas simples criadas durante a geração da malha: \_\_\_\_\_
- 7 Os elementos compartilham pontos em comum chamados: \_\_\_\_\_
- 8 A força que atua na área dividida pela área: \_\_\_\_\_
- 9 O colapso súbito de projetos delgados devido a cargas de compressão axial: \_\_\_\_\_
- 10 Um estudo que calcula a temperatura máxima de um projeto: \_\_\_\_\_
- 11 O número que fornece uma descrição geral do estado de tensão: \_\_\_\_\_
- 12 Tensões normais em planos onde as tensões de cisalhamento desaparecem: \_\_\_\_\_
- 13 Frequências nas quais um corpo tende a vibrar: \_\_\_\_\_
- 14 O tipo de análise que pode ajudar a evitar a ressonância: \_\_\_\_\_

## Lição 1 – Questionário

---

Nome: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

*Instruções: Responda às perguntas digitando as respostas corretas no espaço fornecido.*

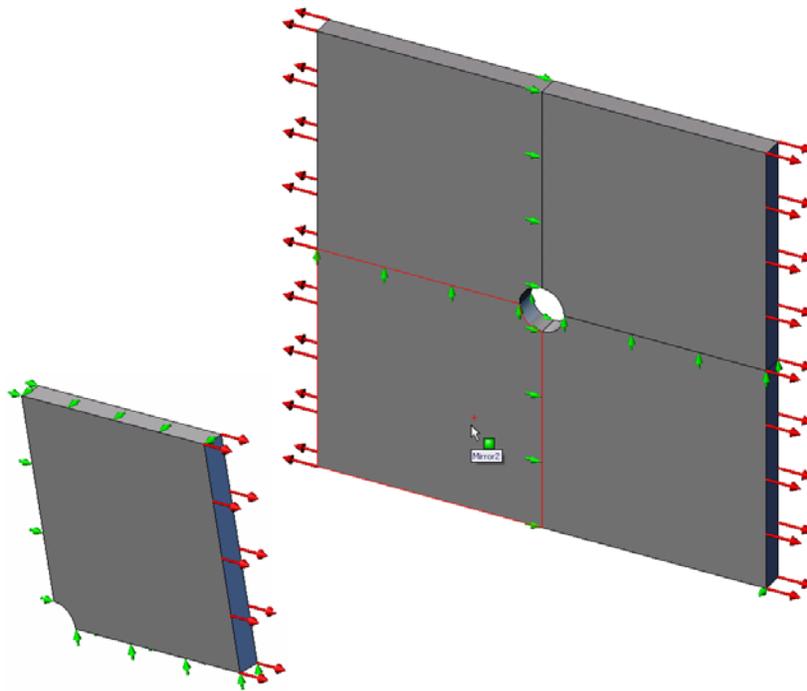
- 1 Você testa seu projeto criando um estudo. O que é estudo? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 2 Que tipos de análise o SolidWorks Simulation pode realizar? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 3 Após obter os resultados de um estudo, você muda o material, as cargas e/ou as restrições. É preciso gerar a malha novamente? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 4 Após gerar a malha de um estudo, você alterou a geometria. É preciso gerar a malha do modelo novamente? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 5 Como criar um novo estudo estático? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 6 O que é malha? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 7 Em uma montagem, quantos ícones você espera ver na pasta Solids? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



## Lição 2: Métodos adaptativos no SolidWorks Simulation

---

Após o término bem-sucedido desta lição, você será capaz de (a) usar métodos adaptativos para melhorar a exatidão dos resultados e (b) aplicar restrições de simetria para analisar um quarto do modelo original.



Você vai calcular as tensões em uma placa quadrada de 20 pol. x 20 pol. x 1 pol. com um furo de 1 pol. de raio no centro. A placa está sujeita a uma pressão de tração de 100 psi.

Você vai comparar a concentração de tensão no furo com resultados teóricos conhecidos.

## Exercício de aprendizado ativo — Parte 1

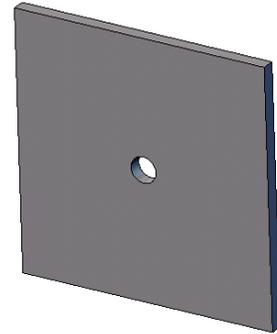
---

Use o SolidWorks Simulation para executar uma análise estática da peça `Plate-with-hole.SLDPRT` mostrada à direita.

Você vai calcular as tensões em uma placa quadrada de 20 pol. x 20 pol. x 1 pol. com um furo de 1 pol. de raio no centro. A placa está sujeita a uma pressão de tração de 100 psi.

Você vai comparar a concentração de tensão no furo com resultados teóricos conhecidos.

As instruções passo a passo são fornecidas abaixo.



### Criar um diretório `Simulationtemp`

Recomendamos salvar o `SolidWorks Simulation Education Examples` em um diretório temporário para salvar a cópia original para uso repetido.

- 1 Crie um diretório temporário denominado `Simulationtemp` na pasta `Examples` do diretório de instalação do `SolidWorks Simulation`.
- 2 Copie o diretório do `SolidWorks Simulation Education Examples` no diretório `Simulationtemp`.

### Abrir o documento `Plate-with-hole.SLDPRT`

- 1 Clique em **Abrir**  na barra de ferramentas Padrão. A caixa de diálogo **Abrir** é exibida.
- 2 Acesse a pasta `Simulationtemp` no diretório de instalação do `SolidWorks Simulation`.
- 3 Selecione `Plate-with-hole.SLDPRT`.
- 4 Clique em **Abrir**.

A peça `Plate-with-hole.SLDPRT` é aberta.

Observe que a peça tem duas configurações: (a) `Quarter plate` (Quarto de placa) e (b) `Whole plate` (Placa inteira). Certifique-se de que a configuração da `Whole plate` esteja ativa.

---

**Nota:** As configurações do documento estão listadas na guia do `ConfigurationManager`  na parte superior do painel esquerdo.

---

## Verificar o menu do SolidWorks Simulation

Se o SolidWorks Simulation estiver instalado como suplemento, o menu SolidWorks Simulation será exibido na barra de menus do SolidWorks.



Menu do SolidWorks Simulation

Caso contrário:

- 1 Clique em **Ferramentas, Suplementos**.

A caixa de diálogo **Suplementos** é exibida.

- 2 Marque as caixas de seleção ao lado de SolidWorks Simulation.

Se o SolidWorks Simulation não estiver na lista, será necessário instalar o SolidWorks Simulation.

- 3 Clique em **OK**.

O menu SolidWorks Simulation é exibido na barra de menus do SolidWorks.

## Definir as unidades de análise

Antes de começar esta lição, vamos definir as unidades da análise.

- 1 Clique em **Simulação, Opções**.
- 2 Clique na guia **Opções predeterminadas**.
- 3 Selecione **Inglês (IPS)** em **Sistema de unidades** e **pol.** e **psi** como as unidades de comprimento e tensão, respectivamente.
- 4 Clique em

## Etapa 1: Criar um estudo

A primeira etapa da execução da análise é criar um estudo.

- 1 Clique em **Simulation, Estudo** no menu principal do SolidWorks na parte superior da tela.

O PropertyManager de **Estudo** é exibido.

- 2 Em **Nome**, digite `Whole plate` (Placa inteira).

- 3 Em **Tipo**, selecione **Estático**.

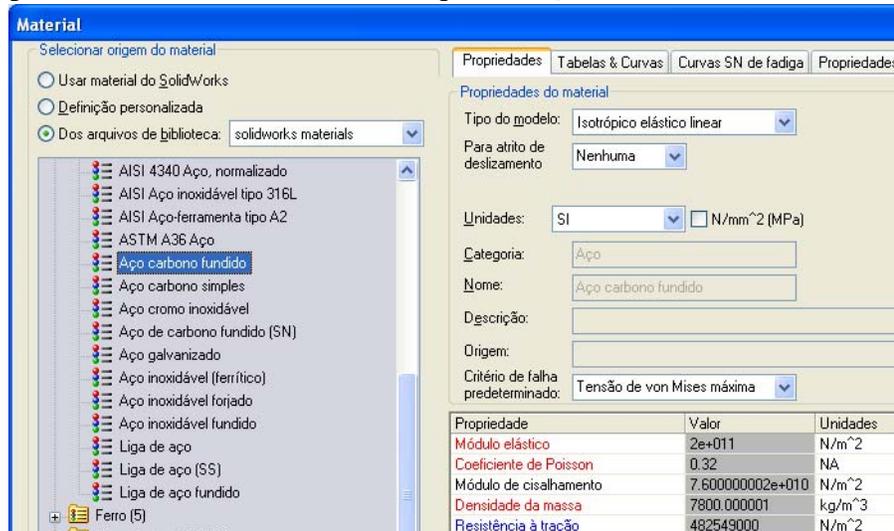
- 4 Clique em .

O SolidWorks Simulation cria uma árvore de estudo do Simulation localizada abaixo da árvore de projeto do FeatureManager.

## Etapa 2: Atribuir material

### Atribuir Liga de aço

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta **Plate-with-hole** e clique em **Aplicar material a todos**.



A caixa de diálogo **Material** é exibida.

- 2 Em **Selecionar a origem do material**:
  - a) Selecione **De arquivos de biblioteca**.
  - b) Selecione **solidworks materials** (materiais do solidworks) como a biblioteca de materiais.
  - c) Clique no sinal de mais ao lado da categoria de materiais **Aço** e selecione **Liga de aço**.

---

**Nota:** As propriedades mecânicas e físicas da liga de aço são exibidas na tabela da direita.

---

- 3 Clique em **OK**.

### Etapa 3: Aplicar restrições

Você aplica restrições para evitar rotações para fora do plano e movimentos livres do corpo.

- 1 Pressione a barra de espaço e selecione **\*Trimétrica** no menu **Orientação**.

A orientação do modelo é mostrada na figura.

- 2 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse em **Fixtures** (Acessórios de fixação) e clique em **Acessórios de fixação avançados**.

O PropertyManager de **Acessórios de fixação** é exibido.

- 3 Certifique-se de que **Tipo** está configurado como **Usar geometria de referência**.

- 4 Na área de gráficos, selecione as 8 arestas mostradas na figura.

Edge<1> a Edge<8> são exibidas na caixa **Faces, Arestas, Vértices para restrição**.

- 5 Clique na caixa **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção** e selecione **Plane1** na árvore flyout do FeatureManager.

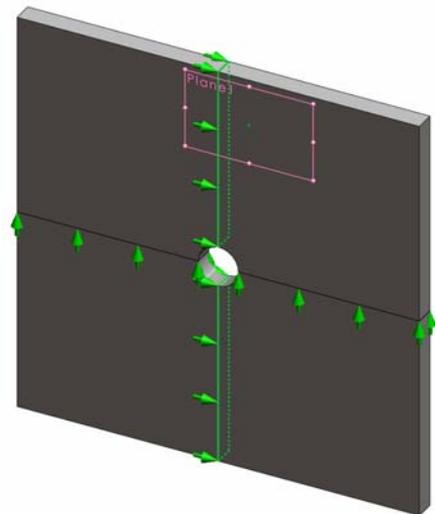
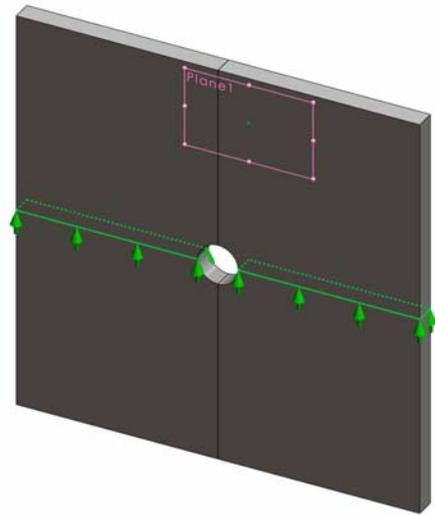
- 6 Em **Translações**, selecione **Ao longo do plano Dir 2**.

- 7 Clique em .

As restrições são aplicadas e seus símbolos aparecem nas arestas selecionadas.

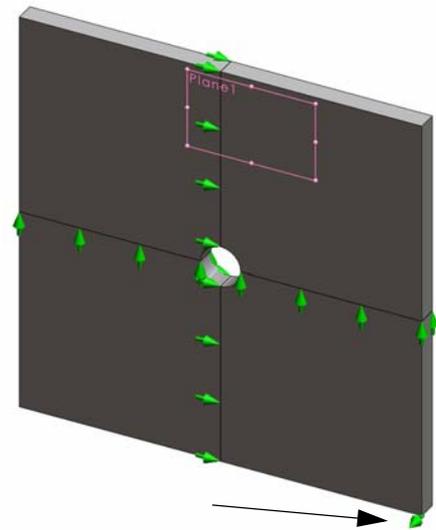
Além disso, um ícone de restrição  (Fixture-1) é exibido na pasta **Fixtures**.

De maneira similar, execute as Etapas 2 a 7 para aplicar restrições aos conjuntos de arestas verticais, como mostrado na figura, para restringir as 8 arestas **Ao longo do plano Dir 1**  do **Plano1**.



Para impedir o deslocamento do modelo na direção global Z, deve-se definir uma restrição no vértice mostrado na figura abaixo.

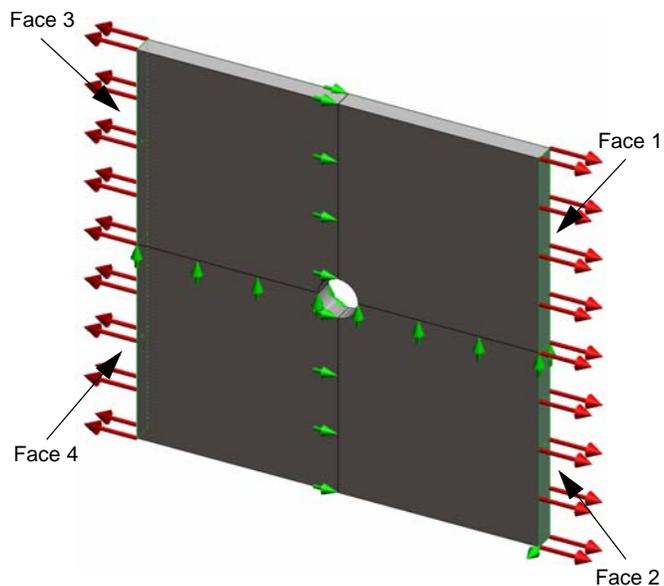
- 1 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse na pasta **Fixtures** e clique em **Acessórios de fixação avançados**.  
O PropertyManager de **Acessórios de fixação** é exibido.
- 2 Certifique-se de que **Tipo** está configurado como **Usar geometria de referência**.
- 3 Na área de gráficos, clique no vértice mostrado na figura.  
**Vertex<1>** aparece na caixa **Faces, Arestas, Vértices para restrição**.
- 4 Clique na caixa **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção** e selecione **Plane1** na árvore flyout do FeatureManager.
- 5 Em **Translações**, selecione **Normal ao plano** .
- 6 Clique em .



#### Etapa 4: Aplicar pressão

Você aplica uma pressão de 100 psi normal às faces, como mostra a figura.

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta **External Loads** e clique em **Pressão**.  
O PropertyManager de **Pressão** é exibido.
- 2 Em **Tipo**, selecione **Normal à face selecionada**.
- 3 Na área de gráficos, selecione as quatro faces mostradas na figura.  
**Face<1>** a **Face<4>** aparecem na caixa de lista **Faces para pressão**.
- 4 Certifique-se de que **Unidades** esteja definida como **Inglês (psi)**.
- 5 Na caixa **Valor da pressão** , digite **100**.
- 6 Marque a caixa **Inverter direção**.
- 7 Clique em .



O SolidWorks Simulation aplica a pressão normal às faces selecionadas, e o ícone **Pressure-1**  é exibido na pasta **External Loads**.

#### Para ocultar símbolos de restrições e cargas

Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta **Fixtures** ou **External Loads** e clique em **Ocultar todos**.

### Etapa 5: Geração da malha do modelo e execução do estudo

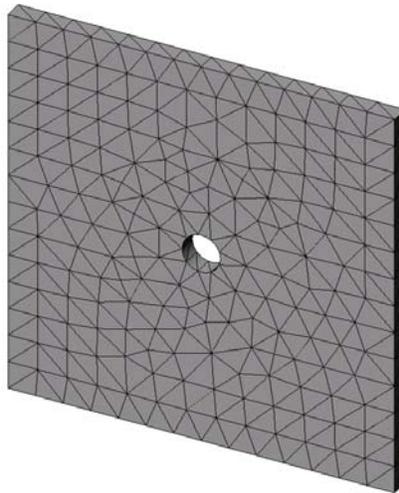
A geração de malha divide o modelo em partes menores chamadas elementos. Com base nas dimensões geométricas do modelo, o SolidWorks Simulation sugere um tamanho predeterminado de elemento que pode ser alterado conforme necessário.

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse no ícone Mesh e selecione **Criar malha**.  
O PropertyManager de **Malha** é exibido.
- 2 Expanda **Parâmetros de malha** marcando a caixa de seleção.  
Certifique-se de que **Malha padrão** esteja selecionado e **Transição automática** não esteja marcada.
- 3 Digite **1,5** (polegadas) para o **Tamanho global**  e aceite a **Tolerância**  sugerida pelo programa.
- 4 Marque **Executar (solucionar) a análise** em **Opções** e clique em .

---

**Nota:** Para visualizar a plotagem da malha, clique com o botão direito do mouse na pasta Mesh e selecione **Exibir malha**.

---



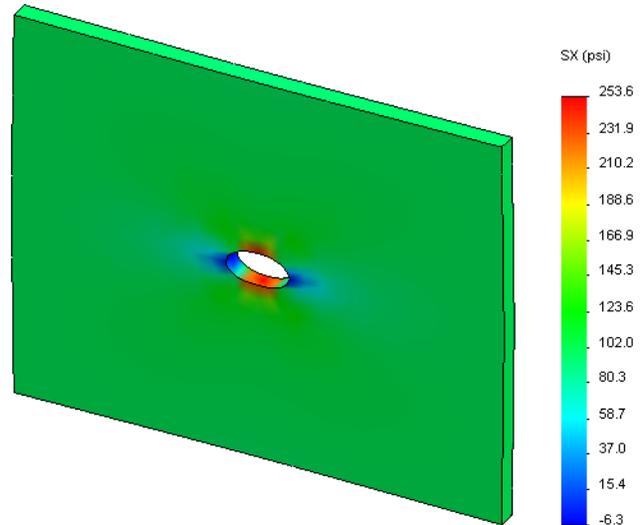
### Etapa 6: Visualizar os resultados

**Tensão normal na direção global X.**

- 1 Clique com o botão direito do mouse na pasta Results  e selecione **Definir plotagem de tensão**.  
O PropertyManager de **Plotagem de tensão** é exibido.
- 2 Em **Exibir**.
  - a) Selecione **SX: Tensão normal em X** no campo **Componente**.
  - b) Selecione **psi** para **Unidades**.
- 3 Clique em .

A tensão normal na plotagem da direção X é exibida.

Observe a concentração de tensões na área em torno do furo.



### Etapa 7: Verificar os resultados

A tensão normal máxima  $\sigma_{\text{máx.}}$  para uma placa com seção transversal retangular e furo central circular é obtida por:

$$\sigma_{\text{max}} = k \cdot \left( \frac{P}{t(D-2r)} \right)$$

$$k = 3,0 - 3,13 \left( \frac{2r}{D} \right) + 3,66 \left( \frac{2r}{D} \right)^2 - 1,53 \left( \frac{2r}{D} \right)^3$$

onde:

D = largura da placa = 20 pol.

r = raio do furo = 1 pol.

t = espessura da placa = 1 pol.

P = Força de tração axial = Pressão \* (D \* t)

O valor analítico para a tensão máxima normal é  $\sigma_{\text{máx.}} = 302,452$  psi

O resultado do SolidWorks Simulation, sem usar métodos adaptativos, é SX = 253,6 psi.

Esse resultado varia cerca de 16,1% em relação à solução teórica. Em breve, você verá que esse desvio significativo pode ser atribuído ao espaçamento da malha.

## Exercício de aprendizado ativo — Parte 2

Na segunda parte do exercício, você vai modelar um quarto da placa com a ajuda das restrições de simetria.

**Nota:** As restrições de simetria podem ser usadas para analisar apenas uma parte do modelo. Essa abordagem pode poupar um tempo considerável de análise, particularmente se você estiver trabalhando com grandes modelos.

As condições de simetria exigem que a geometria, as cargas, as propriedades do material e as restrições sejam iguais em todo o plano de simetria.

### Etapa 1: Ativar a nova configuração

1 Clique na guia do ConfigurationManager .

2 Na árvore do **Configuration Manager**, clique duas vezes no ícone do Quarter plate.

A configuração do Quarter plate será ativada.

3 O modelo do quarto da placa aparece na área de gráficos.



**Nota:** Para acessar um estudo associado a uma configuração inativa, clique com o botão direito do mouse no seu ícone e selecione **Ativar configuração do SW**.

### Etapa 2: Criar um estudo

O novo estudo criado se baseia na configuração ativa do Quarter plate.

1 Clique em **Simulation, Estudo** no menu principal do SolidWorks na parte superior da tela.

O PropertyManager de **Estudo** é exibido.

2 Em **Nome**, digite Quarter plate.

3 Em **Tipo**, selecione **Estático**.

4 Clique em .

O SolidWorks Simulation cria uma árvore representativa do estudo em uma guia na parte inferior da tela.



### Etapa 3: Atribuir material

Execute o procedimento descrito na Etapa 2 da Parte 1 para atribuir o material **Liga de aço**.

### Etapa 4: Aplicar restrições

Você aplica restrições nas faces da simetria.

- 1 Use as teclas de **setas** para girar o modelo, conforme mostrado na figura.
- 2 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse em **Fixtures** (Acessórios de fixação) e selecione **Acessórios de fixação avançados**.

O PropertyManager de **Acessórios de fixação** é exibido.

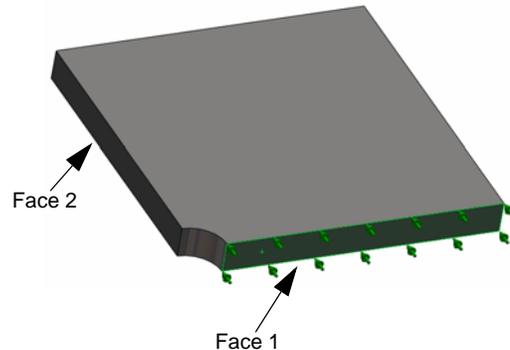
- 3 Configure **Tipo** como **Simetria**.
- 4 Na área de gráficos, clique na **Face 1** mostrada na figura.

**Face<1>** aparece na caixa **Faces, Arestas, Vértices para restrição**.

- 5 Clique em .

De maneira similar, aplique a restrição de **Simetria** à **Face 2**.

A seguir, restrinja a aresta superior da placa para impedir o deslocamento na direção global Z.



#### Para restringir a aresta superior:

- 1  Na árvore de estudo do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta **Fixtures** e clique em **Acessórios de fixação avançados**.

Defina o **Tipo** como **Usar geometria de referência**.

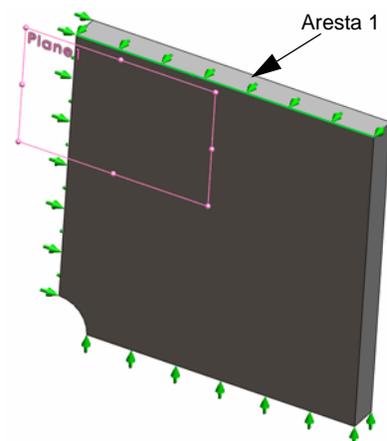
- 2 Na área de gráficos, clique na aresta superior da placa, como mostra a figura.

**Aresta<1>** aparece na caixa **Faces, Arestas, Vértices para restrição**.

- 3 Clique na caixa **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção** e selecione **Plane1** na árvore flyout do FeatureManager.

- 4 Em **Translações**, selecione **Normal ao plano** . Certifique-se de que os outros dois componentes estejam desativados.

- 5 Clique em .

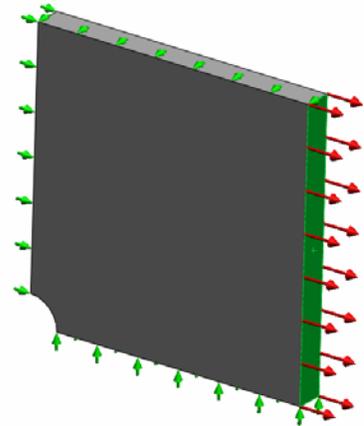


Após aplicar todas as restrições, três ícones de restrição,  (**Fixture-1**),  (**Fixture-2**) e  (**Fixture-3**) aparecem na pasta **Fixtures**.

### Etapa 5 Aplicar pressão

Você aplica uma pressão de 100 psi como mostrado na figura abaixo:

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta External Loads e selecione **Pressão**.  
O PropertyManager de **Pressão** é exibido.
- 2 Em **Tipo**, selecione **Normal à face selecionada**.
- 3 Na área de gráficos, selecione a face mostrada na figura.  
Face<1> é exibida na caixa de listagem **Faces para pressão**.
- 4 Defina **Unidades**  como **psi**.
- 5 Na caixa **Valor da pressão** , digite **100**.
- 6 Marque a caixa **Inverter direção**.
- 7 Clique em .

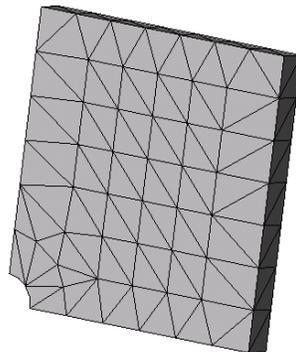


O SolidWorks Simulation aplica a pressão normal à face selecionada, e o ícone Pressure-1  é exibido na pasta External Loads.

### Etapa 6 Gerar malha para o modelo e executar a análise

Aplice as mesmas configurações de malha após o procedimento descrito na Etapa 5 da Parte 1, Geração da malha do modelo e execução do estudo, na página 2-7. Em seguida, **Execute** a análise.

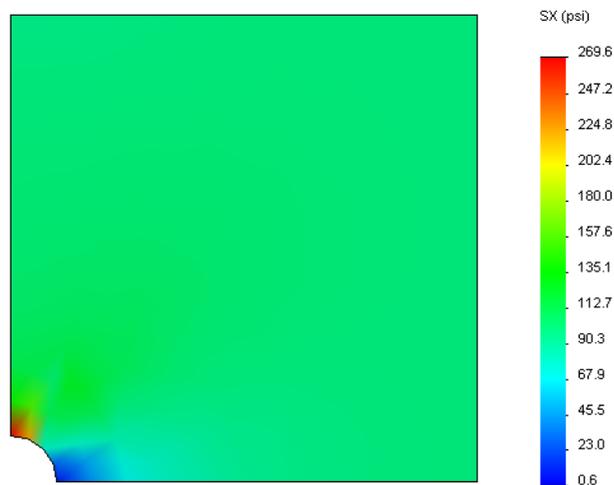
A plotagem do modelo é mostrada na figura.



### Etapa 7 Exibição das tensões normais na direção global X

- 1 Na árvore do estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse na pasta Results  e selecione **Definir plotagem de tensão**.
- 2 No PropertyManager de **Plotagem de tensão**, em **Exibir**:
  - a) Selecione **SX: Tensão normal em X**.
  - b) Selecione **psi** em **Unidades**.
- 3 Em **Forma deformada**, selecione **Escala real**.
- 4 Em **Propriedade**:
  - a) Selecione **Associar plotagem com orientação de vista nomeada**.
  - b) Selecione **\*Frontal** no menu.
- 5 Clique em .

A tensão normal na direção X é exibida na forma deformada real da placa.



### Etapa 8 Verificar os resultados

Para o modelo do quarto, a tensão máxima normal SX é de 269,6 psi. Esse resultado se compara aos da placa inteira.

Esse resultado varia cerca de 10,8% em relação à solução teórica. Como foi mencionado na conclusão da Parte 1 desta lição, você verá que esse desvio pode ser atribuído ao espaçamento da malha computacional. É possível aprimorar a exatidão usando um tamanho de elemento menor manualmente ou usando métodos adaptativos automáticos.

Na Parte 3, você vai utilizar o método adaptativo h para melhorar a exatidão.

## Exercício de aprendizado ativo — Parte 3

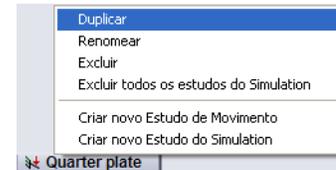
Na terceira parte do exercício, você aplicará o método adaptativo h para solucionar o mesmo problema da configuração do Quarter plate.

Para demonstrar a capacidade do método adaptativo h, primeiro vamos aplicar ao modelo uma malha com elementos de grande tamanho; em seguida, você vai observar como o método h altera o tamanho da malha para melhorar a exatidão dos resultados.

### Etapa 1 Definir um novo estudo

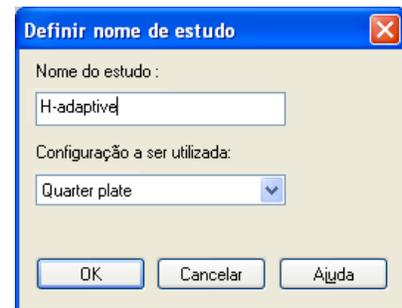
Você criará um novo estudo duplicando o estudo anterior.

- 1 Clique com o botão direito do mouse no estudo Quarter plate na parte inferior da tela e selecione **Duplicar**.



A caixa de diálogo **Definir nome do estudo** é exibida.

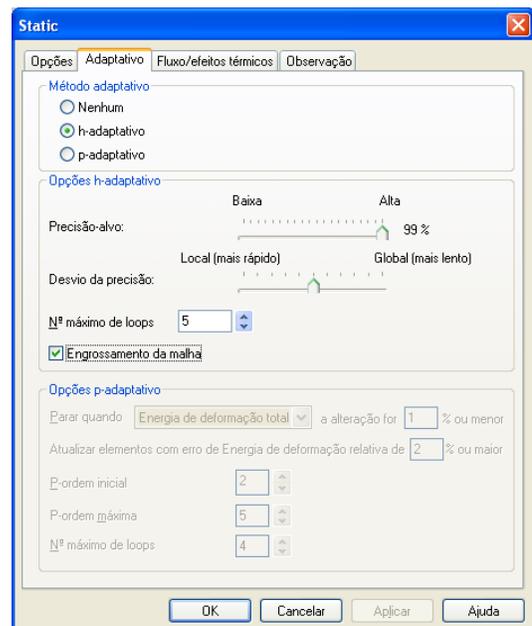
- 2 Na caixa **Nome do estudo**, digite H-adaptive (Adaptativo h).
- 3 Em **Configuração a ser utilizada**: selecione **Quarter plate**.
- 4 Clique em **OK**.



### Etapa 2 Definir os parâmetros adaptativos h

- 1 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse em H-adaptive e selecione **Propriedades**.
- 2 Na caixa de diálogo, na guia **Opções**, selecione **FFEPlus** em **Solver**.
- 3 Na guia **Adaptativo**, em **Método adaptativo**, selecione **adaptativo h**.
- 4 Em **Opções p-adaptativo**, faça o seguinte:
  - a) Mova o controle deslizante de **Precisão alvo** até **99%**.
  - b) Defina o **Nº máximo de loops** como **5**.
  - c) Marque **Malha sem refinamento**.
- 5 Clique em **OK**.

**Nota:** Ao duplicar o estudo, todas as pastas do estudo original são copiadas para o novo. Desde que as propriedades do novo estudo permaneçam as mesmas, não é preciso redefinir propriedades de material, cargas, restrições, etc.



### Etapa 3: Gerar novamente a malha para o modelo e executar o estudo

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse no ícone Mesh e selecione **Criar malha**.

Aparece uma mensagem advertindo que refazer a geração de malha vai excluir os resultados do estudo.

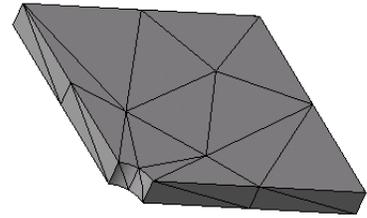
- 2 Clique em **OK**.

O PropertyManager de **Malha** é exibido

- 3 Digite **5,0** (polegadas) para o **Tamanho global**  e aceite a **Tolerância**  sugerida pelo programa.

Esse valor grande do tamanho global do elemento é usado para demonstrar como o método adaptativo h refina a malha para oferecer resultados exatos.

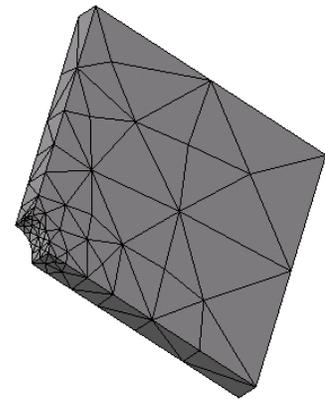
- 4 Clique em . A imagem acima mostra a malha larga inicial.
- 5 Clique com o botão direito do mouse no ícone **Adaptativo h** e selecione **Executar**.



### Etapa 4: Exibir resultados

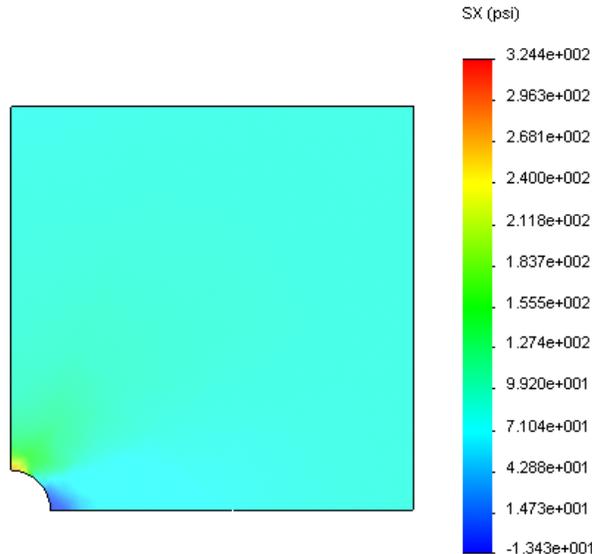
A aplicação do método adaptativo h reduz o tamanho da malha original. Observe a transição do tamanho da malha, do tamanho grande (limites da placa) até o tamanho menor, na posição do furo central.

Para visualizar a malha convertida, clique com o botão direito do mouse no ícone Mesh e selecione **Exibir malha**.



### Visualizar tensão normal na direção global X

Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique duas vezes na plotagem **Stress2 (X-normal)** na pasta Results .



O valor analítico para a tensão máxima normal é  $\sigma_{\text{máx.}} = 302,452 \text{ psi}$ .

No resultado do SolidWorks Simulation, com a aplicação do método adaptativo h,  $SX = 322,4 \text{ psi}$ , que está mais próximo da solução analítica (erro aproximado: 6,6%).

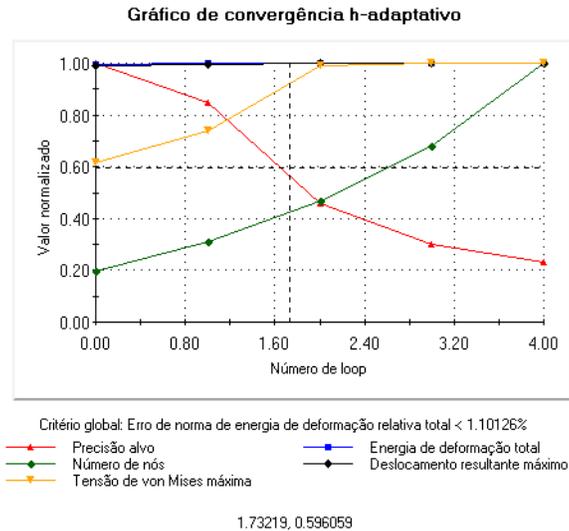
---

**Nota:** A exatidão desejada, estabelecida nas propriedades do estudo (no caso 99%), não significa que as tensões resultantes estejam dentro do erro máximo de 1%. No método de elementos finitos, medições de outros fatores que não sejam tensão são usadas para avaliar a exatidão da solução. Entretanto, podemos concluir que o refinamento da malha pelo método adaptativo aumenta a exatidão da solução.

---

### Etapa 9 Exibição de gráficos de convergência

- 1 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse na pasta Results  e selecione **Definir gráfico de convergência adaptativa**.
- 2 No PropertyManager, marque todas as opções e clique em .  
O gráfico de convergência de todas as quantidades selecionadas será exibido.



---

**Nota:** Para aprimorar ainda mais a exatidão da solução, é possível continuar com as iterações adaptativas h executando estudos subseqüentes. Cada estudo subseqüente usa a malha final da última iteração realizada na execução anterior como malha inicial da nova execução. Para tentar isso, **Execute** o estudo H-adaptive novamente.

---

## Avaliação de 5 minutos

---

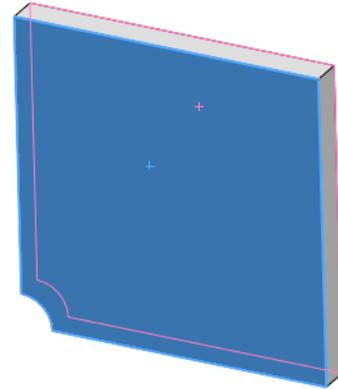
- 1 Se você modificar o material, as cargas ou as restrições, os resultados se tornam inválidos, mas por que a malha não? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 2 Alterar uma dimensão invalida a malha atual? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 3 Como se ativa uma configuração? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 4 O que é movimento de corpo rígido? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 5 O que é método adaptativo h e em que tipo de estudo ele pode ser usado? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 6 Qual é a vantagem de usar o método adaptativo h para aprimorar a exatidão em vez do método do controle de malha? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 7 O número de elementos muda nas iterações do método adaptativo p? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Projetos — Modelagem de um quarto de placa com malha de casca

Use a malha de casca para resolver o modelo de um quarto de placa. Você vai aplicar controle de malha para aprimorar a exatidão dos resultados.

### Tarefas

- 1 Clique em **Inserir, Superfície, Superfície média** no menu principal do SolidWorks na parte superior da tela.
- 2 Selecione as superfícies frontal e traseira da placa, como indicado.
- 3 Clique em **OK**.
- 4 Crie um estudo **Estático**.
- 5 Expanda a pasta `Plate-with-hole`, clique com o botão direito do mouse em `SolidBody` e selecione **Excluir da análise**.
- 6 Na árvore de projeto do FeatureManager, expanda a pasta `Solid Bodies` e oculte o corpo sólido existente.
- 7 Defina casca de **1 pol.** (formulação **Fina**). Para fazer isso:
  - a) Clique com o botão direito do mouse em `SurfaceBody` na pasta `Plate-with-hole` da árvore de estudo do Simulation e selecione **Editar definição**.
  - b) No PropertyManager de **Definição de casca**, selecione **pol.** e digite **1 pol.** como **Espessura de casca**.
  - c) Clique em .
- 8 Atribua **Liga de aço** à casca. Para fazer isso:
  - a) Clique com o botão direito do mouse na pasta `Plate-with-hole` e selecione **Aplicar material a todos**.
  - b) Selecione **Dos arquivos de biblioteca** e selecione o material **Liga de aço**.
  - c) Clique em .
- 9 Aplique restrições de simetria às duas arestas mostradas na figura.

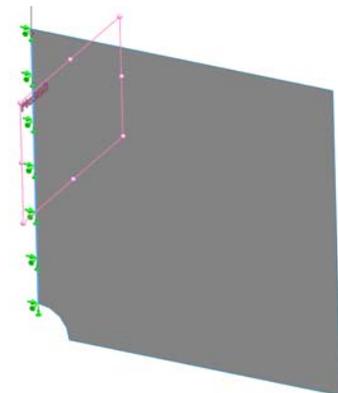



---

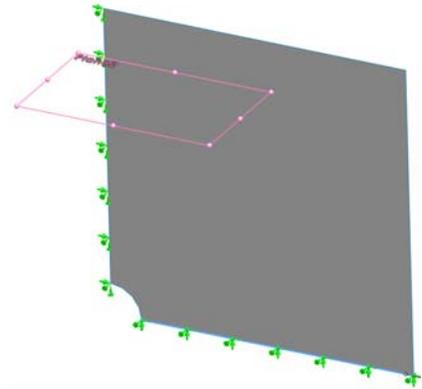
**Nota:** Para uma malha de casca, é suficiente restringir uma aresta em vez da face.

---

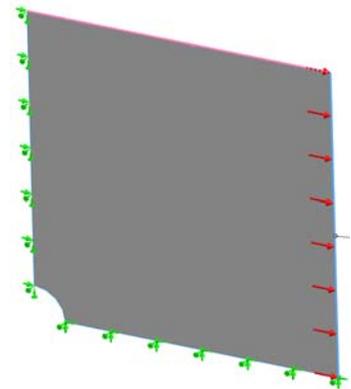
- a) Clique com o botão direito do mouse em `Fixtures` e selecione **Acessórios de fixação avançados**.
- b) No campo **Faces, Arestas, Vértices para restrição**, selecione a aresta indicada na figura.
- c) No campo **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção**, selecione `Plane3`.
- d) Restrinja a translação **Normal ao plano** e as rotações **Ao longo do plano Dir 1** e **Ao longo do plano Dir 2**.
- e) Clique em .



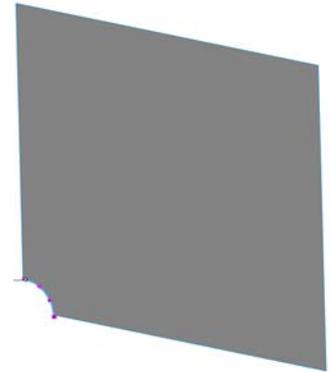
- 10 Usando procedimento idêntico, aplique uma restrição de simetria à outra aresta mostrada na figura. Desta vez, use o recurso **Plane2** para o campo **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção**.



- 11 Aplique **100 psi** de **Pressão** à aresta mostrada na figura.
- Clique com o botão direito do mouse na pasta **External Loads** e selecione **Pressão**.
  - Em **Tipo**, selecione **Usar geometria de referência**.
  - No campo **Faces, Arestas para pressão**, selecione a aresta vertical mostrada na figura.
  - No campo **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção**, selecione a aresta indicada na figura.
  - Especifique **100 psi** no diálogo **Valor da pressão**.
  - Clique em .



- 12 Aplique controle de malha à aresta mostrada na figura. Usar um tamanho menor de elemento melhora a exatidão.



- 13 Gere a malha para a peça e execute a análise.
- 14 Faça a plotagem da tensão na direção X. Qual é a tensão SX máxima?
- Resposta:** \_\_\_\_\_
- 15 Calcule o erro na tensão normal SX usando a seguinte fórmula:

$$ErrorPercentage = \left( \frac{SX_{Theory} - SX_{COSMOS}}{SX_{Theory}} \right) 100$$

**Resposta:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Lição 2 – Folha de trabalho de vocabulário

---

Nome: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

*Preencha as lacunas com as palavras apropriadas.*

1 Método que aprimora os resultados de tensões através do refinamento automático da malha em regiões de concentração de tensões:

\_\_\_\_\_

2 Método que aprimora os resultados de tensões através do aumento da ordem polinomial:

\_\_\_\_\_

3 O tipo de grau de liberdade que possui o nó de um elemento tetraédrico:

\_\_\_\_\_

4 Os tipos de grau de liberdade que possuem o nó de um elemento de casca:

\_\_\_\_\_

5 Material com propriedades elásticas iguais em todas as direções:

\_\_\_\_\_

6 Tipo de malha apropriado para modelos volumosos:

\_\_\_\_\_

7 Tipo de malha apropriado para modelos finos:

\_\_\_\_\_

8 Tipo de malha apropriado para modelos com peças finas e peças volumosas:

\_\_\_\_\_

## Lição 2 – Questionário

---

Nome: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

*Instruções: Responda às perguntas digitando as respostas corretas no espaço fornecido.*

1 Quantos nós existem em elementos de casca com alta qualidade e qualidade de rascunho? \_\_\_\_\_

2 Alterar a espessura de uma casca exige que a malha seja refeita?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3 O que são métodos adaptativos e qual é a idéia básica de sua formulação?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4 Qual é a vantagem de usar múltiplas configurações no seu estudo?  
\_\_\_\_\_

5 Como você pode criar rapidamente um novo estudo com pequenas diferenças em relação a um estudo existente?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

6 Quando não há métodos adaptativos disponíveis, como você pode ter confiança nos resultados? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

7 Em que ordem o programa calcula as tensões, os deslocamentos e as deformações?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

8 Em uma solução adaptativa, qual quantidade converge mais rápido: deslocamento ou tensão?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

