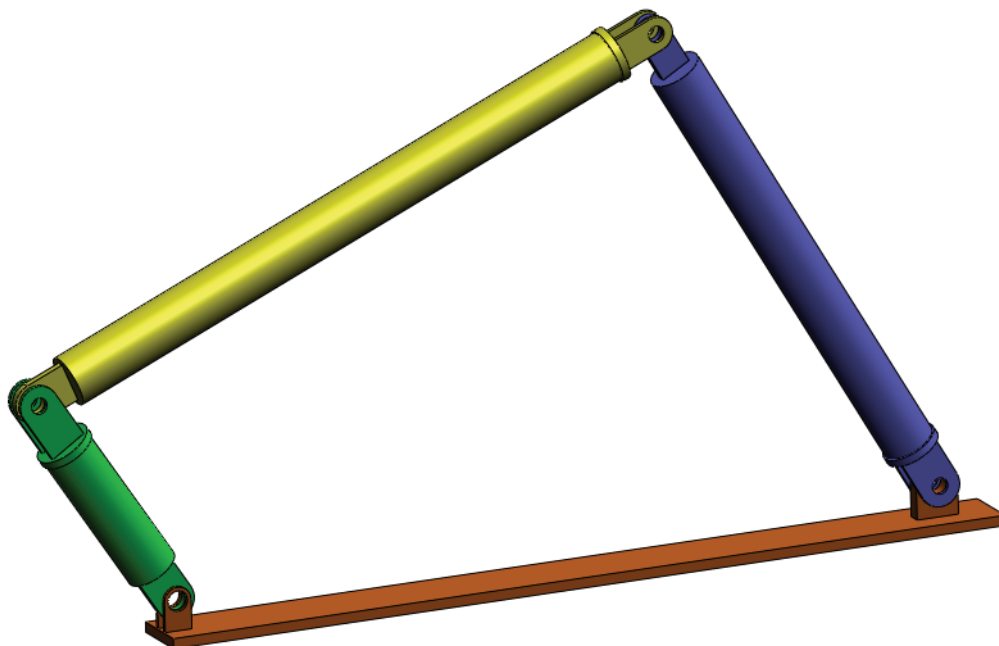




*Série de Projeto de  
Engenharia e Tecnologia*

# **Uma introdução a aplicações de análise de movimento com o SolidWorks Motion, Manual do Instrutor**



Dassault Systèmes SolidWorks Corporation  
300 Baker Avenue  
Concord, Massachusetts 01742 EUA  
Telephone: +1-800-693-9000

Fora dos EUA: +1-978-371-5011  
Fax: +1-978-371-7303  
E-mail: [info@solidworks.com](mailto:info@solidworks.com)  
Web: <http://www.solidworks.com/education>

© 1995-2010, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, uma empresa da Dassault Systèmes S.A., 300 Baker Avenue, Concord, Mass. 01742 EUA. Todos os direitos reservados.

As informações e o software discutidos neste documento estão sujeitos a modificações sem aviso e não constituem compromissos da Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks).

Nenhum material pode ser reproduzido ou transmitido sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, para qualquer finalidade, sem a expressa permissão por escrito da DS SolidWorks.

O software abordado neste documento é fornecido sob licença e poderá ser utilizado ou copiado apenas de acordo com os termos da licença. Todas as garantias fornecidas pela DS SolidWorks referentes a software e documentação estão estabelecidas no contrato de licença, e nada que estiver declarado ou implícito neste documento ou seu conteúdo deve ser considerado ou julgado como modificações ou alterações de nenhuma cláusula do contrato de licença, incluindo garantias.

### **Comunicados de patentes**

O software de CAD mecânico 3D SolidWorks® é protegido pelas patentes nos EUA 5.815.154; 6.219.049; 6.219.055; 6.611.725; 6.844.877; 6.898.560; 6.906.712; 7.079.990; 7.477.262; 7.558.705; 7.571.079; 7.590.497; 7.643.027; 7.672.822; 7.688.318; 7.694.238; 7.853.940; e patentes no exterior (p. ex., EP 1.116.190 e JP 3.517.643).

O software eDrawings® é protegido pelas patentes nos EUA 7.184.044 e 7.502.027; e pela patente canadense 2.318.706.

Patentes pendentes nos EUA e no exterior.

### **Marcas comerciais e nomes de produtos e serviços da SolidWorks**

SolidWorks, 3D PartStream.NET, 3D ContentCentral, eDrawings e o logotipo eDrawings são marcas registradas, e FeatureManager é uma marca registrada de copropriedade da DS SolidWorks.

CircuitWorks, Feature Palette, FloXpress, PhotoWorks, TolAnalyst e XchangeWorks são marcas comerciais da DS SolidWorks.

FeatureWorks é uma marca registrada da Geometric Software Solutions Ltd.

SolidWorks 2011, SolidWorks Enterprise PDM, SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation e eDrawings Professional são nomes de produtos da DS SolidWorks.

Outras marcas ou nomes de produtos são marcas comerciais ou registradas de seus respectivos proprietários.

### **SOFTWARE COMERCIAL PARA COMPUTADORES - EXCLUSIVO**

Direitos restritos do Governo dos Estados Unidos. O uso, duplicação ou divulgação pelo governo estão sujeitos às restrições estabelecidas em FAR 52.227-19 (Commercial Computer Software - Restricted Rights), DFARS 227.7202 (Commercial Computer Software and Commercial Computer Software Documentation) e no acordo de licença, conforme aplicável.

Contratante/Fabricante:

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

### **Comunicados de direitos autorais para os produtos SolidWorks Standard, Premium, Professional e produtos de ensino**

Partes deste software © 1986-2010 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Todos os direitos reservados.

Partes deste software © 1986-2010 Siemens Industry Software Limited. Todos os direitos reservados.

Partes deste software © 1998-2010 Geometric Ltd.

Partes deste software © 1996-2010 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

Partes deste software incorporam o PhysX™ da NVIDIA 2006-2010.

Partes deste software © 2001 - 2010 Luxology, Inc. Todos os direitos reservados. Patentes pendentes.

Partes deste software © 2007 - 2010 DriveWorks Ltd.

Copyright 1984-2010 Adobe Systems Inc. e seus licenciados. Todos os direitos reservados. Protegidos pelas patentes nos EUA 5.929.866; 5.943.063; 6.289.364; 6.563.502; 6.639.593; 6.754.382; patentes pendentes.

Adobe, o logotipo Adobe, Acrobat, o logotipo Adobe PDF, Distiller e Reader são marcas registradas ou marcas comerciais da Adobe Systems Inc. nos EUA e em outros países.

Para obter mais informações a respeito de direitos autorais, consulte na Ajuda > Sobre o SolidWorks.

### **Comunicados de direitos autorais para produtos SolidWorks Simulation**

Partes deste software © 2008 Solversoft Corporation.

PCGLSS © 1992-2007 Computational Applications and System Integration, Inc. Todos os direitos reservados.

### **Comunicados de direitos autorais para o produto Enterprise PDM**

Tecnologia Outside In® Viewer, © Copyright 1992-2010, Oracle

© Copyright 1995-2010, Oracle. Todos os direitos reservados.

Partes deste software © 1996-2010 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

### **Comunicados de direitos autorais para produtos eDrawings**

Partes deste software © 2000-2010 Tech Soft 3D.

Partes deste software © 1995-1998 Jean-Loup Gailly e Mark Adler.

Partes deste software © 1998-2001 3Dconnexion.

Partes deste software © 1998-2010 Open Design Alliance. Todos os direitos reservados.

Partes deste software © 1995-2009 Spatial Corporation.

Este software é baseado em parte no trabalho do Independent JPEG Group.

## Introdução

---

### Ao instrutor:

---

Este documento apresenta aos usuários do SolidWorks o SolidWorks Motion Simulation, um pacote de software que trata de cinemática e dinâmica de corpos rígidos. As metas específicas desta lição são:

- 1 apresentar os conceitos básicos da análise da cinemática e da dinâmica de corpos rígidos e seus benefícios.
- 2 demonstrar a facilidade de uso e o processo conciso para realização dessas análises.
- 3 apresentar as regras básicas da análise da cinemática e da dinâmica de corpos rígidos.

Este documento é estruturado de maneira semelhante às lições do Manual do Instrutor do SolidWorks. Esta lição possui páginas correspondentes no *Livro de Exercícios do SolidWorks Motion Simulation*.

---

**Nota:** Esta lição não pretende ensinar todos os recursos do SolidWorks Motion Simulation. Ela se destina a apresentar os conceitos básicos e as regras para realização de análise da cinemática e da dinâmica de corpos rígidos, mostrar a facilidade de uso e a concisão do processo envolvido.

---

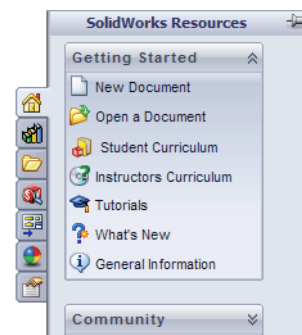
### DVD com Currículo e Software de Ensino do Curso da Edição Educacional

---

Este curso fornece um DVD com *Currículo e Software de Ensino da Edição Educacional*.

A instalação do DVD cria uma pasta denominada `SolidWorks Curriculum_and_Courseware_2011`. Esta pasta contém diretórios do curso e vários outros.

Materiais do curso para os alunos também podem ser obtidos por download na SolidWorks. Clique na guia Recursos do SolidWorks no Painel de tarefas e selecione Currículo do Aluno.



Clique duas vezes no curso de que deseja fazer download. Pressione a tecla Control e selecione o curso para fazer download do respectivo arquivo ZIP. O arquivo Lessons contém as partes necessárias para concluir as lições. O Student Guide contém o arquivo PDF do curso.

Materiais do curso para os professores também podem ser obtidos por download no site da SolidWorks. Clique na guia Recursos do SolidWorks no Painel de tarefas e selecione Currículos dos Instrutores. Isso permitirá que acesse a página Recursos do educador mostrada a seguir.

Home > Support > Learning Resources > Educator Resources\*

### Educator Resources\*

Educator references including lesson plans, PowerPoint presentations, student goals, vocabulary, and student assessments. These materials are provided in a combination of project-based and topic-based formats.

**Note:** These Educator Resources are for SolidWorks 2010. For SolidWorks 2009 resources, [click here](#).

**EDU Curriculum Introduction (2010)**  
Overview of the guides and resources listed below.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Curriculum introduction		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resources		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**SolidWorks Teacher Guide (2010)**  
Includes lesson plans, presentations, student goals, vocabulary, and assessments.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	NOR	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Student SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teacher SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Instructor Presentation		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

**Sustainability Project (2010)**  
Perform life cycle assessment.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook		X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Presentation		X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X

**SolidWorks® Simulation Educator Guide (2010)**  
An introduction to the principles of analysis using SolidWorks Simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-

**SolidWorks® Flow Simulation Educator Guide (2010)**  
An introduction to the principles of fluid flow analysis using SolidWorks Flow Simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Presentation		X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Lesson files		X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-

**SolidWorks® Motion Educator Guide (2010)**  
From dynamics to kinematics, incorporate theory through virtual simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-

Back to top

**SAE Car Project (2010)**  
Design and Analyze Parts and Assemblies for Racing Competitions.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Student files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Bridge Design Project (2010)**  
Use SolidWorks Simulation to analyze different loading conditions of the bridge.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook		X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-
Student files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Presentation		X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-

**CO2 Car Design Project (2010)**  
Design and analyze a CO2 powered car. Make design changes to reduce drag.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PTB	SVE	KOR
Project workbook and SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## Linha de produtos do SolidWorks Simulation

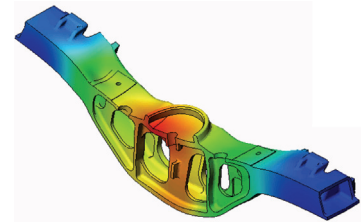
Embora este curso esteja focalize uma introdução à dinâmica de corpo rígido usando o SolidWorks Motion Simulation, a linha de produtos completa abrange uma ampla faixa de áreas de análise a considerar. O parágrafo a seguir lista toda a linha de pacote e módulos do SolidWorks Simulation.

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 irá quebrar sob cargas normais de operação?

O modelo está superdimensionado?

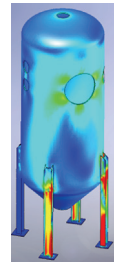
O projeto pode ser modificado para aumentar o fator de segurança?



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 apresentarem 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?

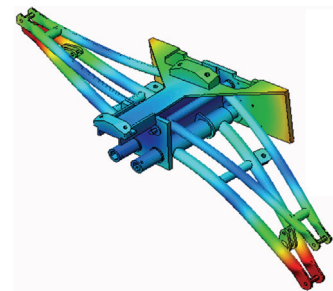


Estudos de frequência oferecem ferramentas para análise dos modos e frequências naturais. Isso é essencial no projeto de muitos componentes carregados de maneira estática e dinâmica. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

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:

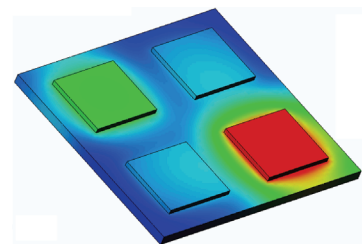
Mudanças de temperatura afetarão o modelo?

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

Quanto tempo demora em o modelo resfriar ou superaquecer?

A alteração de temperatura provoca expansão do modelo?

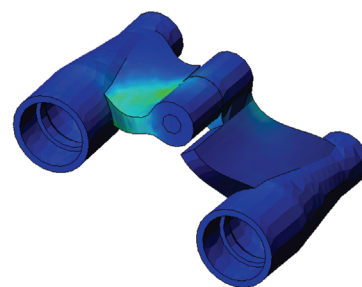
As tensões provocadas pela mudança de temperatura provocam a falha do produto (estudos estáticos e térmicos são usados para responder a esta pergunta)?



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

O que acontece 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?



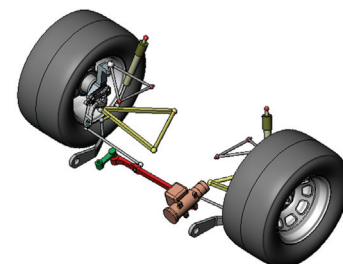
Estudos de fadiga analisam a resistência de peças e montagens submetidas a cargas repetitivas por longo tempo. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

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 cargas 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?

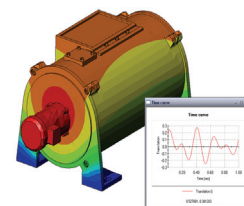
O modelo sofre dobramento excessivo sob condições normais de operação?



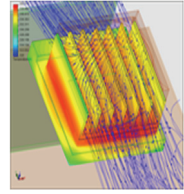
Estudos dinâmicos analisam objetos submetidos a cargas que variam com o tempo. Exemplos típicos poderiam ser cargas de choque em componentes montados em veículos, turbinas submetidas a cargas de forças oscilatórias, componentes de aeronaves sob cargas aleatórias etc. Estão disponíveis estudos lineares (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 Flow Simulation permite ao usuário analisar o comportamento e o efeito de fluidos em movimento no interior ou em volta de peças e montagens. Também é considerada a transferência de calor em fluidos e em sólidos. Os efeitos de pressão e temperatura podem ser subsequentemente transferidos para os estudos do SolidWorks Simulation para prosseguir com a análise de tensão. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste módulo incluem:



O fluido está se movendo rápido demais e causará problemas no projeto?

O fluido em movimento está quente ou frio demais?

A transferência de calor no produto é eficiente? Ele pode ser aprimorado?

Qual a eficácia do projeto na movimentação do fluido através do sistema?

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 vai soltar suas camadas?

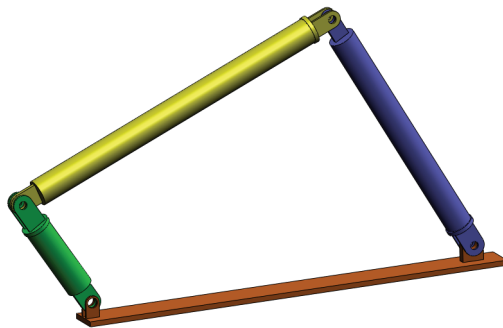


## Funcionalidade básica do SolidWorks Motion

### Objetivos desta lição

---

Apresentar a análise cinemática e dinâmica como uma ferramenta para complementar a modelagem 3D usando o SolidWorks. Após a conclusão bem-sucedida desta lição, os alunos conseguirão compreender os conceitos básicos do comportamento do mecanismo e como o SolidWorks Motion pode ajudar a determinar importantes parâmetros de projeto como velocidades, acelerações, forças, momentos etc. Os alunos poderão observar a capacidade da combinação da modelagem 3D e a análise de mecanismo no processo de projeto.



Apresentar a análise de mecanismo usando um exercício de aprendizado ativo. O exercício de aprendizado ativo desta lição foi desenvolvido como uma apresentação, fazendo com que os alunos realizem algumas etapas para a conclusão do exercício. Tendo em mente esse conceito, as etapas são realizadas com poucas descrições.

Mostrar aos alunos a maneira correta de simular mecanismos usando o SolidWorks Motion.



## Resumo

---

- Discussão em aula
- Exercício de aprendizado ativo – Análise de movimento de um mecanismo com 4 barras
  - Abrir o documento 4Bar .SLDASM
  - Verificar o menu do SolidWorks Motion
  - Descrição do modelo
  - Alternar para o SolidWorks Motion Manager
  - Componentes fixos e em movimento
  - Posicionamentos de montagem do SolidWorks acionando o movimento
  - Especificar o movimento de entrada
  - Executar a simulação
  - Observar os resultados
  - Criar um caminho de rastreamento
- Avaliação de 5 minutos
- Discussão em aula – Calcular o torque necessário para gerar o movimento
- Mais para explorar – Modificar a geometria
- Exercícios e projetos – Estudo
- Resumo da lição

## Discussão em aula

---

Peça aos alunos para identificar mecanismos que estejam nas proximidades e como eles se comportam. Pergunte como um software para simulação de movimento pode ser útil ao engenheiro. Eles podem explicar isso através da articulação 4Bar.

### Resposta

Um software para simulação de movimento pode ser usado para estudar deslocamento, velocidade e aceleração de componentes em movimento. Por exemplo, simular uma 4Bar linkage (articulação de 4 barras) permite ao aluno estudar esses parâmetros em cada articulação.

Adicionalmente, um software para simulação de movimento também informa as forças de reação/momentos que atuam em cada posicionamento. Essa informação pode ser usada pelo engenheiro para ter uma noção do torque necessário para acionar o mecanismo 4Bar.

A reação e as forças que atuam no corpo de cada componente podem ser exportadas para a análise de tensão do SolidWorks Simulation para estudar os efeitos (deformação e tensão) sobre o componente.

O software para simulação de movimento pode ajudar no projeto de molas, amortecedores e cames necessários para o funcionamento do mecanismo. Ele também pode ajudar a dimensionar motores e atuadores necessários para acionar o movimento dos mecanismos.

### Mais para explorar

Em relação à análise estrutural, pergunte aos alunos como as forças que atuam em um determinado objeto (cuja tensão foi analisada no SolidWorks Simulation) foram determinadas. Essas forças são sempre conhecidas ou estimadas a partir de fórmulas conhecidas?

### Resposta

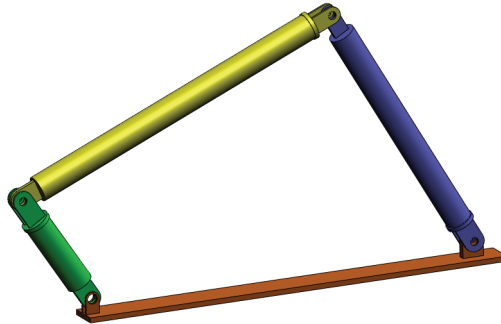
Em determinados problemas envolvendo mecanismos, essas forças são conhecidas ou podem se desprezadas. Por exemplo, em um mecanismo articulado de 4 barras, se a velocidade angular de rotação for pequena, as forças do corpo atuando nos elos serão pequenas e poderão ser desprezadas. Entretanto, no caso de um mecanismo operando em alta velocidade como o cilindro e o pistão de um motor, as forças podem ser intensas e não podem ser ignoradas. Para determinar essas forças, podemos usar a simulação do SolidWorks Motion e, em seguida, exportá-las para análise de tensão no SolidWorks Simulation e estudar a integridade estrutural dos componentes.

## Exercício de aprendizado ativo – Análise de movimento de um mecanismo com 4 barras

---

Use a simulação do SolidWorks Motion para executar uma análise de movimento da montagem 4Bar.SLDASM mostrada a seguir. A articulação verde recebe um deslocamento angular de 45 graus em 1 segundo no sentido horário, sendo necessária para determinar a velocidade angular e a aceleração das demais articulações em função do tempo. Também calcularemos o torque necessário para induzir esse movimento como um tópico de discussão em aula.

As instruções passo a passo são fornecidas abaixo.



### Abrir o documento 4Bar.SLDASM

- 1 Clique em **Arquivo, Abrir**. Na caixa de diálogo **Abrir**, acesse a montagem 4Bar.SLDASM localizada na subpasta correspondente da pasta SolidWorks Curriculum\_and\_Courseware\_2011 e clique em **Abrir** (ou clique duas vezes na peça).

### Verificar o suplemento SolidWorks Motion

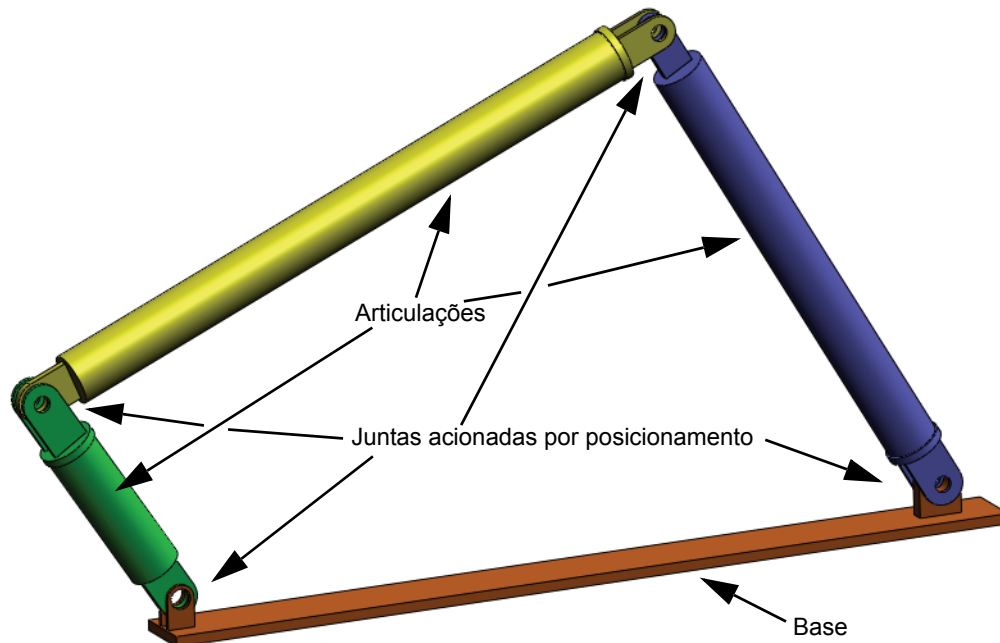
Certifique-se de que o suplemento SolidWorks Motion esteja ativado.

Para fazer isso:

- 1 Clique em **Ferramentas, Suplementos**. A caixa de diálogo **Suplementos** é exibida.
- 2 Certifique-se de que as caixas de seleção ao lado do SolidWorks Motion estejam marcadas.
- 3 Clique em **OK**.

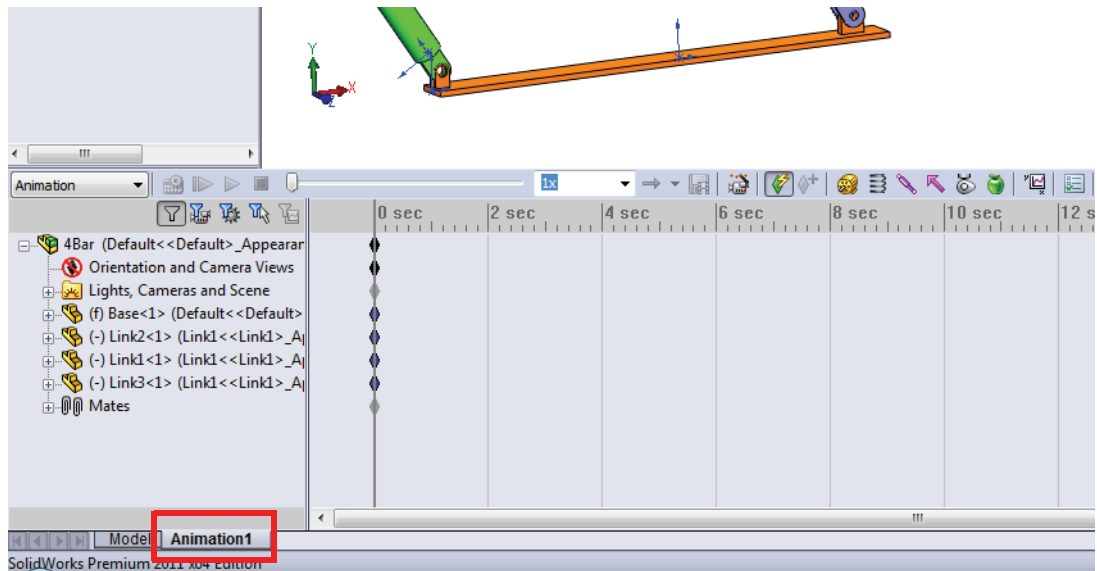
## Descrição do modelo

Este modelo representa um típico mecanismo de articulação de 4 barras. A peça base é fixa e não pode se mover. Ela permanece sempre na horizontal e, no mundo real, é fixada no piso. As outras três articulações são conectadas entre si e à base através de pinos. As articulações podem girar em torno dos pinos no mesmo plano, sendo impedidas de se moverem em qualquer outro plano. Quando modelamos esse mecanismo no SolidWorks, nós criamos posicionamentos para colocar as peças no lugar. O SolidWorks Motion converte automaticamente esses posicionamentos em juntas internas. Cada posicionamento apresenta vários graus de liberdade associados. Por exemplo, um posicionamento concêntrico possui apenas dois graus de liberdade (translação e rotação em torno do eixo). Para obter mais detalhes sobre posicionamentos e seus graus de liberdade, consulte a ajuda on-line da simulação do SolidWorks Motion.



### Alternar para o SolidWorks Motion Manager

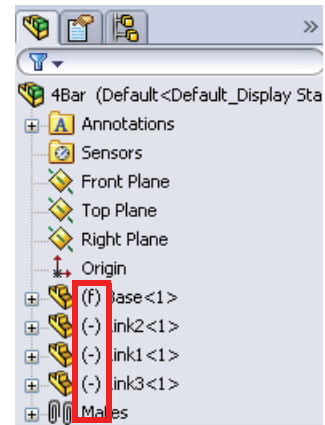
Altere para o SolidWorks Motion clicando na guia Animation1 no canto inferior esquerdo.



O SolidWorks Motion aproveita integralmente o SolidWorks Animator e, dessa forma, a aparência e o comportamento do SolidWorksMotionManager são muito semelhantes aos do SolidWorks Animator.

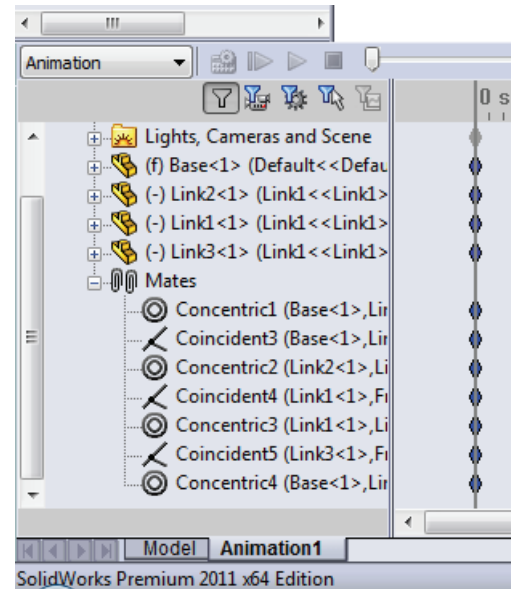
### Componentes fixos e em movimento

Componentes fixos e em movimento no SolidWorks Motion são determinados pelo status **Fixar/Flutuar** no modelo do SolidWorks. Neste caso, o componente Base está fixo e as outras articulações estão se movendo.




## Criação automática de juntas internas a partir de posicionamentos de montagem do SolidWorks

O movimento do mecanismo é totalmente definido pelos posicionamentos do SolidWorks.



### Especificar o movimento de entrada

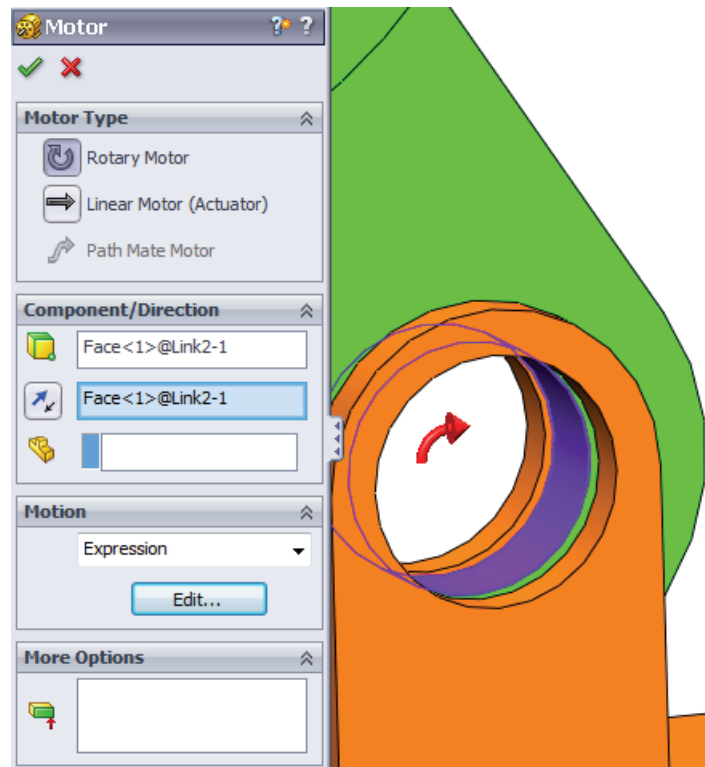
A seguir, definiremos o movimento de uma articulação. Neste exemplo, gostaríamos de girar `Link2` 45 graus no sentido horário em torno da `Base`. Para isso, aplicaremos um movimento rotativo ao `Link2` no local do posicionamento concêntrico, simulando a conexão do pino à `Base`. O deslocamento angular deve ser obtido em 1 segundo, e usaremos uma função em etapas para assegurar que `Link2` gire suavemente de 0 a 45 graus.

Clique no ícone **Motor**  para abrir a caixa de diálogo **Motor**.

Em **Tipo de motor**, selecione **Motor rotativo**.

Em **Componente/Direção**, selecione a face cilíndrica de Link2 presa por um pino à Base (observe a figura) for para os campos **Direção do motor** e **Local do motor**. O motor deve estar localizado no centro da face cilíndrica.

Em **Movimento**, selecione **Expressão** para abrir a janela **Gerador de função**.

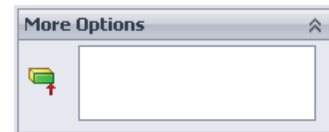



---

**Nota:** O último campo da caixa de diálogo **Componente/Direção**, **Componente a mover em relação a**, é usado para especificar o componente de referência para a entrada do movimento relativo. Como queremos mover Link2 em relação à Base fixa, este campo deve ser deixado em branco.

---

O último diálogo de propriedades, **Mais opções**, permite ao usuário especificar as Faces/arestas que suportam carga para transferência das cargas de movimento no software de análise de tensões SolidWorks Simulation.

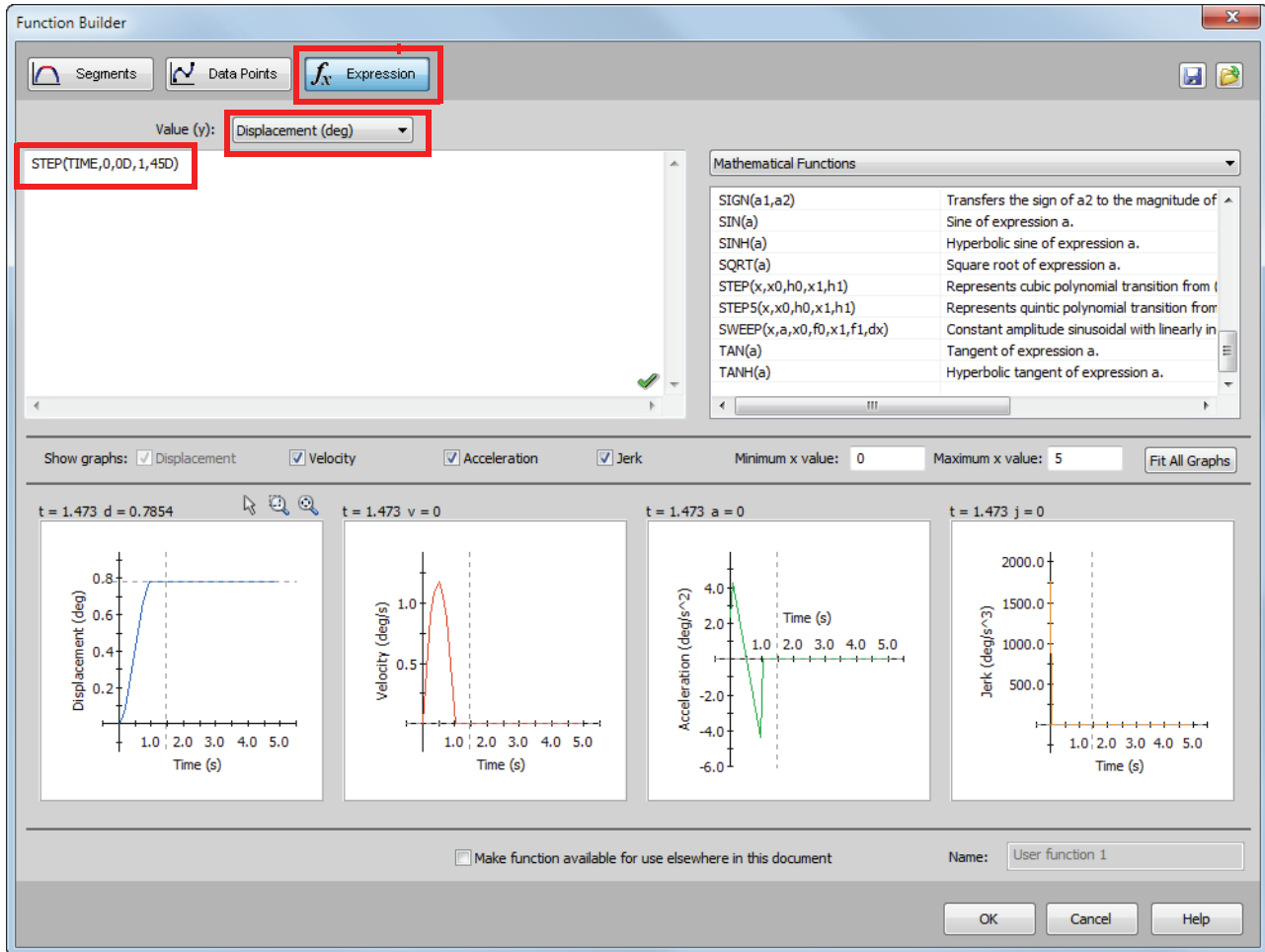


Na janela **Gerador de função**, selecione **Deslocamento (graus)** para **Valor (y)** e digite **STEP(TIME,0,0D,1,45D)** no campo **Definição da expressão**.

---

**Nota:** Você também pode clicar duas vezes em **STEP(x,h0,x1,h1)** na lista de funções disponíveis no lado direito do **Gerador de função**.

---



Os gráficos na parte inferior do **Gerador de função** mostram as variações de deslocamentos, velocidades, acelerações e “jerk”

Clique duas vezes em **OK** para fechar a janela do **Gerador de função** e o PropertyManager de **Motor**.

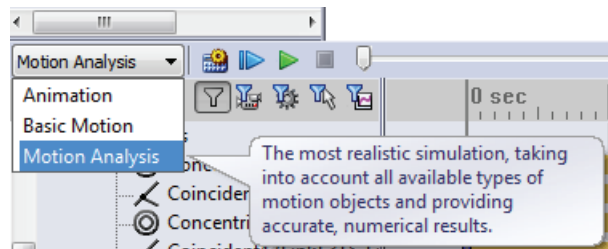
### Tipo de análise de movimento

O SolidWorks oferece três tipos de simulação de movimento de montagem:

- 1 **Animação** é uma simples simulação de movimento que ignora propriedades inerciais do componente, contatos, forças e outros parâmetros semelhantes. O seu uso é adequado para verificação de posicionamentos corretos ou animações básicas, por exemplo.
- 2 **Movimento básico** oferece algum nível de realismo, considerando-se as propriedades inerciais dos componentes, por exemplo. Entretanto, ele não reconhece forças aplicadas externamente.
- 3 **Análise de movimento** é a ferramenta mais sofisticada de análise de movimento, refletindo todos os recursos necessários, como propriedades inerciais, forças externas, contatos, atrito de posicionamentos etc.



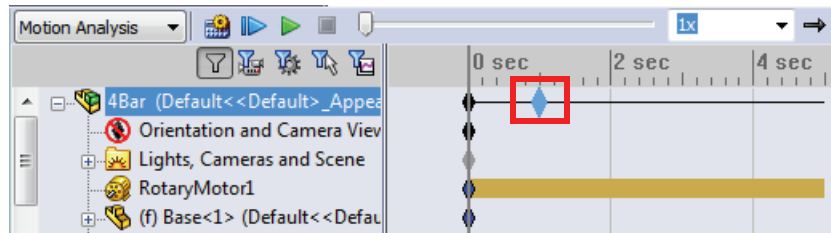
Em **Tipo de estudo** no lado esquerdo do SolidWorksMotionManager, selecione **Análise de movimento**.




### Tempo de simulação

A duração da simulação de movimento é determinada pela linha de tempo superior no SolidWorksMotionManager. O SolidWorks Motion estabelece 5 segundos como a duração predeterminada da análise, portanto, esse parâmetro deve ser modificado.

Mova a chave de final de tempo até a linha de tempo superior, de 5 segundos para o local correspondente a 1 segundo.




---

**Nota:** As teclas de zoom  permitem aumentar e diminuir o zoom na linha de tempo.

Clicar com o botão direito do mouse na tecla da linha de tempo permite inserir manualmente o tempo da simulação desejado.

---

### Executar a simulação

No SolidWorksMotionManager, clique no ícone **Calcular** .

Observe a simulação de movimento durante o cálculo.

### Observar os resultados

#### Resultados absolutos no sistema de coordenadas global

Primeiro, vamos plotar a velocidade angular e a aceleração de Link1.

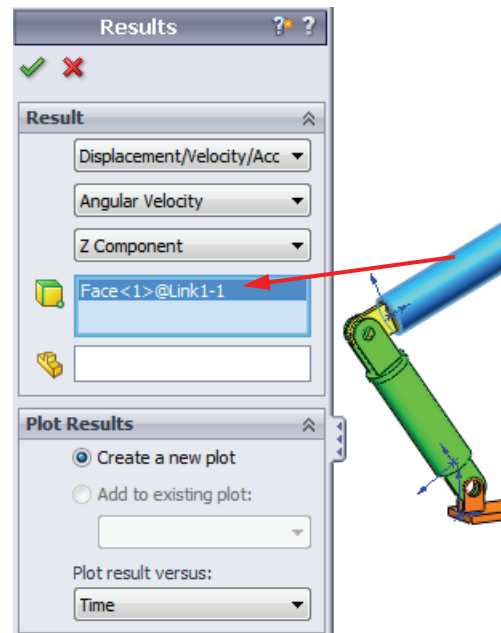
Clique no ícone **Resultados e Plotagens**  para abrir o diálogo **Resultados**.

Em **Resultados**, selecione **Deslocamento/ Velocidade/Aceleração**, **Velocidade angular** e **Componente Z**.

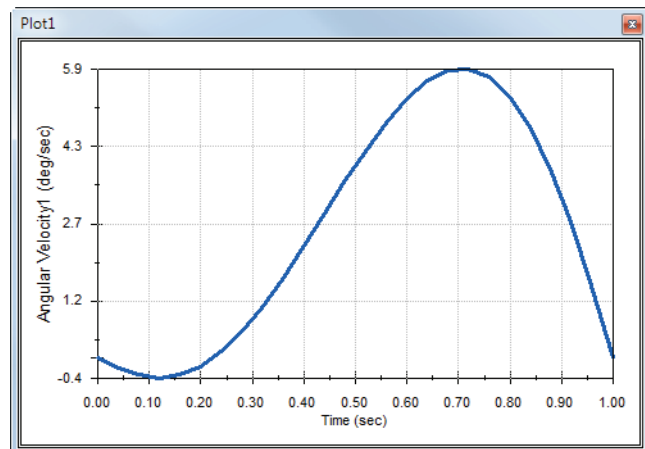
Ainda em **Resultados**, selecione **Link1**.

O campo **Componente para definir as direções XYZ (opcional)** é usado para apresentar os resultados das plotagens em relação ao sistema de coordenadas local de outro componente em movimento. Para plotar os resultados no sistema de coordenadas predeterminado mostrado na figura, deixe este campo em branco.

Clique em **OK** para exibir a plotagem.

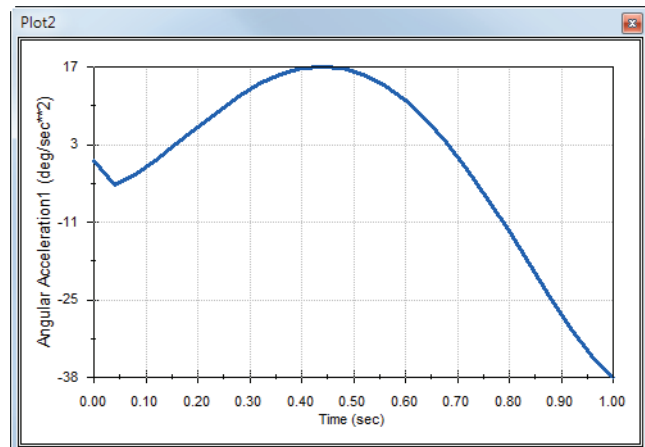


A plotagem acima mostra a variação da velocidade angular do centro de massa de **Link1** em função do tempo.



Repita o procedimento acima para plotar o **Componente Z** da **Aceleração angular** do centro de massa de **Link1**.

No sistema de coordenadas global, os resultados indicam velocidade angular máxima e aceleração angular de 6 graus/s e 38 graus/s<sup>2</sup>, respectivamente.

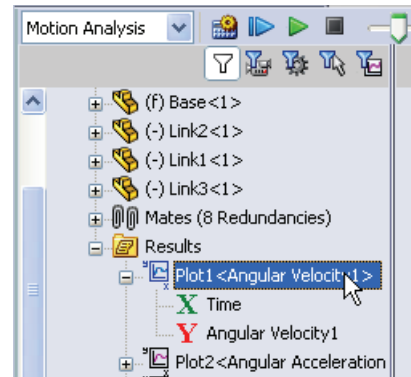


De maneira similar, crie as plotagens do **Componente Z** da velocidade angular e da aceleração angular no centro de massa de **Link2** e **Link3**.

## Armazenar e editar plotagens de resultados

Os recursos de plotagem de resultados gerados são armazenados na pasta *Resultados* recém-criada na parte inferior do SolidWorksMotionManager.

Clicar com o botão direito do mouse em qualquer recurso de plotagem permite ocultar e exibir a plotagem, bem como editar suas configurações.



## Mais sobre os resultados

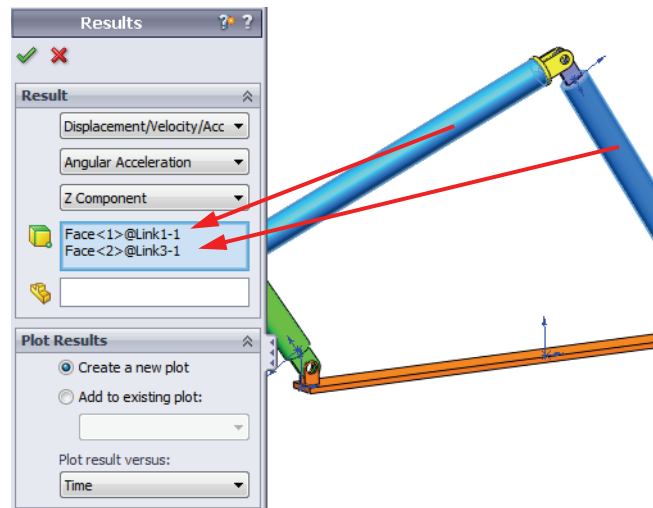
### Resultados relativos no sistema de coordenadas global

Vamos plotar o **Componente Z** da aceleração angular relativa de *Link1* em relação a *Link3*.

Expanda pasta *Results*. Certifique-se de que *Plot2* esteja sendo exibida. Clique com o botão direito em *Plot2* e selecione **Editar recurso**.

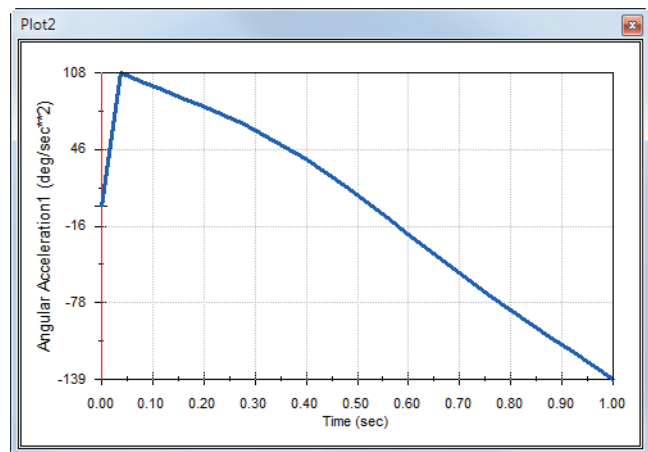
Selecione *Link3* como segundo componente no campo **Selecione uma ou duas faces da peça ou um posicionamento/elemento de simulação na peça para criar os resultados**.

Clique em **OK** para exibir a plotagem.



A plotagem mostra a magnitude da aceleração de *Link1* (seu centro de massa) em relação a *Link3* (sistema de coordenadas da peça). A aceleração máxima relativa é 139 graus/s<sup>2</sup> na direção rotacional Z negativa.

Observe também que a variação da aceleração mudou significativamente quando comparada com o resultado da aceleração absoluta somente para *Link1* acima.



**Nota:** A direção rotacional positiva pode ser determinada usando a regra da mão direita. Aponte o polegar da mão direita na direção do eixo (em nosso caso o eixo Z). Os dedos mostrarão a direção positiva do componente Z da rotação.

## Resultados relativos no sistema de coordenadas local

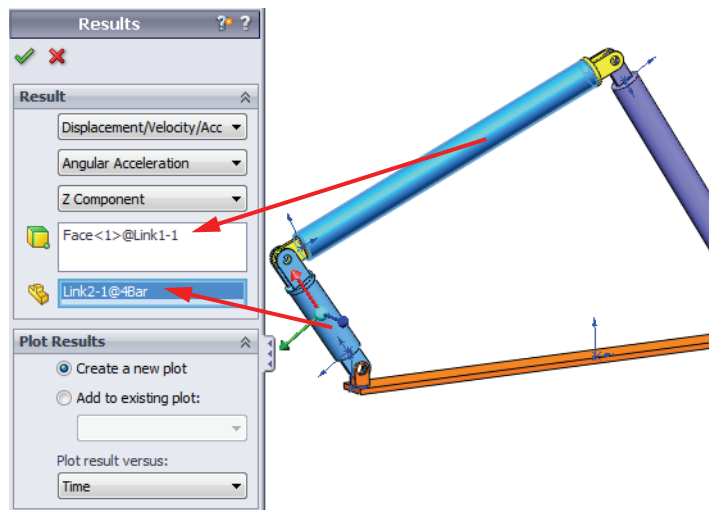
Vamos transformar o componente Z da aceleração absoluta de Link1 no sistema de coordenadas local de Link2.

Edite a plotagem acima, Plot2, exclua Link3 do campo

**Selecione uma ou duas faces da peça ou um posicionamento/elemento de simulação na peça para criar os resultados.**

Então selecione Link2 no campo **Componente para definir as direções XYZ.**

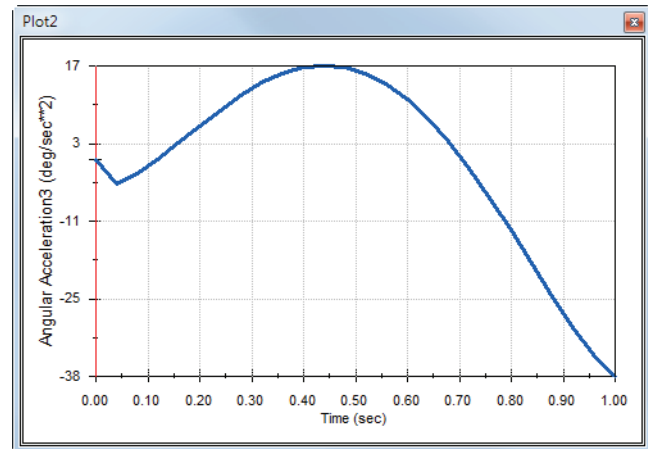
Clique em **OK** para exibir a plotagem.



**Nota:** A tríade no componente Link2 indica o sistema de coordenadas local de saída. Ao contrário do sistema de coordenadas global que é fixo, o sistema de coordenadas local pode girar. Em nosso caso, o sistema de coordenadas local selecionado irá girar porque o componente Link2 gira quando o mecanismo se move.

O componente Z máximo da aceleração absoluta de Link1 no sistema de coordenadas local de Link2 é 38 graus/s<sup>2</sup> na direção de rotação de Z negativa.

Comparando este resultado absoluto no sistema de coordenadas local com a aceleração absoluta no sistema de coordenadas global, concluímos que são idênticas. Isso se deve a ambos os eixos Z estarem alinhados.



Repita o procedimento acima para várias seleções de componentes e sistemas de coordenadas locais.

## Criar um caminho de rastreamento

O SolidWorks Motion permite exibir graficamente o caminho percorrido por qualquer ponto de qualquer peça em movimento. Isso se chama caminho de rastreamento. Você pode criar um caminho de rastreamento em referência a qualquer peça fixa ou componente em movimento na montagem. Criaremos um caminho de rastreamento para um ponto localizado no componente Link1.

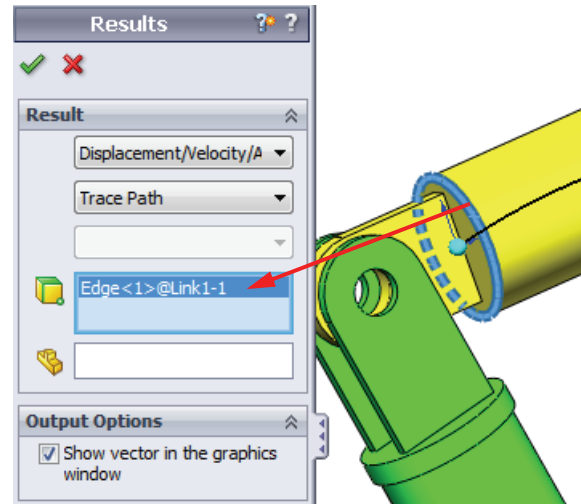
Para criar o caminho de rastreamento, clique com o botão direito do mouse no ícone **Resultados e Plotagens**.

No diálogo **Resultados**, selecione **Deslocamento/Velocidade/Aceleração** e **Caminho de rastreamento**.

No primeiro campo de seleção, selecione a aresta circular de **Link1** para identificar o ponto central do círculo. A esfera mostra graficamente o centro do círculo.

Marque a caixa de seleção **Exibir vetor na janela de gráficos**.

O caminho será exibido na tela como uma curva preta.



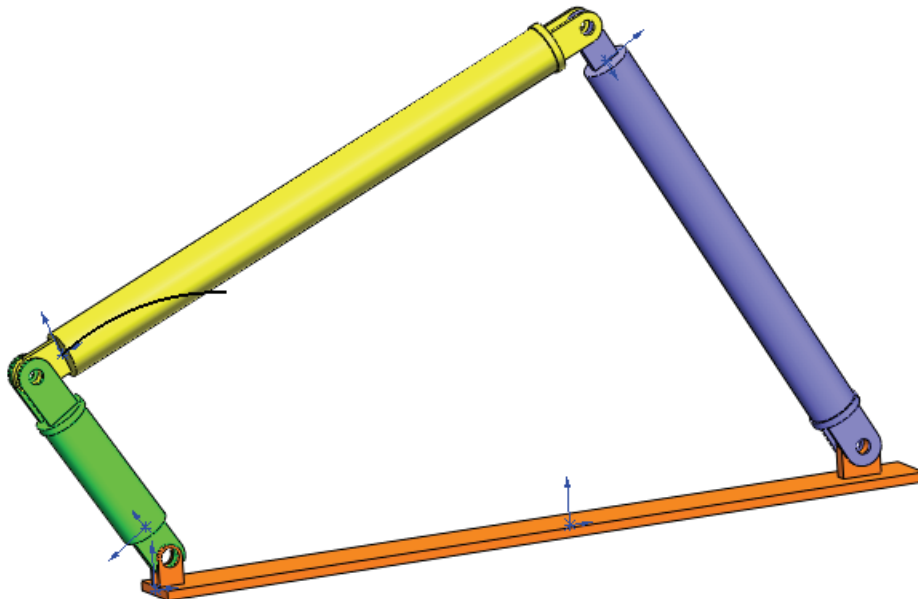

---

**Nota:** O caminho de rastreamento resultante é, por padrão, exibido em relação ao terreno fixo. Para exibir o caminho de rastreamento em relação a outro componente em movimento, esse componente de referência deve ser selecionado como um segundo item no mesmo campo de seleção.

---

Clique em **OK** para fechar o diálogo **Resultados**.

Diminua o zoom para visualizar o modelo inteiro e **reproduzir** a simulação.



Isso conclui sua primeira simulação no SolidWorks Motion.

## Avaliação de 5 minutos – Gabarito

---

1. Como você inicia uma sessão do SolidWorks Motion?

**Resposta:** Na barra de tarefas do Windows, clique em **Iniciar, Programas, SolidWorks, SolidWorks Application**. O aplicativo SolidWorks é iniciado. Clique na guia do SolidWorks Motion Manager (denominada *Animation1* por padrão) na parte inferior da janela do documento no SolidWorks.

2. Como você ativa o suplemento SolidWorks Motion?

**Resposta:** Clique em **Ferramentas, Suplementos**, marque **SolidWorks Motion** para selecionar e clique em **OK**.

3. Quais são os tipos de simulação de movimento disponíveis no SolidWorks?

**Resposta:** O SolidWorks oferece três tipos de simulação de movimento: Animação, Movimento básico, Análise de movimento.

4. O que é análise?

**Resposta:** Análise é um processo para simular o desempenho do seu projeto no uso real.

5. Por que a análise é importante?

**Resposta:** A análise pode ajudar você a projetar produtos melhores, mais seguros e mais econômicos. Ela poupa tempo e dinheiro reduzindo os ciclos de projeto tradicionais e caros.

6. O que é calculado pela análise do SolidWorks Motion?

**Resposta:** A análise de movimento calcula deslocamentos, velocidades, acelerações e forças de reação que atuam no modelo quando ele se movimenta.

7. O SolidWorks Motion considera que as peças são rígidas ou flexíveis?

**Resposta:** O SolidWorks Motion só efetua análise de corpo rígido e, portanto, considera que todas as peças sejam perfeitamente rígidas.

8. Por que a análise de movimento é importante?

**Resposta:** A análise de movimento pode informar como está o seu projeto em termos de segurança e economia nas condições de operação.

9. Quais são as principais etapas da execução de uma análise de movimento?

**Resposta:** As principais etapas são: criar o mecanismo no SolidWorks (criar os posicionamentos), aplicar movimento à peça acionada, executar a simulação e visualizar os resultados.

10. O que é um caminho de rastreamento?

**Resposta:** Um caminho de rastreamento é o caminho ou trajetória percorrida por qualquer ponto de uma peça em movimento.

11. Posicionamentos do SolidWorks são usados no modelo do SolidWorks Motion?

**Resposta:** Sim. Posicionamentos do SolidWorks são usados para criar automaticamente juntas internas no SolidWorks Motion. Assim, os posicionamentos definem o movimento do mecanismo simulado.

## Discussão em aula – Calcular o torque necessário para acionar o mecanismo de 4 barras

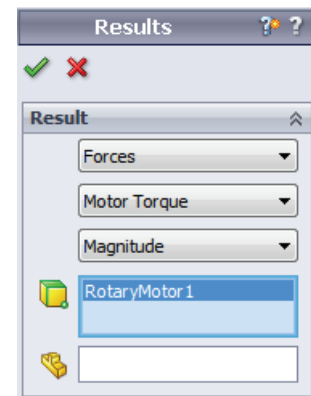
Pergunte aos alunos como o movimento angular foi aplicado à articulação acionadora do mecanismo 4Bar. Frequentemente, esses mecanismos são acionados por motores. Um parâmetro importante para dimensionamento do motor é o torque gerado por ele, uma das quantidades padrão de saída no SolidWorks Motion. Determinar esse torque ajuda a escolher o motor correto para a aplicação.

Como o torque é calculado no SolidWorks Motion?

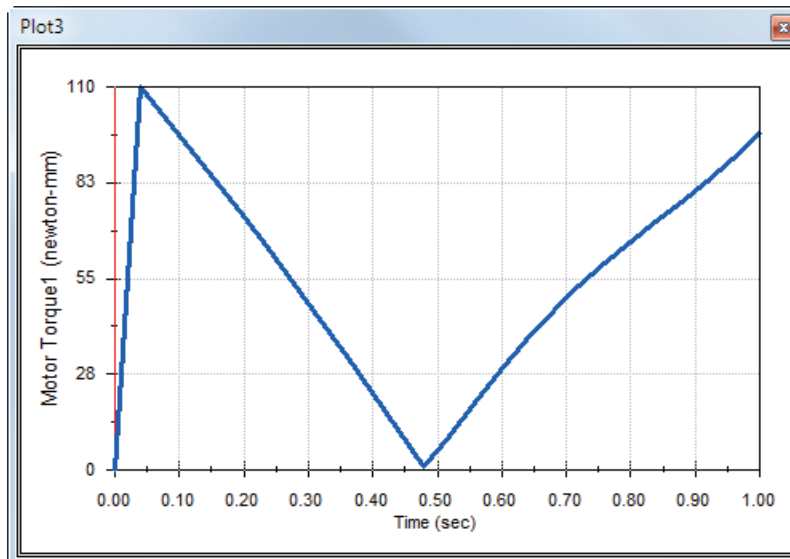
### Resposta

Clique no ícone **Resultados e Plotagens** para abrir o diálogo **Resultados**.

Especifique **Forças**, **Torque do motor**, **Magnitude** e selecione o recurso **RotaryMotor1** que aciona o mecanismo (neste exemplo aplicamos a **Link2** uma velocidade angular de 45 graus em 1 segundo).



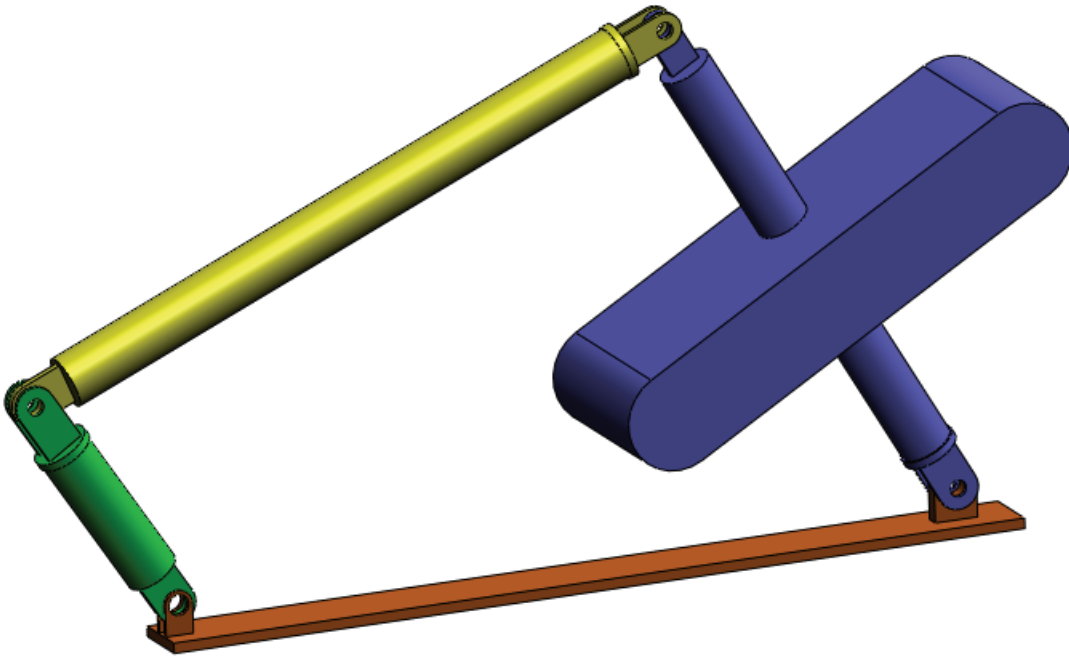
Clique em **OK** para gerar a plotagem.



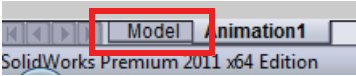
O torque necessário é de cerca de 110 N-mm

## Mais para explorar — Modificar a geometria

Peça aos alunos para modificar a geometria de `Link3` de forma que o mecanismo `4Bar` se pareça com o exibido na ilustração a seguir. Peça agora que usem o SolidWorks Motion para calcular o novo torque necessário para acionar esse mecanismo. Use a mesma entrada de velocidade angular uniforme de 45 graus/s. O novo torque de acionamento será maior ou menor? Por quê?



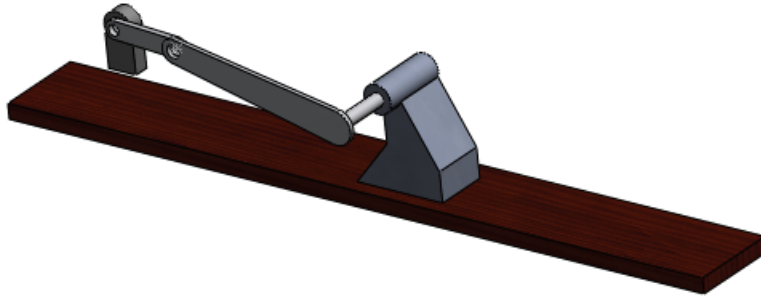
### Resposta

- 1 Clique na guia **Modelo** na parte inferior da janela do documento no SolidWorks.
- 
- 2 Abra a peça `Link3`.
  - 3 **Cancele a supressão** do recurso `Extrude5` na árvore de recursos do SolidWorks.
  - 4 Salve e feche a peça `Link3`.
  - 5 Quando observar a montagem `4Bar`, você verá a montagem nova e atualizada. (Observe que é necessário clicar em Sim quando perguntado se deseja atualizar a montagem).
  - 6 Acesse agora o SolidWorks Motion (em nosso caso, clique na guia `Animation1` na parte inferior da pasta de documentos do SolidWorks). Observe que todos os posicionamentos foram mantidos. Certifique-se também de que o movimento angular de `Link2` seja o mesmo.
  - 7 Clique no ícone **Calcular**.
  - 8 Faça a plotagem do torque e determine a nova magnitude necessária.  
O torque de acionamento necessário é agora maior por `Link3` ser mais pesado; é necessário mais torque para acionar o mecanismo.



## Exercícios e projetos — Mecanismo de manivela de deslizamento

Você agora verá como usar o SolidWorks Motion para simular um mecanismo de manivela de deslizamento. O objetivo é calcular a velocidade e a aceleração do centro de massa da peça de movimento alternativo.



### Tarefas

- 1 Abra o arquivo SliderCrank.sldasm localizado na subpasta correspondente da pasta SolidWorks Curriculum\_and\_Courseware\_2011 e clique em **Abrir** (ou clique duas vezes na peça).

Esse modelo representa um mecanismo de manivela de deslizamento no qual o movimento rotativo da manivela é transformado em movimento de translação alternativo do componente deslizante. A manivela é girada com a velocidade uniforme de 360 graus por segundo.

- 2 Analise as peças fixas e móveis da montagem.

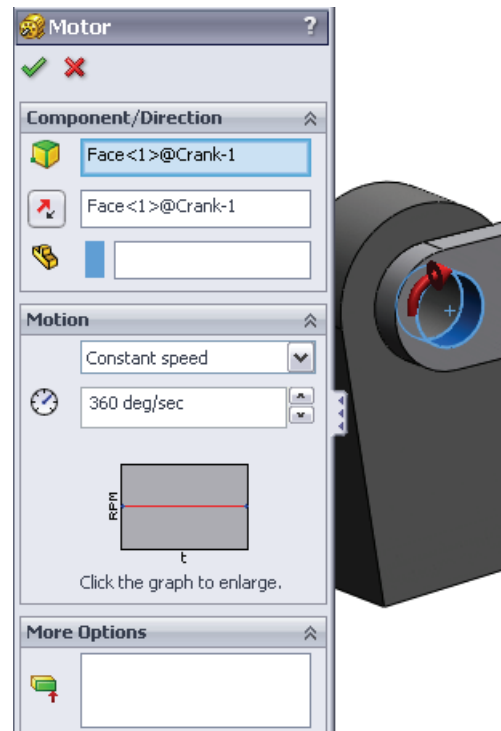
**Resposta:** Peças fixas no SolidWorks também são tratadas como tal no SolidWorks Motion. Neste caso, os componentes Ground (Terra) e BasePart (Peça Base) estão fixos, e os demais, em movimento.

- 3 Defina a velocidade rotacional uniforme de **360 graus/s** para Crank (Manivela). Verifique se o movimento está especificado no local do pino BasePart/Crank. (Você pode inserir **360 graus/s** diretamente no campo **Velocidade do motor**. O SolidWorks Motion converte o valor para RPM).

**Resposta:** Faça o seguinte.

- Clique com o botão direito do mouse no ícone **Motor** para abrir o diálogo **Motor**.

- Em **Tipo de motor**, selecione **Motor rotativo**.
- Em **Componente/Direção** selecione a face cilíndrica dos campos **Motor Location** e **Motor Direction**, como mostrado na figura.
- Em **Movimento**, selecione **Velocidade constante** e digite **360 graus/s**.
- Clique em **OK**.



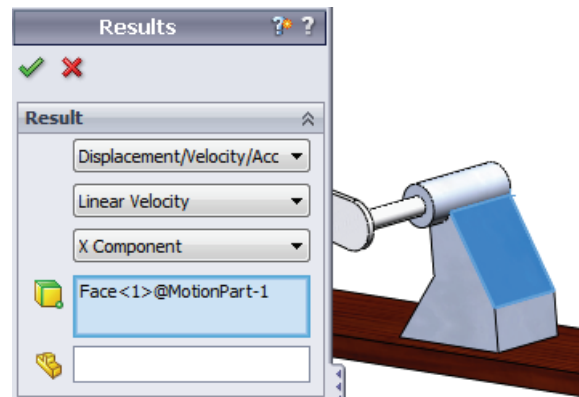
4 Executar a simulação.

**Resposta:** No SolidWorks MotionManager, clique no ícone **Calcular**. Certifique-se de que o campo **Tipo de estudo** esteja definido como **Análise de movimento**.

5 Determine a velocidade e a aceleração de MovingPart (Peça em movimento).

**Resposta:** Faça o seguinte:

- Clique no ícone **Resultados e Plotagens** para abrir o diálogo **Resultados**.
- Selecione **Deslocamento/Velocidade/Aceleração**, **Velocidade linear** e **Componente X**.
- Selecione qualquer face de MovingPart.



- Clique em **OK** para gerar a plotagem.

De maneira similar, gere a plotagem do componente x da aceleração.

**Folha de trabalho do vocabulário da Lição 1 – Gabarito**

---

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

*Instruções: Preencha as lacunas com as palavras apropriadas.*

1. A sequência de criação de um modelo no SolidWorks, fabricação e teste de um protótipo: **ciclo tradicional do projeto**
2. O método usado pelo SolidWorks Motion para realizar uma análise de movimento: **Cinemática e dinâmica de corpos rígidos**
3. A entidade que conecta duas peças e também determina o movimento relativo entre elas: **posicionamento**
4. Quantos graus de liberdade possui um corpo livre? : **Um corpo livre tem 6 graus de liberdade (3 translações e 3 rotações).**
5. Quantos graus de liberdade possui um posicionamento concêntrico? : **Um posicionamento concêntrico possui 2 graus de liberdade (rotação em torno de seu eixo, translação ao longo de seu eixo)**
6. Quantos graus de liberdade possui uma peça fixa? : **Zero. Uma peça fixa não pode realizar movimento de translação ou girar em nenhuma direção**
7. Uma trajetória ou caminho percorrido por qualquer ponto: **Caminho de rastreamento**
8. O caminho de rastreamento de um cilindro com movimento alternativo em relação ao chão representa uma: **Linha reta**
9. Os tipos de movimento que podem ser aplicados a um posicionamento concêntrico: **Deslocamentos angulares e translacionais, velocidades e acelerações)**
10. No SolidWorks Motion, o movimento de engrenagens pode ser simulado usando-se: **Posicionamentos de engrenagem**
11. Um mecanismo usado para transformar movimento rotativo em movimento alternativo: **Posicionamento de pinhão e cremalheira**
12. A razão entre o torque de saída exercido pela articulação acionada e o torque de entrada necessário no acionador: **Vantagem mecânica**

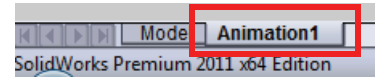
## Teste da Lição 1 — Gabarito

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

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

1. Como alternar entre o SolidWorks Motion Manager e o SolidWorks Feature Manager?

**Resposta:** Clique na guia Model ou Animation1 no canto inferior esquerdo da pasta de documentos do SolidWorks.



2. Quais tipos de análise de movimento o SolidWorks Motion pode realizar?

**Resposta:** Análise cinemática e dinâmica de corpos rígidos

3. Como o SolidWorks Motion cria juntas internas automaticamente?

**Resposta:** As juntas internas do SolidWorks Motion são criadas automaticamente a partir de posicionamentos do SolidWorks.

4. Como você atribui movimento a uma peça?

**Resposta:** Clique com o botão direito do mouse no ícone **Motor** para abrir o diálogo **Motor**. Na caixa de diálogo, você pode atribuir deslocamento, velocidade e aceleração à peça selecionada.

5. Se você quiser atribuir um movimento rotativo suave a uma peça em determinado tempo, como isso seria feito?

**Resposta:** O movimento é atribuído como uma função em etapas ao longo do tempo determinado.

6. Quantos graus de liberdade possui um posicionamento coincidente ponto a ponto?

**Resposta:** Um posicionamento coincidente ponto a ponto possui 3 graus de liberdade (rotação em torno dos eixos X, Y e Z)

7. O que é um caminho de rastreamento?

**Resposta:** Um caminho ou trajetória percorrida por qualquer ponto na peça que se move.

8. Cite uma aplicação do caminho de rastreamento.

**Resposta:** Caminhos de rastreamento podem ser usados para gerar um perfil de CAME.

## Resumo da lição

---

- ❑ O SolidWorks Motion é um software para análise de projetos (cinemática e dinâmica) totalmente integrado ao SolidWorks.
- ❑ A análise de projeto pode ajudar a projetar produtos melhores, mais seguros e mais econômicos.
- ❑ O SolidWorks Motion considera que todos os componentes são corpos rígidos.
- ❑ O SolidWorks Motion cria automaticamente juntas internas a partir de posicionamentos do SolidWorks.
- ❑ O SolidWorks Motion pode criar o caminho de rastreamento de qualquer ponto de um corpo em movimento em relação a qualquer outro corpo na montagem.
- ❑ As etapas para a realização de análises no SolidWorks Motion são:
  - Criar a montagem no SolidWorks
  - Fixar a peça aterrada na montagem do SolidWorks.
  - Criar as juntas automaticamente a partir de posicionamentos.
  - Aplicar movimento às peças.
  - Executar a simulação.
  - Analisar os resultados.