

A simulação de movimento em detalhes

SUMÁRIO

Introdução 1

Simulação de movimento para análise e síntese de mecanismos 1-6

O uso de simulação de movimento junto com FEA 6-9

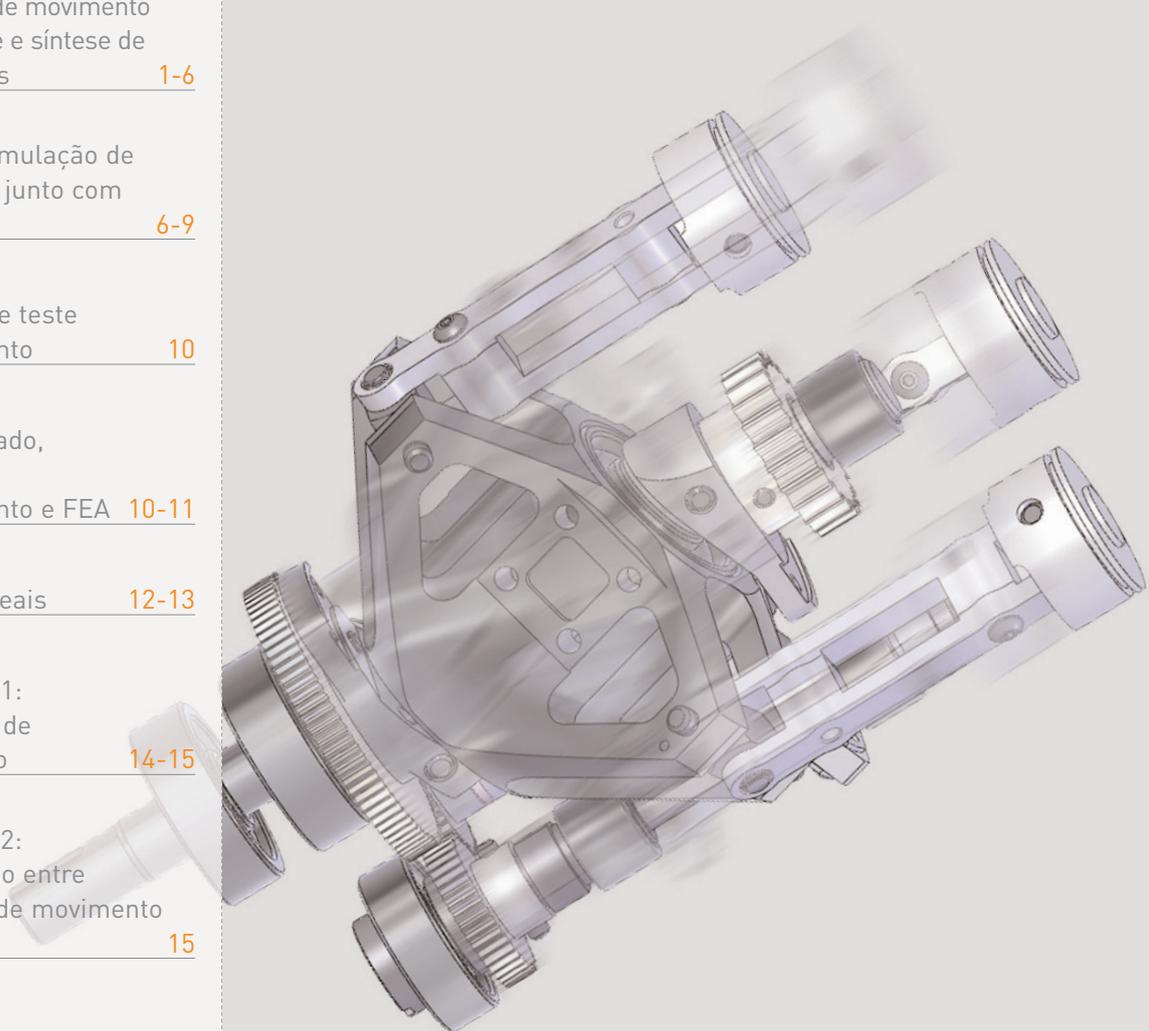
Simulação e teste de movimento 10

CAD integrado, simulação de movimento e FEA 10-11

Exemplos reais 12-13

APÊNDICE 1: Movimento de corpo rígido 14-15

APÊNDICE 2: Comparação entre simulação de movimento e FEA 15



Desde os anos 80, quando os métodos de engenharia auxiliada por computador (CAE) surgiram na engenharia de projetos, a análise de elementos finitos (FEA) se tornou a primeira ferramenta de simulação amplamente adotada. Com o passar dos anos, ela tem auxiliado engenheiros de projeto no estudo do desempenho estrutural de novos produtos, além de substituir muitos protótipos demorados e dispendiosos por econômicas simulações de computador executadas em modelos CAD.

Hoje, devido a crescente complexidade dos produtos mecânicos e da concorrência cada vez mais acirrada para colocar novos projetos rapidamente no mercado, os engenheiros sentem a pressão crescente para ampliar o escopo da simulação além da FEA. Além de simular o desempenho estrutural com a FEA, os engenheiros também precisam determinar a cinemática e dinâmica de novos produtos antes de construir protótipos físicos.

A simulação de movimento oferece informações completas quantitativas sobre a cinemática (como posição, velocidade e aceleração) e a dinâmica (como reações de junta, forças de inércia e requisitos de potência) de todos os componentes de um mecanismo móvel.

A simulação de movimento - também conhecida como dinâmica de corpo rígido - oferece um método de simulação para solucionar estas questões. Como o seu uso está crescendo rapidamente, é natural que os engenheiros de projeto queiram saber mais sobre ela e perguntem, por exemplo: O que é? Que problemas ela pode resolver? Como ela pode auxiliar o processo de projeto de produto?

Este documento aborda algumas destas questões e examina exemplos de problemas que podem ser solucionados com a simulação de movimento. Ele também apresenta aplicações reais da simulação de movimento usada como uma ferramenta de projeto CAE.

Simulação de movimento para análise e síntese de mecanismos

Suponha que um engenheiro esteja projetando um compasso elíptico para traçar diferentes elipses. Após definir os posicionamentos na montagem CAD, ele pode incluir animação no modelo para analisar como os componentes do mecanismo se movem (figura 1). Embora a animação possa exibir o movimento relativo dos componentes da montagem, a velocidade do movimento é irrelevante e o tempo é arbitrário. Para obter velocidades, acelerações, reações de junta, requisitos de potência, etc., o projetista necessita de uma ferramenta mais poderosa. É nessa hora que entra a simulação de movimento.

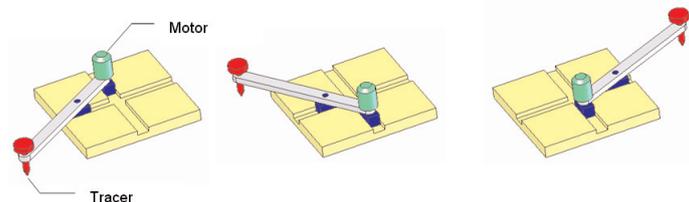


Figura 1
Várias posições de compasso elíptico simuladas pelo animador de CAD.

A simulação de movimento oferece informações quantitativas completas sobre a cinemática (como posição, velocidade e aceleração) e a dinâmica (como reações de junta, forças de inércia e requisitos de potência) de todos os componentes de um mecanismo móvel. Geralmente de grande importância adicional, os resultados da simulação de movimento podem ser obtidos quase sem perda de tempo extra. Todos os elementos necessários para execução já foram definidos no modelo de montagem CAD e só precisam ser transferidos para o programa de simulação de movimento.

No caso do compasso elíptico descrito acima, o projetista só precisa decidir a velocidade do motor, os pontos a serem traçados e os resultados de movimento que deseja observar. O programa faz o resto automaticamente, sem a intervenção do usuário. O programa de simulação de movimento utiliza as propriedades do material das peças de CAD para definir propriedades de inércia de componentes do mecanismo e converte as condições dos posicionamentos da montagem CAD em juntas cinemáticas. Em seguida formula automaticamente equações que descrevem o movimento do mecanismo.

Ao contrário de estruturas flexíveis estudadas com FEA, mecanismos são representados como montagens de componentes rígidos e possuem poucos graus de liberdade. Um solucionador numérico resolve as equações de movimento muito rapidamente e os resultados incluem informações completas sobre deslocamentos, velocidades, acelerações, reações conjuntas e cargas de inércia de todos os componentes do mecanismo, assim como a potência necessária para sustentar o movimento (figura 2).

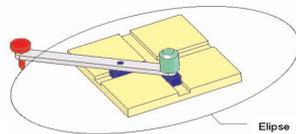
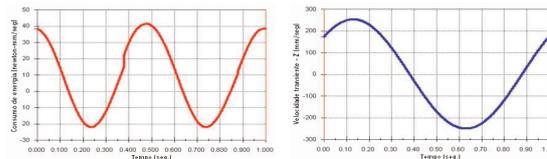


Figura 2
Requisitos de velocidade linear e potência de motor calculados pelo simulador de movimento.



O programa de simulação de movimento utiliza as propriedades do material das peças de CAD para definir propriedades de inércia de componentes do mecanismo e converte as condições dos posicionamentos da montagem CAD em juntas cinemáticas.

A simulação do movimento do mecanismo deslizante invertido, mostrado na figura 3, apresenta um exercício normalmente encontrado em livros sobre cinemática de máquinas. Aqui, o objetivo é estabelecer a velocidade angular e a aceleração do braço do balancim, enquanto a manivela gira em uma velocidade constante. Diversos métodos analíticos podem solucionar o problema, embora o método de números complexos talvez seja o mais usado pelos alunos. Entretanto, solucionar tal problema manualmente requer muitos cálculos e, mesmo com o auxílio de planilhas computadorizadas, podem ser necessárias algumas horas para construir plotagens de velocidade e aceleração. Além disso, se a geometria do elemento deslizante for alterada, todo o processo deve ser repetido. Isso é uma tarefa interessante para estudantes universitários, mas totalmente inadequada no desenvolvimento real de produtos. O software de simulação possibilita simular o movimento do elemento deslizante invertido quase instantaneamente, utilizando os dados já presentes no modelo da montagem CAD.

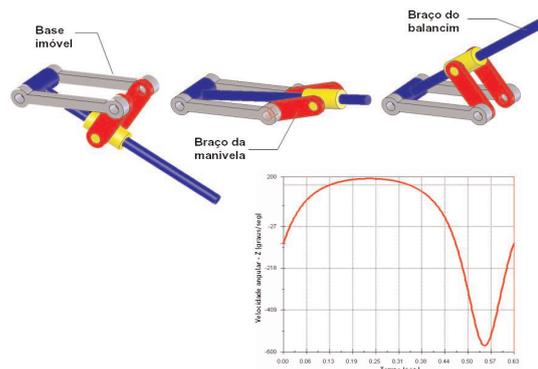


Figura 3
Simulação de um mecanismo de elemento deslizante invertido para calcular a velocidade angular do braço do balancim.

A simulação de movimento também verifica interferências, um processo bem diferente da verificação de interferência disponível com a animação de montagem CAD. A simulação de movimento verifica interferências em tempo real e fornece as posições espacial e temporal exatas de todos os componentes do mecanismo, assim como os volumes de interferência exatos. Além disso, quando a geometria muda, como mostrado no mecanismo de retorno rápido na figura 4, o software atualiza todos os resultados em segundos. Todo e qualquer resultado referente a movimento pode ser apresentado graficamente ou colocado em qualquer formato desejado.

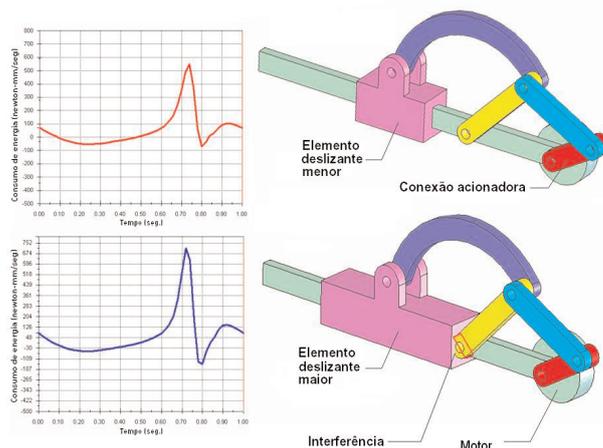


Figura 4
Os usuários podem detectar e corrigir facilmente a interferência entre o elemento deslizante e a conexão acionadora.

A simulação de movimento verifica interferência em tempo real e fornece as posições espacial e temporal exatas de todos os componentes do mecanismo, assim como os volumes de interferência exatos.

Os engenheiros podem representar mecanismos simples como o compasso elíptico ou o elemento deslizante invertido descritos acima. Embora seja difícil e demorado analisar à mão, eles possuem métodos de solução analíticos. Mecanismos 3D, entretanto, mesmo mecanismos simples como os da figura 5, não possuem um método estabelecido de solução analítica. Mas a simulação de movimento pode solucionar facilmente o problema em segundos, pois ela foi projetada para manipular mecanismos de qualquer complexidade, seja 2D ou 3D. O mecanismo pode conter um grande número de elos rígidos, molas, amortecedores e pares de contato com quase nenhum gasto de tempo. Os movimentos da suspensão da extremidade frontal do carro para neve na figura 6, a máquina de exercícios na figura 7 ou a unidade de CD na figura 8, por exemplo, podem ser simulados com a mesma facilidade do elemento deslizante invertido.

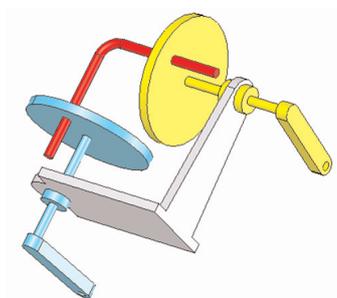


Figura 5
É muito difícil analisar um simples mecanismo 3D à mão, mas para a simulação de movimento não há problema.



Figura 6
A suspensão da extremidade frontal do carro para neve consiste em conexões numerosas como molas e amortecedores.

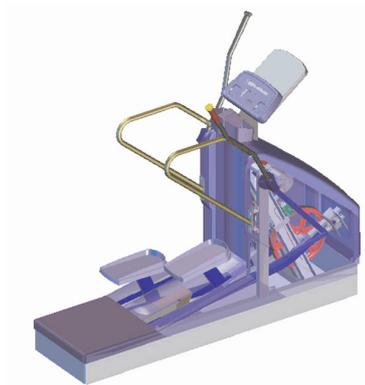


Figura 7
O projeto de uma máquina de exercícios tira proveito da simulação de movimento utilizada para otimizar os passos das trajetórias e calcular a potência gerada pelo usuário.

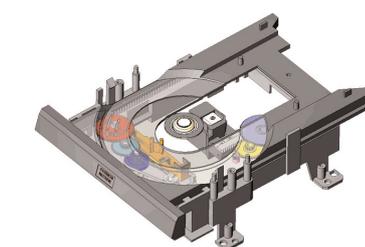


Figura 8
Uma unidade de CD é um mecanismo complexo, ainda assim facilmente analisado pela simulação de movimento.

Além de análises de mecanismo, desenvolvedores de produto também podem utilizar a simulação de movimento para sínteses de mecanismos convertendo trajetórias de movimento em geometria CAD.

Além de análises de mecanismos, desenvolvedores de produto também podem utilizar a simulação de movimento para sínteses de mecanismos convertendo trajetórias de movimento em geometria CAD e usando-a para criar uma nova geometria de peça. A figura 9 exibe um exemplo de problema. Este projeto apresenta uma came que deve mover um elemento deslizante ao longo de um trilho-guia, e utiliza a simulação de movimento para gerar um perfil de came. O usuário expressa a posição do elemento deslizante desejado como uma função de tempo e traça o movimento do elemento deslizante na matriz giratória da came (a chapa arredondada). Em seguida ele converte a trajetória da ferramenta em geometria de CAD para criar o perfil de came mostrado na figura 10.

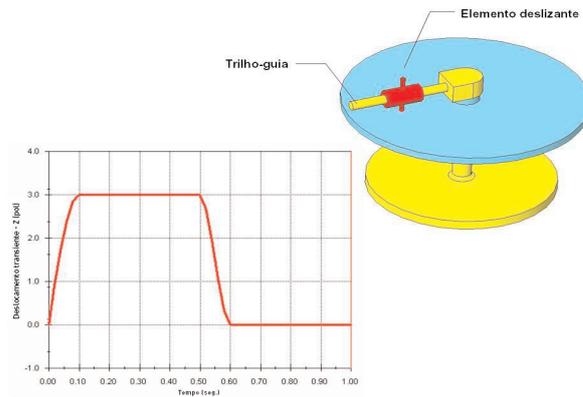


Figura 9
Uma função de deslocamento é aplicada para fazer o elemento deslizante percorrer o trilho-guia.

Os projetistas também utilizam trajetórias para verificar o movimento de um robô industrial.

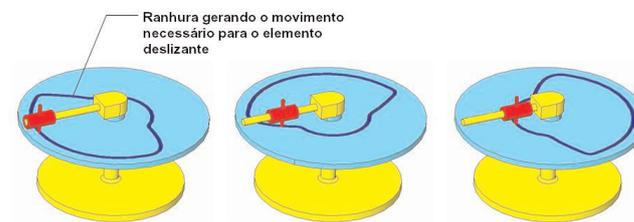


Figura 10
O deslocamento do elemento deslizante é traçado na placa giratória circular para criar um perfil de came, ilustrado aqui com uma ranhura na placa.

Os projetistas também podem usar trajetórias de movimento, por exemplo, para verificar o movimento de um robô industrial mostrado na figura 11 e testar a trajetória da ferramenta. Isso permite obter as informações necessárias para selecionar o tamanho do robô exigido e estabelecer requisitos de potência - tudo sem precisar de testes físicos.

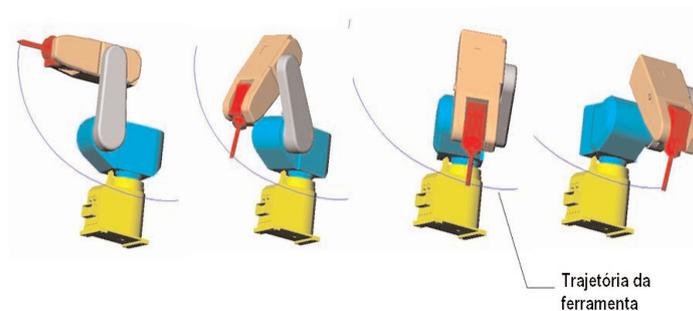


Figura 11
O movimento simulado de um robô através de diversas posições permite criar a trajetória da ferramenta sem a necessidade de testes físicos.

Outra importante aplicação da simulação de movimento está relacionada ao movimento induzido por colisões entre corpos em movimento. Embora certas suposições devam ser feitas sobre a elasticidade desses corpos impactantes, a simulação de movimento produz resultados precisos para mecanismos com componentes que podem experimentar somente contato temporário, como mostrado na figura 12.

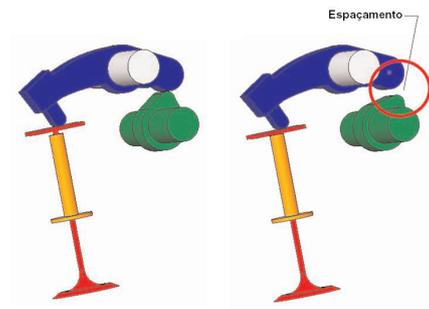


Figura 12
O impacto e o contato podem ser observados na simulação de movimento, por exemplo, para estudar o espaçamento que pode ser formado entre uma came e um seguidor (balancim) e um mecanismo de levantamento de válvula.

Para entender como simulação de movimento e FEA trabalham juntas na simulação de mecanismo, é útil compreender os fundamentos básicos de cada ferramenta.

O uso de simulação de movimento junto com FEA

Para entender como simulação de movimento e FEA trabalham juntas na simulação de mecanismos, é útil compreender os fundamentos básicos de cada ferramenta.

FEA é uma técnica numérica para análises estruturais que acabou tornando-se o principal método CAE escolhido para o estudo de estruturas. Ela pode analisar o comportamento de qualquer objeto elástico apoiado de modo firme, como o suporte mostrado na figura 13. Por "elástico" entende-se que o objeto é deformável. Com a aplicação de uma carga estática, o suporte adquire um formato novo e deformado, e então permanece imóvel. A aplicação de uma carga dinâmica faz com que o suporte vibre em torno da posição de equilíbrio. A FEA pode estudar deslocamentos, esforços, tensões e a vibração do suporte sob cargas estáticas ou dinâmicas.

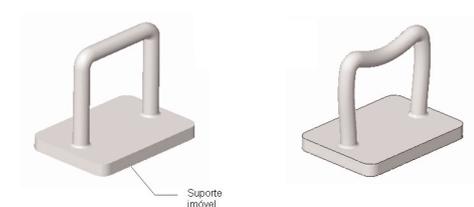


Figure 13
Um suporte apoiado fortemente não pode ser movido sem deformação.

Em contraste, um objeto parcialmente apoiado, como o volante fixado no suporte (figura 14), pode girar sem deformar. O volante pode se mover como um corpo rígido, o que classifica o dispositivo como um mecanismo em vez de uma estrutura. Para estudar o movimento do volante, utilizamos a simulação de movimento. Deformações e tensões não podem ser calculadas ao tratar o volante como um corpo rígido. (Para obter mais informações, consulte o Apêndice 1.)

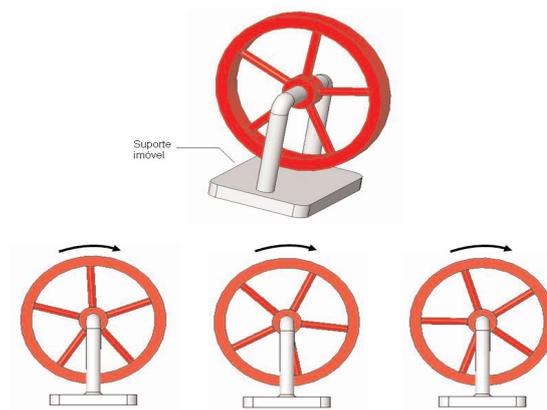


Figura 14
Um volante gira como um corpo rígido sobre a articulação que o liga à base (superior). A presença de movimento de corpo rígido (parte inferior) classifica o dispositivo como um mecanismo.

A diferença entre uma estrutura e um mecanismo pode não ser óbvia à primeira vista.

A diferença entre uma estrutura e um mecanismo pode não ser óbvia à primeira vista, como mostram os dispositivos na figura 15. Ambos possuem balanças traseiras conectadas a uma base imóvel por uma articulação. O dispositivo à direita possui uma mola ligando o braço à base. O dispositivo sem a mola é o mecanismo, pois a balança traseira pode girar livremente. Se ela gira sobre a articulação ou oscila sob a posição de equilíbrio, nenhuma parte do dispositivo tem que se deformar durante o movimento do braço. O braço mostra um movimento de corpo rígido, classificando o dispositivo à esquerda como um mecanismo. Os projetistas podem estudar seu movimento com a simulação de movimento.

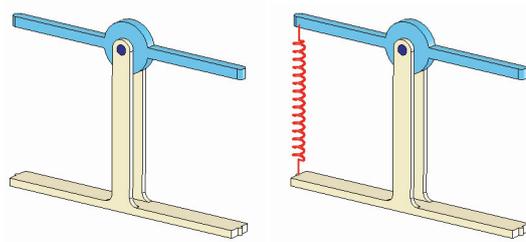


Figura 15
A balança traseira à esquerda pode se movimentar sem deformação; portanto, é um mecanismo. Qualquer movimento no braço à direita é acompanhado por deformação da mola; esta é uma estrutura.

A adição da mola altera a natureza do dispositivo porque agora o braço não pode se mover sem deformar a mola. A única forma possível de movimento contínuo do braço é a vibração sobre a posição de equilíbrio. A deformação na mola acompanha o movimento do braço e isto classifica o dispositivo da direita como uma estrutura. A FEA pode analisar a vibração do braço, e, se desejado, continuar a calcular deformações e tensões na mola e em outros componentes que são tratados como corpos elásticos. (Consulte o Apêndice 2 para obter mais informações sobre as diferenças entre simulação de movimento e FEA.)

Se, após a conclusão dos estudos de simulação de movimento, o engenheiro de projeto desejar executar uma análise de deformação e/ou tensão, o componente selecionado deve ser apresentado à FEA para uma análise estrutural.

Os resultados da simulação de movimento abastecem os dados de entrada (compostos por reações de junta e forças de inércia que agem sobre cada conexão do mecanismo) necessários para análises estruturais conduzidas com FEA. A simulação de movimento sempre calcula esses fatores, seguidos ou não pela FEA. Reações de junta e forças de inércia estão, por definição, em equilíbrio, e componentes de mecanismos sujeitos a um conjunto equilibrado de cargas podem ser submetidos à FEA e tratados pelo programa de análise como se fossem estruturas.

Embora um engenheiro possa transferir os dados da simulação de movimento para a FEA manualmente, obtêm-se melhores resultados se o software de simulação exportar resultados para FEA automaticamente. Quando utilizadas desta forma, a simulação de movimento e a FEA executam o que se denomina simulação "acoplada". Isto oferece a vantagem de definir cargas FEA automaticamente, eliminando suposições e erros comuns à configuração manual.

O exemplo de um problema de mecanismo de manivela mostrado na figura 16 demonstra a simulação acoplada. Aqui, o engenheiro de projeto precisa determinar as tensões máximas na haste conectora.

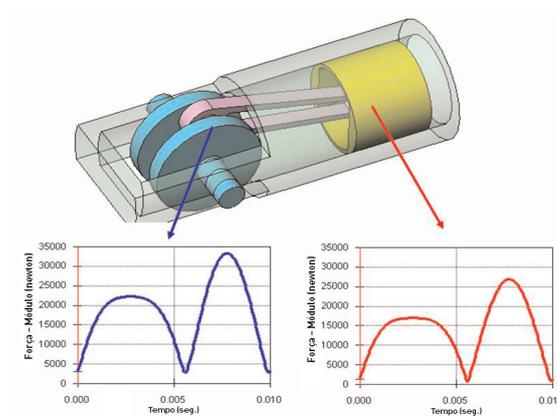


Figura 16
A simulação de movimento encontra reações em ambas as extremidades da haste conectora. As forças de inércia que atuam na haste também são calculadas.

A simulação "acoplada" oferece a vantagem de definir cargas de FEA automaticamente, eliminando suposições e erros comuns à configuração manual.

O procedimento para combinar o uso de simulação de movimento e FEA é:

1. Utilize a simulação de movimento para determinar deslocamentos, velocidades, acelerações, reações de junta e forças de inércia que atuam em todos os componentes dentro da faixa de movimento selecionada para estudo. Nesta etapa, todas as conexões do mecanismo são tratadas como corpos rígidos. As plotagens na figura 16 mostram reações de junta da haste conectora durante uma volta completa da manivela.
2. Determine a posição do mecanismo que corresponde às cargas de reação mais elevadas nas juntas da haste conectora. Os analistas quase sempre buscam as reações mais elevadas porque a análise sob as cargas máximas mostra as tensões máximas experimentadas pela haste conectora. Se desejado, entretanto, é possível selecionar qualquer número de posições (ver figura 17) para análise.

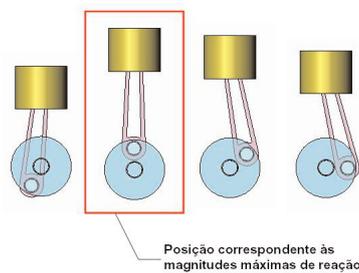


Figure 17
Forças - reações em ambas as extremidades e forças de inércia - que atuam na haste conectora podem ser determinadas para qualquer número posições de mecanismo de eixo de manivela.

Os analistas quase sempre buscam as reações mais altas porque a análise sob as cargas máximas mostra as tensões máximas experimentadas.

3. Transfira essas cargas de reação, junto com a carga de inércia da montagem CAD para o modelo de peça CAD da haste conectora.
4. As cargas que atuam na haste conectora isoladas da montagem consistem em reações de junta e forças de inércia, como mostrado na figura 18. De acordo com o princípio de D'Alambert, tais cargas estão em equilíbrio, possibilitando tratar a haste conectora como uma estrutura sob carga estática.

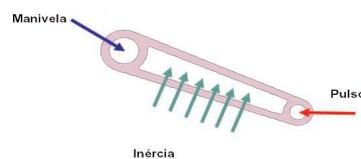


Figure 18
De acordo com o princípio de D'Alambert, reações de junta estão em equilíbrio com as forças de inércia.

5. Uma haste conectora sujeita a um conjunto equilibrado de cargas estáticas recebe propriedades de um material elástico e é submetida a FEA para análise estática estrutural. A FEA executa análises estruturais para encontrar deformações, esforços e tensões (figura 19).

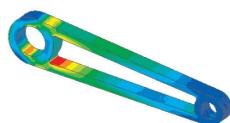


Figure 19
A haste conectora é submetida à FEA como uma estrutura para que tensões possam ser calculadas.

Simulação e teste de movimento

A simulação de movimento é capaz de importar os dados de histórico de tempo de um teste. Desse modo, o movimento de um mecanismo existente pode ser facilmente reproduzido e completamente analisado (incluindo todas as reações de junta, efeitos de inércia, consumo de energia, etc.) com a ajuda de computadores de preços acessíveis em vez de testes demorados e caros. De forma semelhante, um mecanismo pode ser analisado sob uma ação definida por uma função analítica.

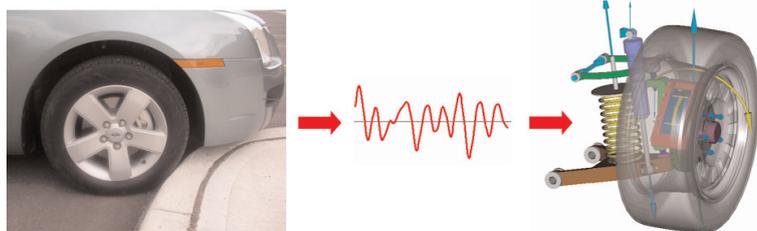


Figura 20

Dados de teste para movimento do braço de controle são utilizados como ação para mover o modelo de suspensão na simulação de movimento.

No caso da suspensão de carro mostrada na figura 20, por exemplo, a simulação de movimento responde a perguntas típicas como: Com que rapidez a oscilação da suspensão será interrompida após a roda bater no acostamento? Qual é o amortecimento necessário na estrutura? Que tensões são induzidas nos braços de controle e em suas buchas?

CAD integrado, simulação de movimento e FEA

Tanto as simulações de movimento quanto a FEA utilizam um modelo de montagem CAD como um pré-requisito para análise. Um ambiente integrado comum a todas as três ferramentas facilita a troca de dados entre CAD, simulação de movimento e FEA. A integração evita a árdua transferência de dados através de formatos neutros de arquivo, típica de aplicativos independentes. Além disso, o uso da simulação de movimento integrada ao CAD, e não com interface para o CAD, reduz consideravelmente o esforço necessário para definir modelos de simulação de movimento.

Conforme mostrado acima, propriedades de material e posicionamentos de montagem CAD podem ser reutilizados ao se criar um modelo de simulação de movimento. As trajetórias de movimento, resultados da simulação de movimento, podem ser reativadas em geometria CAD. Isso, entretanto, só é possível em um ambiente de software integrado. Além disso, a integração com o CAD elimina a necessidade de se manter um banco de dados para modelos de simulação de movimento armazenando dados e resultados de simulações junto com o modelo CAD. Por fim, quaisquer alterações CAD são completamente associáveis a simulações de movimento e FEA.

A simulação de movimento e a FEA utilizam um modelo de montagem CAD como um pré-requisito para análise.

O programa CAD SolidWorks, aliado aos programas suplementares COSMOSWorks (FEA) e o COSMOSMotion (simulação de movimento), representa tecnologia de ponta em ferramentas de simulação integrada. A integração completa foi possível porque o SolidWorks, o COSMOSWorks e o COSMOSMotion são todos aplicativos Windows®. Todos foram desenvolvidos especificamente para o sistema operacional Windows, e não somente convertidos de outros sistemas operacionais. A compatibilidade completa com o Windows também assegura a compatibilidade com outros aplicativos executados nesse sistema operacional.

O COSMOSWorks, programa líder em FEA, já provou ser muito valioso como ferramenta para projeto de produtos trabalhando em conjunto com CAD, como mostrado na figura 21. A inclusão do COSMOSMotion possibilita uma simulação de produtos ainda mais completa, além de ajudar a reduzir o número de protótipos físicos necessários para o desenvolvimento de um produto (figura 22).

O programa CAD SolidWorks, aliado aos programas suplementares COSMOSWorks (FEA) e o COSMOSMotion (simulação de movimento), representa tecnologia de ponta em ferramentas de simulação integrada.

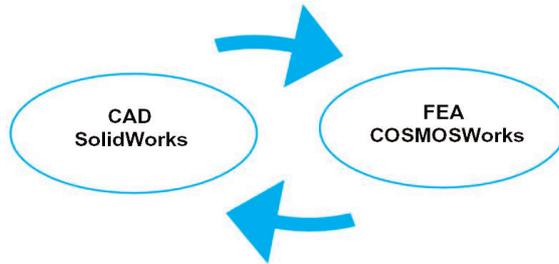


Figura 21
Este processo de projeto utiliza CAD e FEA como ferramentas de projeto.

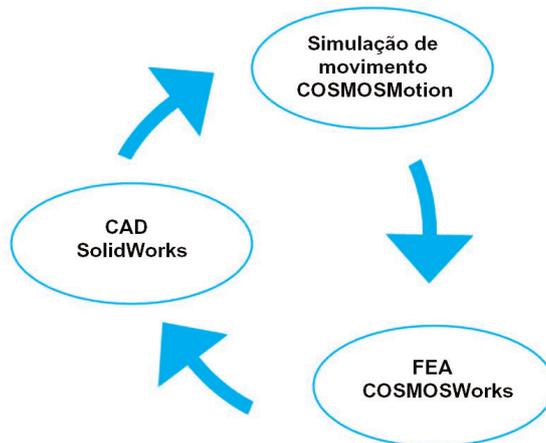


Figura 22
O processo de projeto se beneficia do uso da simulação de movimento junto com CAD e FEA.

Exemplos reais

Tigercat

A Tigercat (www.tigercat.com), líder na fabricação de equipamentos de exploração florestal como tratores de arrasto, tratores de avanço e tratores florestais, utilizou o SolidWorks para projetar o cabeçote do trator florestal mostrado na figura 23. Os engenheiros da empresa simularam suas funções com o COSMOSMotion e o COSMOSWorks. A Tigercat relata que a simulação do movimento, dinâmica e tensões deste complexo mecanismo reduziu os requisitos de teste empíricos a um único protótipo. Os testes de protótipo confirmaram completamente os resultados da simulação.



Figure 23
O cabeçote de um trator florestal da Tigercat, de Bradford, Ontário, Canadá, foi projetado no SolidWorks e simulado no COSMOSMotion e no COSMOSWorks.

A simulação do movimento, dinâmica e tensões desse complexo mecanismo reduziu os requisitos de teste empíricos a um único protótipo.

FANUC Robotics America Inc.

A FANUC Robotics (www.fanurobotics.com) fabrica produtos de robótica amplamente utilizados para auxiliar clientes de diversos setores no sentido de otimizar o trabalho, reduzir os custos, aprimorar a qualidade e minimizar o desperdício em seus processos de manufatura. Para que seus clientes obtenham tais benefícios, a FANUC oferece vários tamanhos de ferramentas robotizadas, como indicado na figura 24, e os clientes devem selecionar o tamanho certo para suas aplicações específicas. A seleção é realizada analisando o desempenho do robô em trajetórias de ferramenta específicas - e a simulação com o COSMOSMotion facilita essa análise e seleção.

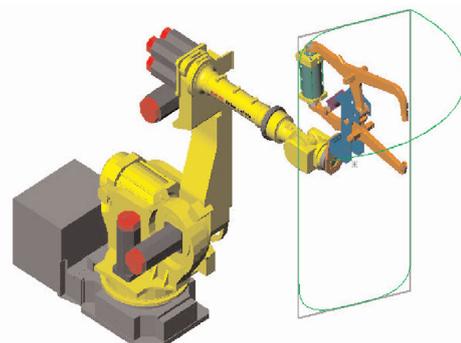


Figure 24
Este robô industrial foi criado pela FANUC Robotics América, de Rochester Hills [Michigan], EUA.

Ward Machine Tool

A Ward Machine Tool (www.wardcnc.com) projeta e fabrica mandris de torno personalizados para rodas de alumínio, atuadores giratórios e acessórios de usinagem especializada. Os engenheiros da Ward projetam produtos personalizados nunca antes fabricados e consideram a simulação indispensável para verificar se um projeto irá funcionar ou não antes de enviá-lo para fabricação. A empresa desenvolveu e testou um mandril de torno de alumínio de atuação dupla/multifaixa mostrado na figura 25, por exemplo, sem testar nenhum protótipo físico. A Ward relata que, graças ao uso do SolidWorks e do COSMOSMotion, economizou cerca de US\$ 45.000 em custos e reduziu 10% no tempo empregado na fabricação e teste.



Figura 25

A Ward Machine Tool de Fowlerville, Michigan, EUA, projetou e simulou o mandril de torno.

Graças ao SolidWorks e ao COSMOSMotion, a empresa economizou cerca de US\$ 45.000 em custos e reduziu 10% do tempo empregado na fabricação e teste.

Synconess

A Synconess (www.synconess.com) é uma agência de desenvolvimento de produtos que trabalha junto aos clientes para desenvolver produtos que variam de equipamentos de exercícios a sistemas a laser. A Synconess utilizou o COSMOSMotion e o COSMOSWorks para otimizar o sistema de conexão de quatro barras para uma plataforma elevadora mostrada na figura 26. De acordo com a Synconess, a equipe de engenharia conduziu a simulação de movimento com pouco treinamento e nenhuma indisponibilidade. A Synconess afirma que o uso da simulação tornou possível conduzir rápidas iterações de projeto e forneceu uma excelente ferramenta de visualização para o cliente. De maneira geral, ela foi vital para o sucesso do projeto.

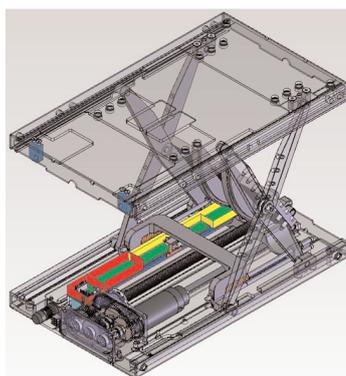


Figura 26

Esta plataforma de levantamento foi projetada pela Synconess, de Westminster, Colorado, EUA, utilizando o SolidWorks, o COSMOSMotion e o COSMOSWorks como ferramentas de projeto.

APÊNDICE 1: Movimento de corpo rígido

Se um objeto pode se mover sem sofrer deformação, ele é descrito como tendo movimento de corpo rígido, ou modo de corpo rígido. A presença de movimentos de corpo rígido classifica o objeto como um mecanismo.

A figura 27 mostra uma junta esférica. A base é imóvel. Esta junta possui três movimentos de corpo rígido, pois pode se mover em três direções independentes, ou três rotações, sem deformação. Três variáveis independentes, também chamadas de graus de liberdade, descrevem a posição deste mecanismo.

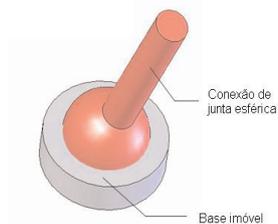


Figura 27
O mecanismo de junta esférica exibido é um par cinemático com três movimentos de corpo rígido.

A presença de movimentos de corpo rígido classifica o objeto como um mecanismo.

A figura 28 ilustra uma placa deslizando em uma base imóvel. Este mecanismo também possui três movimentos de corpo rígido, pois a placa deslizante pode transladar em duas direções e girar em uma direção sem sofrer qualquer deformação. Novamente, três graus de liberdade descrevem a posição do mecanismo.

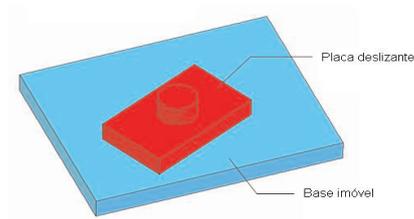


Figura 28
O mecanismo da placa deslizante possui três movimentos de corpo rígido.

A conexão de quatro barras mostrada na figura 29 possui um movimento de corpo rígido. Uma variável independente, a posição angular de qualquer elo, por exemplo, descreve a posição de todo o mecanismo. Observe que, dependendo do projeto detalhado da articulação, pinos de articulação podem ter movimentos de corpo rígido - ou seja, rotação sobre o eixo do pino e/ou deslizamento no eixo do pino.

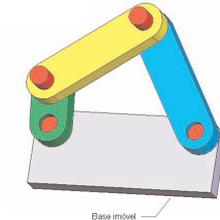


Figura 29
A posição angular de qualquer conexão no mecanismo define a posição do mecanismo inteiro. Este mecanismo possui um movimento de corpo rígido.

Os três mecanismos ilustrados também podem ter graus de liberdade devido a movimento gerado de deformação. Estes são chamados de "modos elásticos". Na ligação de quatro barras, por exemplo, cada elo pode executar um movimento enquanto sofre vibração. Modos de vibração requerem análise com FEA em vez de simulação de movimento.

Modos de vibração requerem análise com FEA em vez de simulação de movimento.

APÊNDICE 2: Comparação entre simulação de movimento e FEA

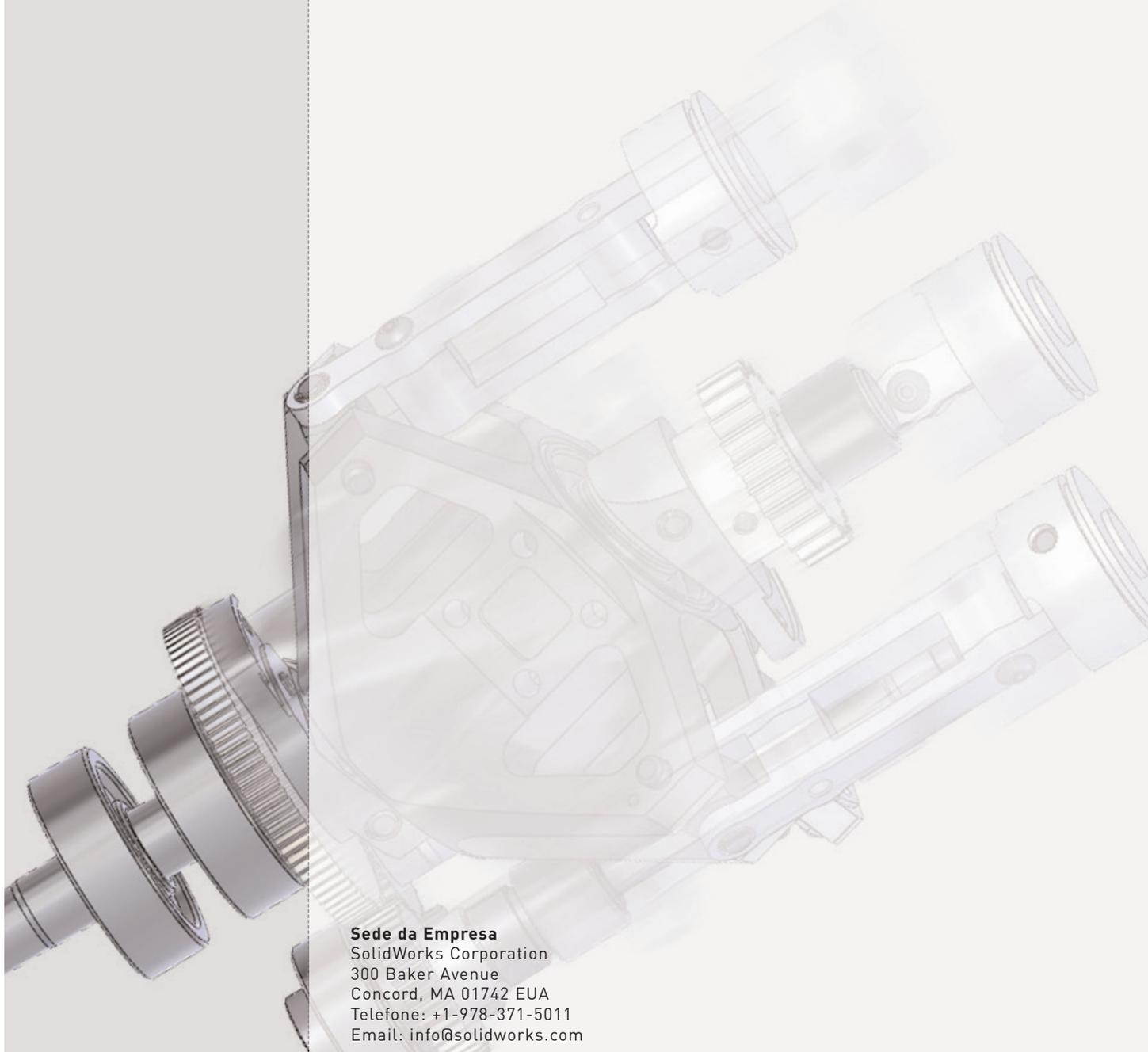
A simulação de movimento e a análise de elementos finitos se complementam e seus territórios podem se sobrepor, como podemos observar na tabela abaixo:

Tipo de problema	FEA	Simulação de movimento
Análise de estruturas (objetos deformáveis)	Sim	Não*
Análise de mecanismos	Não	Sim
Análise de deformações e tensões	Sim	Não
Análise de vibração	Sim	Não**
Análise de modelos com movimentos de corpos rígidos	Não***	Sim
O modelo analisado deve estar em malha	Sim	Não
O modelo analisado é preparado em CAD	Sim	Sim

* A simulação de movimento permite alguns componentes deformáveis, como molas e juntas flexíveis. Se a análise estuda o movimento envolvendo o impacto, o usuário define a elasticidade de corpos em colisão.

** O software de simulação de movimento pode analisar a vibração, se o modelo incluir componentes elásticos como molas. Esta análise de vibração se limita à oscilação gerada pela deformação destes componentes elásticos, enquanto outros componentes de mecanismo (conexões) permanecem rígidos.

*** Com técnicas de modelamento especiais, como a adição de molas suaves ou alívio inercial ao modelo FEA, movimentos de corpos rígidos podem ser eliminados artificialmente a fim de que a FEA possa analisar estruturas com movimentos de corpos rígidos.



Sede da Empresa

SolidWorks Corporation
300 Baker Avenue
Concord, MA 01742 EUA
Telefone: +1-978-371-5011
Email: info@solidworks.com

Sede na Europa

Telefone: +33-4-42-15-03-85
Email: infoeurope@solidworks.com

Sede na América Latina

Telefone: +55-11-3186-4150 ou 0800-772-4041
Email: infola@solidworks.com

COSMOS[®]

Para obter informações adicionais sobre produtos COSMOS,
visite o site do COSMOS em <http://www.cosmosm.com>.



SolidWorks Corporation

SolidWorks é marca comercial registrada da SolidWorks Corporation. COSMOS é marca comercial registrada da Structural Research and Analysis Corporation. Todos os outros nomes de empresas e produtos são marcas comerciais ou marcas registradas dos seus respectivos proprietários. ©2006 Structural Research and Analysis Corporation. Todos os direitos reservados.