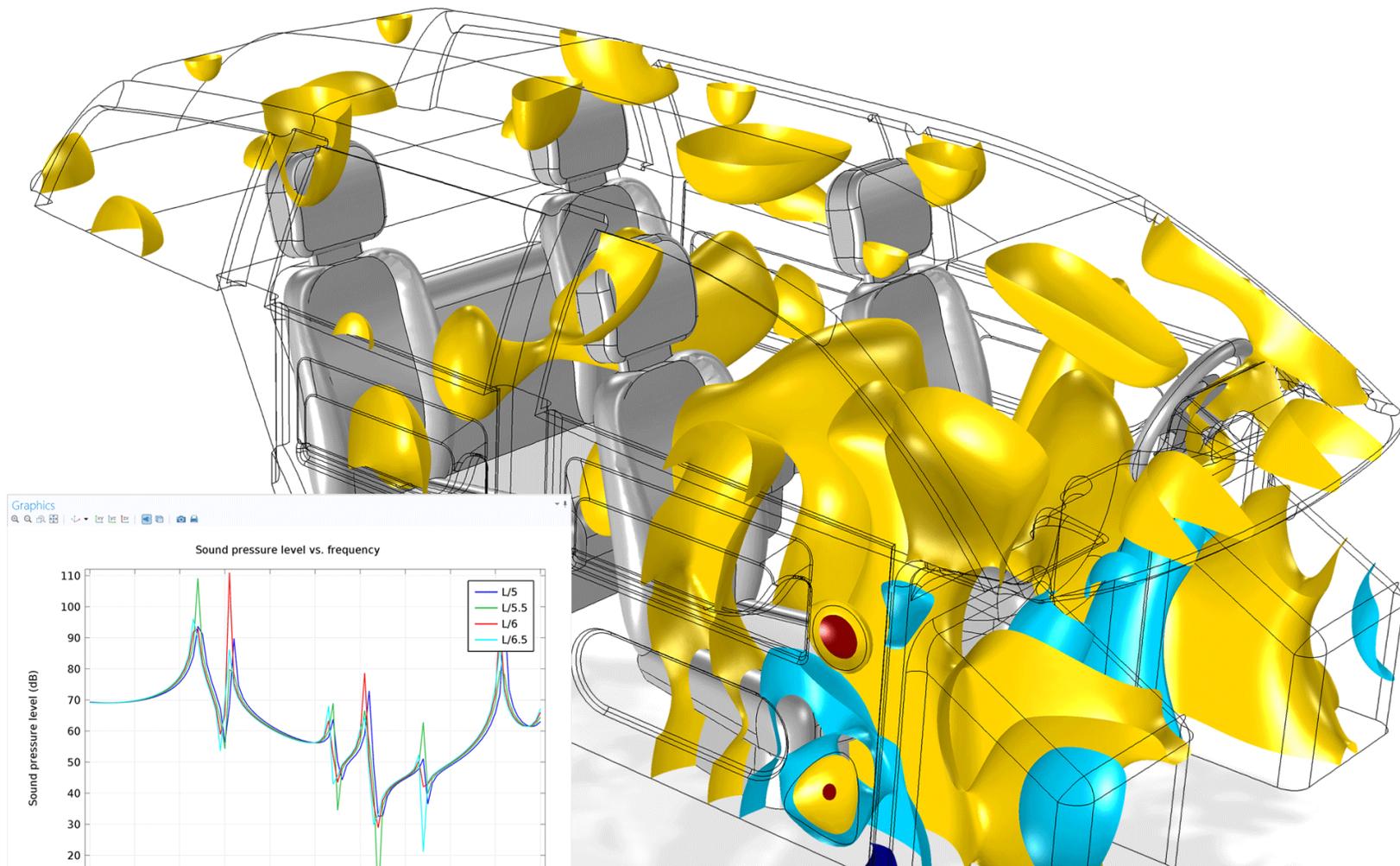
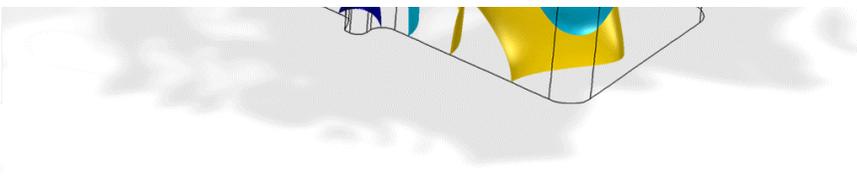
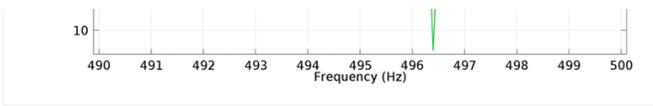


Acoustics Module

Software para Análise de Acústica e Vibrações





Simulação de acústica no interior de um sedã, incluindo fontes sonoras no local dos alto-falantes.

Levando Análises de Acústica e Vibrações a um Novo Patamar

O Acoustics Module é projetado especificamente para quem trabalha com dispositivos que produzem, medem e utilizam ondas acústicas. As áreas de aplicação incluem alto-falantes, microfones, aparelhos de surdez e dispositivos sonares, para citar algumas. O controle do ruído também pode ser visado em aplicações na concepção de silenciadores, barreiras de som e acústica de construções e salas.

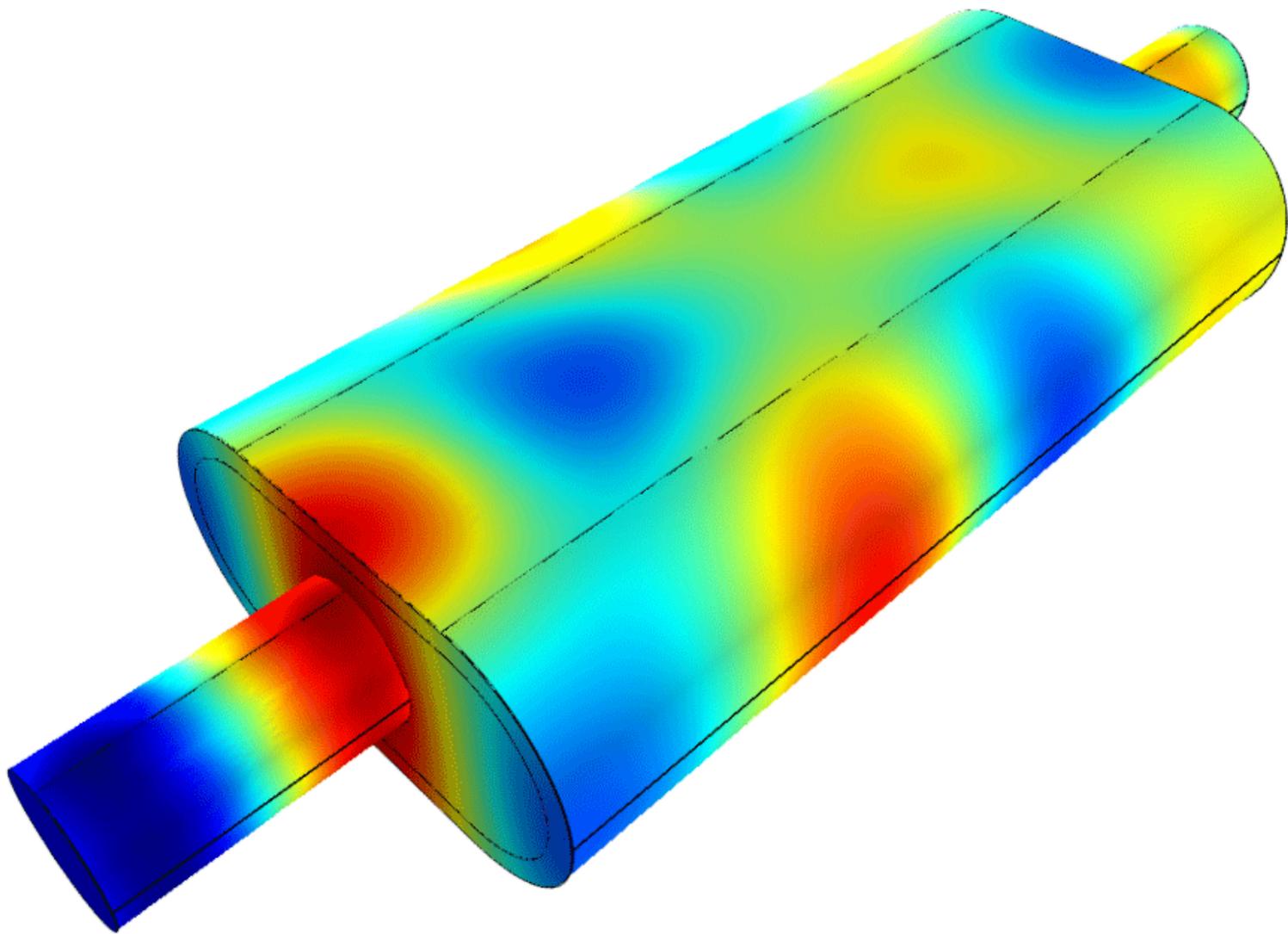
Veja com Outros Olhos os Produtos Existentes e os Novos Projetos

Interfaces de usuário simples e fáceis de usar disponibilizam ferramentas para modelar a propagação de ondas de pressão acústica no ar, na água e em outros fluidos. Ferramentas de modelagem dedicadas para acústica termoviscosa permitem a simulação altamente precisa de alto-falantes miniaturizados e microfones em dispositivos portáteis. Também é possível modelar vibrações e ondas elásticas em sólidos, materiais piezoelétricos e estruturas poroelásticas.

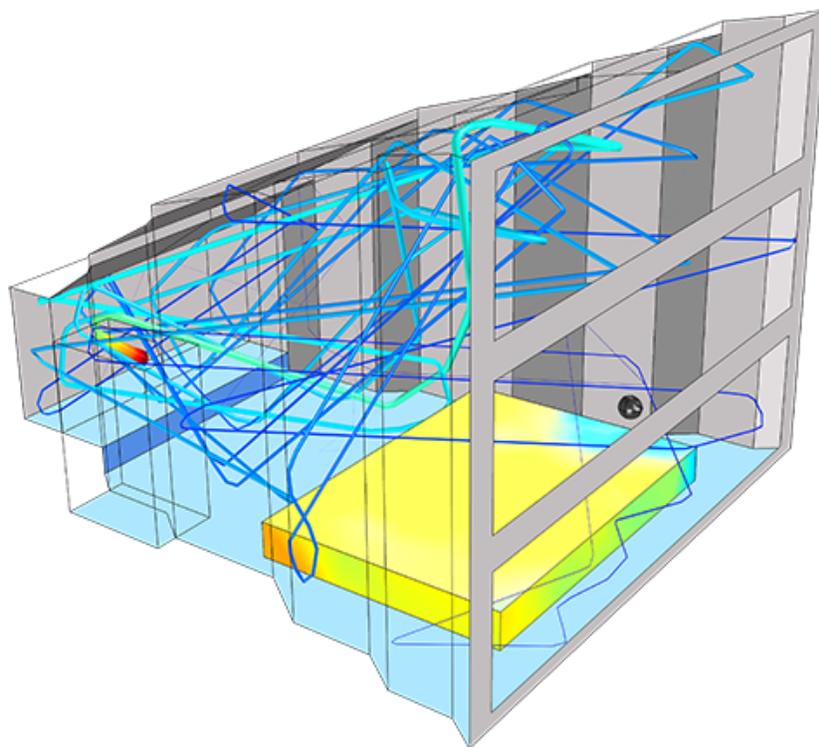
Interfaces multifísicas para acoplamentos acústica-sólido, acústica-casca e piezo-acústica levam as simulações acústicas a um novo nível de capacidade preditiva. Problemas de aeroacústica podem ser modelados usando uma das várias abordagens que fazem uso de equações linearizadas. Problemas de acústica de sala, ou de ambientes externos, podem ser modelados usando métodos de rastreamento de raios ou de difusão acústica.

Usando simulações realistas 1D, 2D, axisimétricas em 2D, ou 3D, você pode otimizar produtos existentes e projetar novos produtos com maior rapidez. As simulações também ajudam projetistas, pesquisadores e engenheiros a verem com outros olhos problemas difíceis de se trabalhar experimentalmente. Ao testar um projeto antes de fabricá-lo, as empresas economizam tempo e dinheiro.

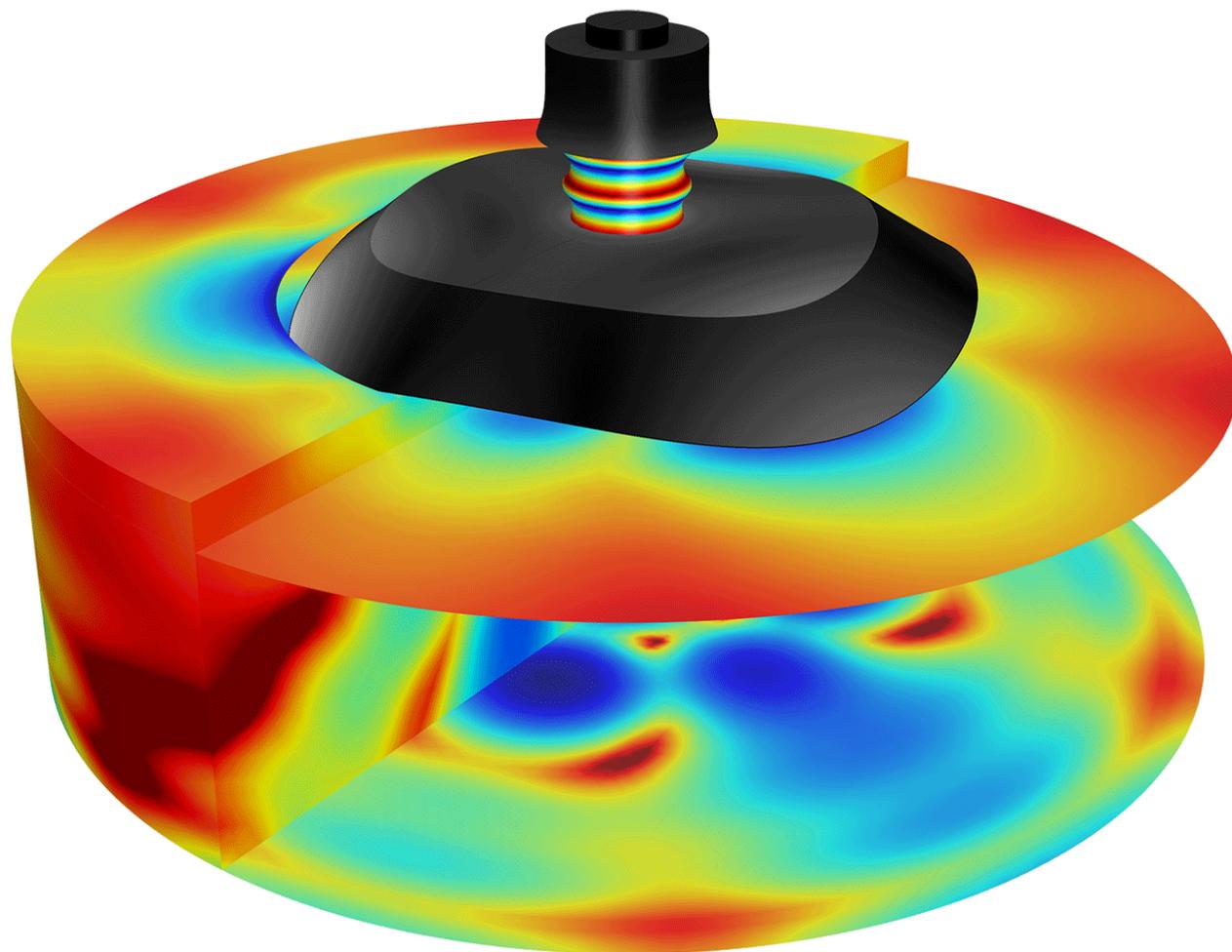
Imagens adicionais:



Distribuição do nível de pressão sonora em um sistema de silenciador.

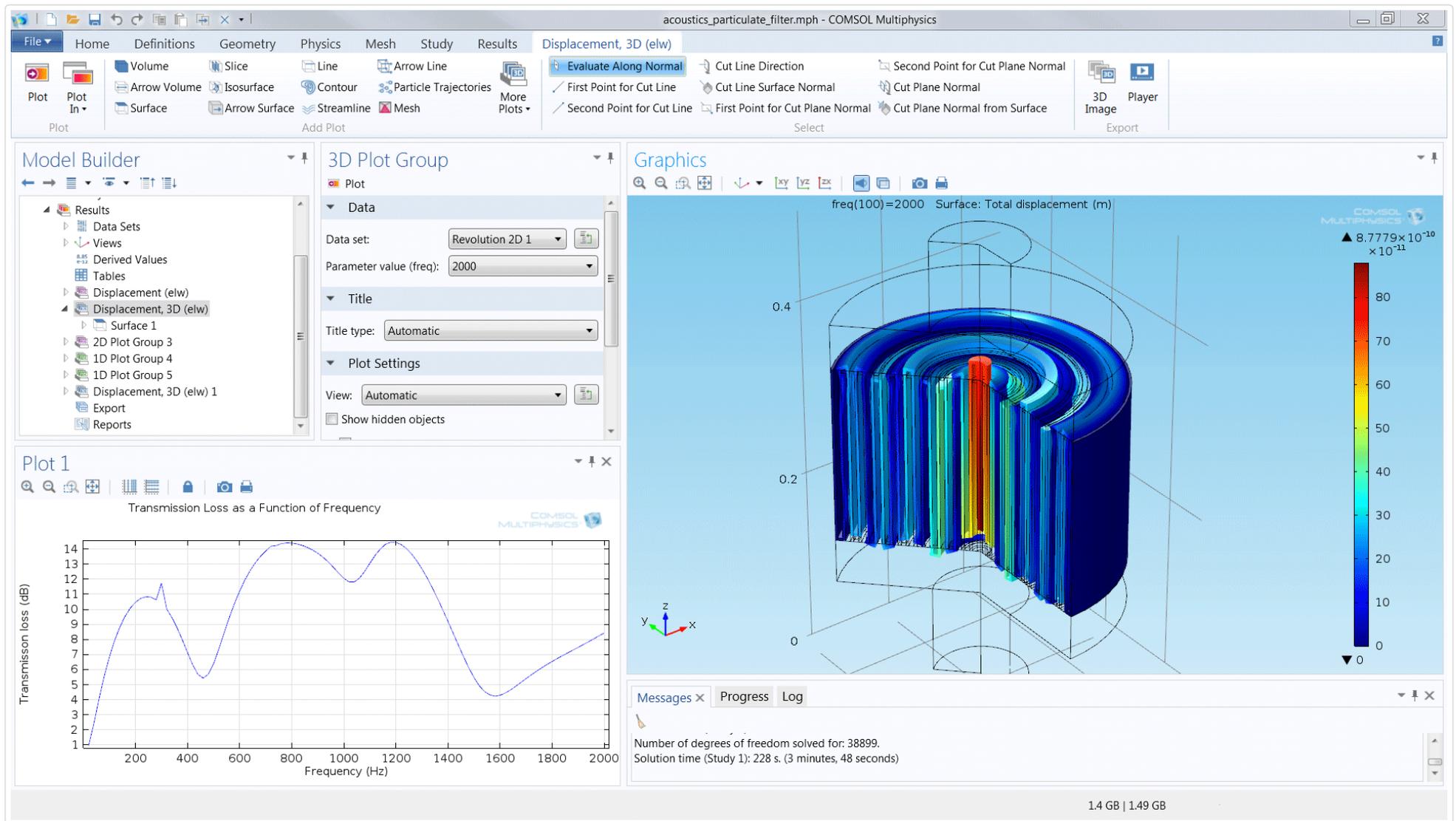


Esta simulação de uma sala para concertos usa acústica de raios para determinar a pressão sonora ao redor do palco e na área dos assentos.

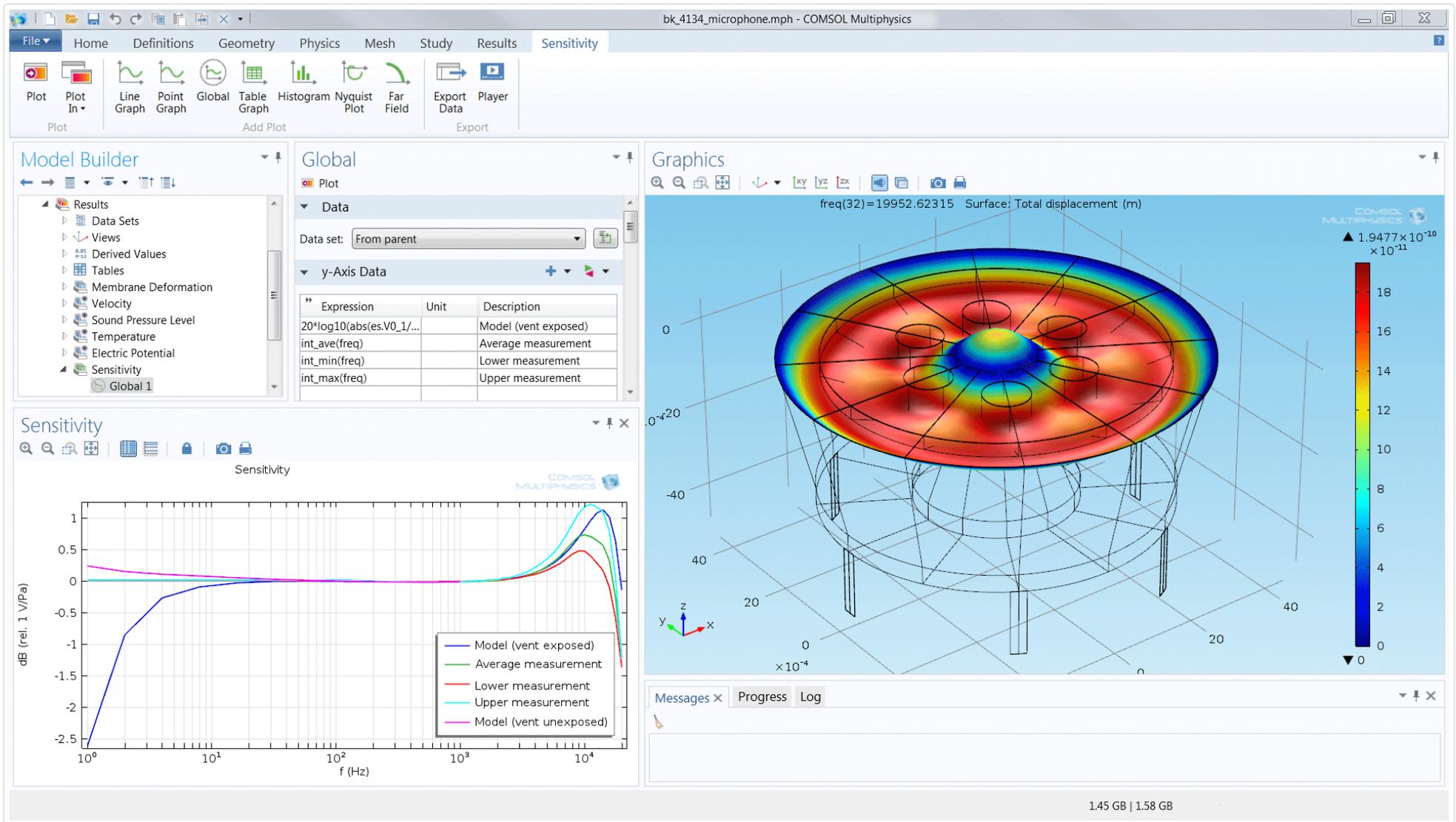


O piezotransdutor tonpilz (cogumelo sonoro) é um transdutor para emissão de som em frequência relativamente baixa e alta potência. O transdutor consiste em anéis piezocerâmicos empilhados entre extremidades maciças e pré-tensionados por um parafuso central. A massa da cauda e da cabeça diminui a frequência de ressonância

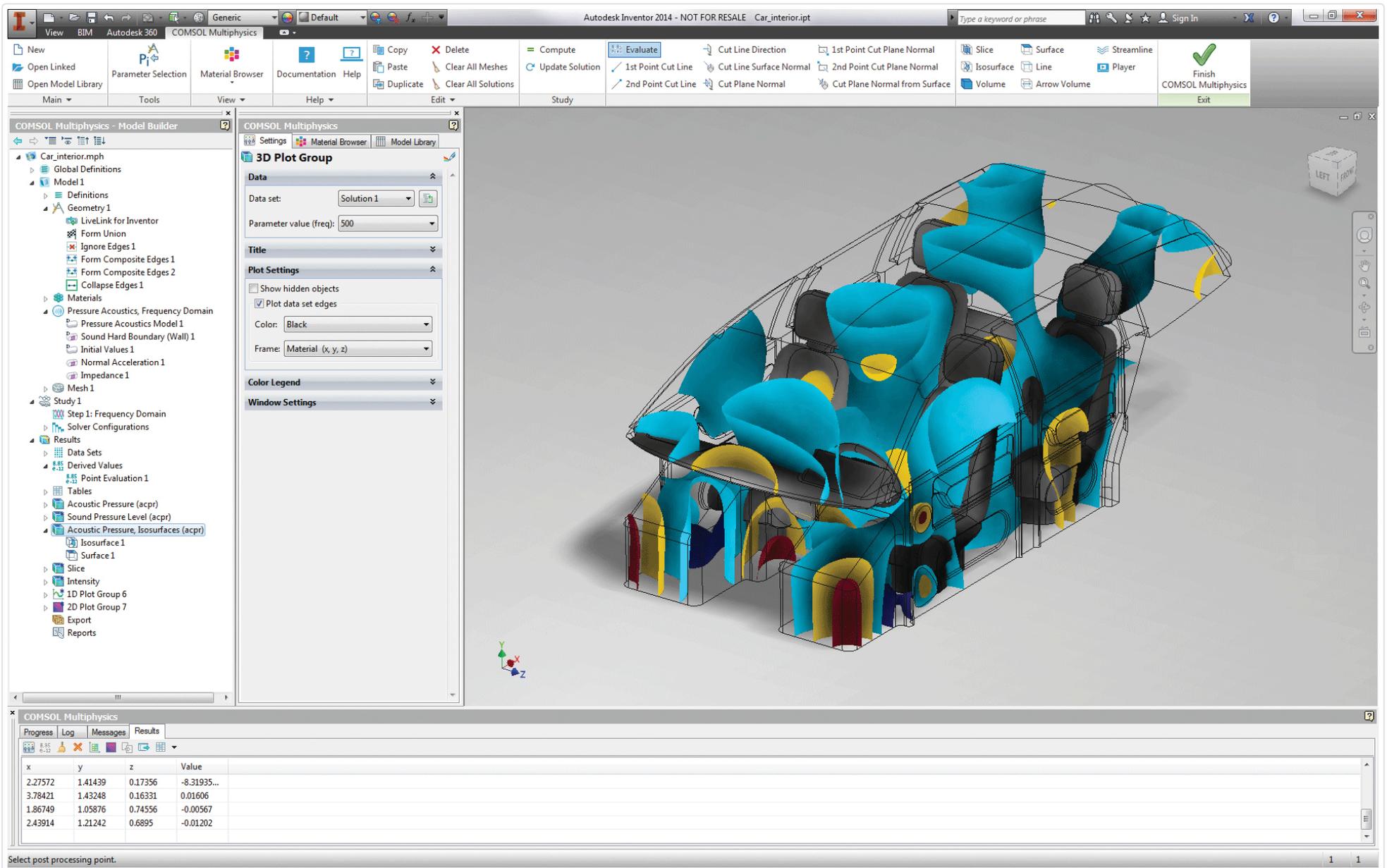
do dispositivo.



Ondas poroelásticas e acústicas em um sistema de filtro de particulados conceitual. Filtros de particulados de diesel (DPFs) são projetados para remover/filtrar fuligem (partículas de diesel) do escapamento de veículos com motor a diesel. Embora a principal função de um filtro de particulados seja filtrar o fluxo do escapamento, ele também possui propriedades de amortecimento acústico relacionadas ao sistema de silenciador.



Este é um modelo do microfone capacitivo Brüel & Kjær 4134. Os parâmetros de geometria e material são os do microfone verdadeiro. O nível de sensibilidade modelado é comparado a medidas realizadas em um microfone real e demonstra boa validação. A deformação da membrana, a pressão, a velocidade e o campo elétrico também são determinados. Modelo cedido pela Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement, Nærum, Dinamarca.



A ilustração mostra isosuperfícies de pressão acústica dentro de um carro. O LiveLink™ for Inventor® permite que os usuários acessem as funcionalidades do COMSOL diretamente de dentro da interface do usuário do Inventor®, inclusive a do Acoustics Module.

Para Modelar uma Variedade de Diferentes Aplicações Acústicas

O Acoustics Module consiste em um conjunto de interfaces físicas – interfaces do usuário com ferramentas de modelagem e simulação associadas – que permitem simular a propagação do som em fluidos e sólidos. Dentro do Acoustics Module, estas são organizadas em acústica de pressão, interação acústica-estrutura, aeroacústica, acústica termoviscosa e acústica geométrica.

As simulações acústicas realizadas com interfaces físicas para acústica de pressão podem modelar com facilidade problemas clássicos como dispersão, difração, emissão, radiação e transmissão sonora. Esses problemas são relevantes para a concepção de silenciadores; construção de alto-falantes; isolamento sonoro para absorvedores e difusores; avaliação de padrões acústicos direcionais, como diretividade; problemas de radiação de ruído; e muito mais.

As interfaces físicas para interação acústica-estrutura podem modelar problemas envolvendo ondas elásticas de estrutura e som transportado por fluido e sua interação. Por exemplo, a interação acústica-estrutura é usada em concepções detalhadas de silenciadores, piezoatuadores de ultrassom, tecnologia de sonares e análise de ruídos e vibração em maquinário. Os recursos do COMSOL Multiphysics permitem analisar e projetar transdutores eletroacústicos, incluindo alto-falantes, sensores, microfones e receptores.

As interfaces físicas para aeroacústica são usadas para modelar a interação unidirecional entre um escoamento externo e um campo acústico, ou seja, ruído propagado via fluido. As aplicações vão desde a análise de ruído de motores a jato à simulação de sensores eólicos.

As interfaces físicas para acústica geométrica incluem interfaces de equações para *Ray tracing* e Difusão acústica. Ambas interfaces são aplicáveis na modelagem acústica de salas e de construções. A interface *Ray tracing* também é usada, por exemplo, em acústica oceânica e acústica atmosférica.

As aplicações de acústica termoviscosa são modeladas precisamente usando as interfaces físicas disponibilizadas. Estas aplicações, que incluem pequenas dimensões geométricas e onde propriedades do fluido viscoso precisam ser consideradas, são relevantes no projeto de telefones celulares, dispositivos de auxílio a audição, dispositivos MEMS e transdutores.

Acoplamentos Multifísicos

Completamente integrado ao ambiente do COMSOL Multiphysics®, o *Acoustics Module* pode ser combinado com outros módulos para uma gama mais ampla de simulações multifísicas. Este é o caso das interfaces multifísicas para as interações acústica-casca e acústica termoviscosa-casca, as quais são disponibilizadas combinando o *Acoustics Module* com o [Pipe Flow Module](#).

Os acoplamentos multifísicos e as interfaces multifísicas predefinidas são configurados no COMSOL Multiphysics através da introdução de um nó Multifísico. Por exemplo, o acoplamento da física que descreve a pressão acústica em um domínio de fluido à física que descreve a mecânica estrutural em um sólido circundante, é obtido no COMSOL Multiphysics através da adição de uma interface *Acoustics* e uma interface *Solid Mechanics* separadamente e então acoplando-as nos contornos usando o acoplamento relevante sob o nó multifísico. Esta funcionalidade torna possível desacoplar o acoplar com apenas uma via as duas físicas contribuintes, bem como dá total controle sobre todas as funcionalidades nas interfaces *Acoustics* e *Solid Mechanics*.

Entre os muitos acoplamentos multifísicos disponíveis, estão as interfaces *Acoustic-Structure Boundary*, o *Aeroacoustic-Structure Boundary* e o *Thermoviscous Acoustic-Structure*. Esses todos acoplam um domínio de fluido à uma estrutura que inclui um sólido, uma casca interna ou externa, ou uma membrana. Também estão disponíveis as interfaces multifísicas *Acoustic-Thermoviscous Acoustic Boundary*, *Acoustic-Porous Boundary* e *Porous-Structure Boundary*, enquanto a interface multifísica *Piezoelectric Effect* conecta uma interface *Solid Mechanics* à uma interface *Electrostatic* para modelagem de materiais piezelétricos. Todos os modelos multifísicos são totalmente acoplados por padrão, mas acoplamentos de uma via ou a dissociação dos acoplamentos pode ser feita através da manipulação do nó *Multiphysics*.

Fluxo de Trabalho Consistente

O Acoustics Module utiliza o mesmo fluxo de trabalho que qualquer outro módulo complementar da Linha de Produtos COMSOL®. Todas as etapas de modelagem são acessadas do COMSOL Desktop® e incluem definição da geometria, seleção dos materiais, seleção de uma interface física adequada, definição das condições de contorno e iniciais, geração automática da malha de elementos finitos, solução e visualização dos resultados. As simulações do Acoustics Module podem ser acopladas a qualquer outro produto complementar do COMSOL Multiphysics®, praticamente de qualquer maneira imaginável, através de um conjunto de acoplamentos predefinidos, como o [Structural Mechanics Module](#) para interação acústica-casca ou por acoplamentos definidos pelo usuário. O [Optimization Module](#) pode ser combinado com o Acoustics Module para otimizar as dimensões geométricas, a transmissão acústica e mais.

Conectando o Acoustics Module a CAD, MATLAB® e Excel®

Para tarefas de modelagem repetitivas, o [LiveLink™ for MATLAB®](#) possibilita comandar simulações COMSOL® através de scripts ou funções MATLAB®. Qualquer operação disponível no COMSOL Desktop® pode ser acessada, como alternativa, por comandos MATLAB®. Também pode-se mesclar comandos COMSOL® no ambiente MATLAB® com códigos MATLAB® existentes.

Para simulações acústicas controladas a partir de planilhas, o [LiveLink™ for Excel®](#) oferece uma alternativa conveniente para modelar a partir do COMSOL Desktop® com sincronização de dados de planilha com parâmetros definidos no ambiente COMSOL®. O [CAD Import Module](#) e os produtos LiveLink™ orientados a sistemas CAD facilitam a realização de simulações acústicas usando modelos CAD. Os produtos LiveLink™ possibilitam manter o Modelo CAD paramétrico intacto em seu ambiente nativo, mas ainda assim controlar as dimensões geométricas dentro do COMSOL Multiphysics®. Conectar seus modelos acústicos a produtos CAD permite realizar simultaneamente varreduras paramétricas sobre vários parâmetros do modelo.

[Ver imagem »](#)

Modelagem Acústica Flexível e Robusta

As equações do Acoustics Module são solucionadas usando o método dos elementos finitos com discretização de elementos de maior ordem junto com solvers de última geração. As diferentes formulações cobrem tanto simulações no domínio da frequência quanto simulações no domínio do tempo. Os resultados são apresentados na janela gráfica por meio de gráficos predefinidos de campos acústicos e de deslocamento, níveis de pressão sonora, tensões e deformações, ou como expressões de quantidades físicas definidas livremente pelo usuário, bem como quantidades tabeladas derivadas.

Simulações Incluindo Perdas Acústicas

O Acoustics Module vem com uma Biblioteca de Modelos abrangente com muitos exemplos de aplicações que vão desde modelar materiais com isolamento sonoro, alto-falantes, microfones e silenciadores. Muitos desses exemplos demonstram como simular perdas acústicas. Os modelos de perda do Acoustics Module vão desde modelos de fluido equivalente empíricos para materiais fibrosos, solucionando a teoria de Biot na interface de Ondas Poroelásticas, a um modelo de perda térmica e viscosa totalmente desenvolvido usando a interface *Thermoviscous Acoustics*.

Interfaces Físicas Fáceis de Usar para Análise Acústica

Acústica de Pressão

As interfaces físicas de Acústica de Pressão descrevem e solucionam o campo sonoro através de um campo de pressão acústica escalar, o qual representa as variações acústicas (ou excessos de pressão) em relação à pressão ambiente estacionária. Elas possibilitam resolver tanto no domínio da frequência, onde a equação de Helmholtz é resolvida, como um sistema transiente, onde a equação escalar clássica para ondas é resolvida. Um interface física especial para a acústica de modo de contorno é usada para estudar modos de propagação em guias de onda e dutos e baseia-se no fato de que somente um conjunto finito de formatos, ou modos, pode se propagar por distâncias mais longas.

Uma grande variedade de condições de contorno é disponibilizada, incluindo paredes rígidas e condições de impedância, radiação, simetria e condições periódicas para modelar contornos abertos, bem como condições para aplicação de fontes sonoras. As interfaces também possuem vários modelos de fluido equivalente, que reproduzem o comportamento da propagação sonora em meios mais complexos, como materiais porosos ou fibrosos. Modelos para canais acústicos estreitos acrescentam perdas termoviscosas associadas aos contornos rígidos em canais estreitos. A atenuação pode ser acrescentada como uma relação definida pelo usuário, ou pode ser calculada para fluidos viscosos e condutores de calor. Camadas perfeitamente compatibilizadas (PMLs) também estão à disposição para truncar o domínio computacional absorvendo ondas acústicas de saída, reproduzindo assim um domínio infinitamente estendido. Por fim, um recurso de campo distante pode ser usado para determinar a pressão fora do domínio computacional. Resultados e recursos de análise dedicados estão à disposição para visualizar o campo distante através de gráficos polares em 2D e 3D.

[Ver imagem »](#)

Interação Acústica-Estrutura

O acoplamento entre domínios de fluido e estruturais é obtido através do uso de interfaces multifísicas predefinidas do *Acoustics Module*, as quais configuram automaticamente as físicas relevantes e os acoplamentos multifísicos. De um lado do contorno fluido-estrutura, as interfaces *Acoustic-Structure Boundary* trabalham com a pressão do fluido que age sobre o domínio sólido, e do outro lado, com deslocamento estrutural acelerado que atua sobre o domínio do fluido. Os acoplamentos multifísicos cobrem aplicações envolvendo interações acústica-sólido, acústica-casca e acústica-piezoelétrico - todas no domínio da frequência e do tempo e em modelos 3D, 2D e 2D axisimétricos. Os acoplamentos envolvendo modelos de cascas são disponibilizados quando o *Acoustics Module* é combinado com o [Structural Mechanics Module](#), onde também é possível acessar recursos mais avançados para modelagem estrutural. Propagação de ondas elásticas é uma área importante para especialistas em acústica. Com o *Acoustics Module* é possível usar a interface *Solid Mechanics* para poder usar a formulação estrutural dinâmica completa que contém todos os efeitos de ondas de cisalhamento e ondas de pressão em sólidos. A interface *Acoustic-Piezoelectric Interaction* não somente simula interação acústica-estrutural de uma forma precisa, mas também resolve o campo elétrico em um material piezoelétrico. Quando combinada com o [AC/DC Module](#) ou o [MEMS Module](#), também é possível combinar simulações piezoelétricas com circuitos SPICE. Essa funcionalidade é excelente para, por exemplo, usar modelos de parâmetros concentrados para descrever parte do comportamento elétrico do transdutor enquanto o modelo de elementos finitos completo é usado para descrever outras físicas.

[Ver imagem »](#)

As interfaces *Pipe Acoustics* (disponibilizadas pelo [Pipe Flow Module](#)) são usadas para a modelagem 1D da propagação de ondas sonoras em sistemas de tubulação flexíveis. As equações são formuladas de maneira ampla para incluir os efeitos de complacência da parede da tubulação com a possibilidade de um escoamento estacionário em segundo plano. A interface *Elastic Waves* é uma formulação estrutural-dinâmica completa que inclui todos os efeitos de ondas de cisalhamento e ondas de pressão. Usando a teoria de biot, a interface *Poroelastic Waves* modela com precisão a propagação do som em um material poroso, incluindo acoplamento bidirecional entre deformação da matriz sólida e as ondas de pressão no fluido de saturação através de uma condição de contorno multifísica dedicada que possibilita o fácil acoplamento entre o domínio poroso e o domínio do fluido.

[Ver imagem »](#)

Acústica Geométrica

O ramo *Geometrical Acoustics* inclui as interfaces físicas *Ray Acoustics* e *Ray Diffusion Equation*. As físicas em ambas as interfaces são válidas no limite da alta frequência, onde o comprimento da onda acústica é menor do que as dimensões das geometrias características. Isto é acima da frequência de Schroeder para salas. Ambas as interfaces são adequadas para modelagem acústica em quartos e construções como salas de concerto. A *Acoustic Diffusion Equation* é restrita a aplicações internas enquanto a interface *Ray Acoustics* pode ser usada, por exemplo, em acústica oceânica e acústica atmosférica. As propriedades acústicas nos contornos são incluídas através de diferentes modelos para a absorção.

A interface física *Ray Acoustics* é usada para calcular as trajetórias, fase e intensidade de raios acústicos. Raios acústicos são válidos no limite da alta frequência, onde o comprimento da onda acústica é menor que as geometrias características. A interface pode ser usada para modelar acústica em quartos, salas de concerto, escolas, prédios de escritórios e muitos ambientes externos. As propriedades dos meios nos quais os raios se propagam podem mudar continuamente dentro dos domínios (domínios graduais) ou descontinuamente nos contornos. Nos contornos externos, é possível associar uma variedade de condições de parede, incluindo combinações de reflexão especular e difusa. A impedância e a absorção podem depender da frequência, intensidade e direção dos raios incidentes. A transmissão e reflexão também são modeladas nas descontinuidades de material. Uma velocidade de fundo também pode ser atribuída a qualquer meio.

[Ver imagem »](#)

A interface física *Acoustic Diffusion Equation* resolve a equação da difusão para a densidade de energia acústica. Ela é aplicável para acústica de alta frequência, onde os campos acústicos são difusos. As propriedades de difusão são dependentes da geometria do ambiente e das propriedades de absorção das paredes, dos acessórios do ambiente (usa absorção volumétrica média baseada na seção transversal média e atenuação) e da atenuação volumétrica (viscosa e térmica apenas em grandes volumes). A interface é adequada para rápidas estimativas da distribuição dos níveis de pressão sonora em construções e outras grandes estruturas.

A interface *Acoustic Diffusion Equation* pode ser usada para determinar o tempo de reverberação em diferentes localizações. Isso pode ser feito realizando uma simulação transiente e observando a curva de decaimento de energia, ou realizando uma análise de autovalores. As entradas para todas as fontes, parâmetros de absorção e perdas de transmissão podem ser determinados usando uma das bandas, disponibilizadas no módulo. Usando estes tipos de entrada e uma varredura paramétrica ao longo da banda estudada, o usuário pode plotar e analisar facilmente os resultados do modelo para expressar os resultados nestas bandas.

[Ver imagem »](#)

Aeroacústica

Idealmente, simulações aeroacústicas computacionais (CAA) envolveriam a solução das equações de Navier-Stokes, para fluidos totalmente compressíveis, no domínio do tempo. As ondas de pressão acústica então formariam um subconjunto da solução do fluido. Esta abordagem frequentemente não é prática para aplicações do mundo real devido a requerida precisão computacional necessária, tempo de processamento e recursos de memória necessários. Em vez disso,

para resolver muitos problemas práticos de engenharia, uma abordagem desacoplada de dois passos é usada: Primeiro resolve-se o escoamento médio de fundo, e então as perturbações acústicas do escoamento. Esta importante interação de uma via é também conhecida como o fenômeno *fluid-borne noise/sound*.

A ferramenta principal no *Acoustics Module* para som propagado pelo ar é o conjunto de interfaces físicas *Linearized Euler* e *Linearized Navier-Stokes*, enquanto as interfaces *Linearized Potential Flow* possibilitam uma abordagem mais simplificada. As interfaces *Linearized Euler* são utilizadas para calcular as variações acústicas na pressão, velocidade e densidade para um escoamento de fundo pré-definido. Elas resolvem as equações de Euler linearizadas, incluindo a equação de energia, com as hipóteses de que o escoamento de fundo é de um gás ideal (ou bem aproximado por um gás ideal) e não existem perdas térmicas ou viscosas. As interfaces físicas *Linearized Euler* estão disponíveis no domínio do tempo, domínio da frequência e para estudos modais. Exemplos de aplicação para aeroacústica usando as equações de Euler Linearizadas incluem a análise de propagação de ruído de motores a jato, modelamento das propriedades de atenuação de ruído em silenciosos na presença de escoamento não-isotérmico, e estudo de fluxômetros. Todas essas são situações onde o escoamento de fundo de um gás afeta a propagação de ondas acústicas no fluido. As interfaces *Linearized Navier-Stokes* são usadas para calcular variações acústicas na pressão, velocidade e temperatura na presença de um escoamento de fundo estacionário, isotérmico ou não. As interfaces são usadas para simulações aeroacústicas que podem ser descritas pelas equações de Navier-Stokes linearizadas. As equações incluem perdas viscosas e condução térmica bem como o calor gerado pela dissipação viscosa. O acoplamento entre o campo acústico e o escoamento de fundo não inclui qualquer ruído induzido pelo escoamento predefinido. Acoplar a interface *Linearized Navier-Stokes, Frequency Domain* à estruturas, usando o acoplamento multifísico *Aeroacoustic-Structure Boundary*, permite a análise detalhada das vibrações em estruturas na presença de escoamentos.

Para interações simplificadas de uma via, as interfaces *Linearized Potential Flow*, estão disponíveis no domínio da frequência e do tempo e utilizam formulações baseadas em potencial. Além disso, a interface *Compressible Potential Flow* é usada para modelar o escoamento de fundo de um fluido compressível invíscido, sem vórtices, já que é irrotacional por natureza. Finalmente, a interface *Boundary Mode Aeroacoustics* é utilizada para se estudar modos de propagação acústica em um campo de escoamento de fundo, tipicamente utilizado para se definir fontes em regiões de entrada.

Acústica Termoviscosa

O *Acoustics Module* oferece recursos de modelagem de última geração para acústica termoviscosa (também chamada de acústica viscotérmica), o que é fundamental para uma simulação precisa da acústica em geometrias com dimensões pequenas. Próximo às paredes, a viscosidade e a condução térmica tornam-se importantes, visto que é criada uma camada limite viscosa e térmica, resultando em perdas significativas. Isso torna necessário incluir efeitos de condução térmica e perdas viscosas explicitamente nas equações. As interfaces físicas para acústica termoviscosa são usadas para solucionar o conjunto completo de equações linearizadas de escoamento compressível com escoamento de fundo zero, ou seja, as equações linearizadas de Navier-Stokes, continuidade e energia, todas juntas. Como uma descrição detalhada é necessária para modelar acústica termoviscosa, todas as interfaces físicas solucionam simultaneamente a pressão acústica, o vetor velocidade das partículas e a variação acústica da temperatura.

Na interface física *Thermoviscous Acoustics*, as equações governantes são implementadas harmonicamente e solucionadas no domínio da frequência. Tanto condições de contorno mecânicas quanto térmicas são disponibilizadas. Acoplar o domínio acústico termoviscoso a um domínio de pressão acústica também é simples e fácil através de uma condição de contorno multifísica predefinida. Um acoplamento *Thermoviscous Acoustic-Structure Boundary* é disponibilizado e facilita solucionar acoplamentos vibroacústicos. Pode-se, por exemplo, usá-lo para modelar pequenos transdutores eletroacústicos ou amortecimento em dispositivos MEMS. Ele também pode ser usado para analisar a interação entre cascas e acústica em pequenas dimensões, por exemplo, as vibrações amortecidas de carcaças de aparelhos auditivos a fim de impedir problemas de retorno.

[Ver imagem »](#)

Ultrassom

As interfaces *Ultrasound* são usadas para calcular a propagação transiente de ondas acústicas por grandes distâncias em relação ao comprimento de onda. Distúrbios acústicos em frequências não audíveis por humanos são classificados como ultrassom. Isso implica que ondas ultrassônicas possuem comprimentos de onda curtos. As interfaces sob o ramo *Ultrasound* não são, contudo, restritas a propagação em alta frequência, elas podem, em geral, ser aplicadas a qualquer problema acusticamente grande.

A interface *Convected Wave Equation, Time Explicit* é usada para resolver grandes problemas acústicos lineares transientes que contém vários comprimentos de ondas em um escoamento estacionário de fundo. Ela é adequada para simulações com fontes e campos arbitrários dependentes do tempo. Em geral, a interface é adequada para a modelagem de sinais acústicos ao longo de grandes distâncias relativas ao comprimento de onda como, por exemplo, em problemas lineares de ultrassom. A interface inclui camadas absorventes que são usadas para modelar efetivamente condições de contorno de não reflexão. A interface é baseada no método descontínuo de Galerkin e usa um solver explícito no tempo. O método requer pouca memória. As áreas de aplicação incluem medidores ultrassônicos de fluxo e outros sensores ultrassônicos onde o tempo de voo é um parâmetro importante. As aplicações não são restritas ao ultrassom. Também incluem, por exemplo, propagação transiente de pulsos de áudio em salas acústicas ou cabines de carros.