



Foto: Neldo Cantanti

Estudo sobre violinos em sala da GM, com o professor Esdras Rodrigues. No destaque, barreiras acústicas na Bandeirantes



# Afinando o som das máquinas, do liquidificador ao Rolls-Royce

LUIZ SUGIMOTO

sugimoto@reitoria.unicamp.br

**C**hegará o dia em que até o ruído do liquidificador se tornará mais agradável, em função da crescente preocupação da indústria com o conforto acústico e a subjetividade da apreciação sonora dos clientes. Saber porque o som da água que pinga da torneira irrita, enquanto o barulho de milhões de gotas de chuva aumenta o prazer de adormecer, é a questão que está na base da psicoacústica, uma ciência relativamente antiga que associa a psicologia com a percepção auditiva, em busca do que no jargão da engenharia se chama qualidade sonora.

O professor José Roberto de França Arruda, do Departamento de Mecânica Computacional da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) da Unicamp, está envolvido com outros colegas em projetos variados, que visam melhorar desde instrumentos musicais e a acústica de salas, até o nível de ruído no interior de automóveis e aeronaves. “Tradicionalmente, a abordagem em laboratório era a de atenuar o ruído e fabricar uma máquina o mais silenciosa possível. No Brasil, instituiu-se o ‘selo ruído’ (1994), que deve indicar o nível da potência sonora de todo eletrodoméstico. Resolvendo este problema básico, vem o cuidado com a impressão que o som causa ao usuário. Para a decisão de compra, o ruído não precisa ser necessariamente baixo, mas agradável”, explica Arruda.

Daí, o fato de a psicoacústica ter na música o seu paradigma. “A música é o som que queremos ouvir, o supra-sumo da qualidade sonora. Existem conceitos musicais que tentamos trazer para a engenharia, a fim de saber como deve soar um produto”, acrescenta o professor, que está à frente do Laboratório de Vibroacústica, onde prepara um projeto para desenvolver novas caixas acústicas que ofereçam melhor direcionalidade do som.

**Testes com júri** – Já no início do século passado há registros de testes de qualidade sonora na indústria automobilística. Buzinas de automóveis eram instaladas em painéis e acionadas diante de um júri que escolhia aquelas com melhor sonoridade. Também eram usados jurados para avaliar o ruído da passagem de automóveis, já indicando preocupação com a poluição sonora. “O teste com júri é típico da psicoacústica e ele deve ser orientado por critérios psicológico. Isto porque um mesmo ruído soa de uma forma se o jurado estiver tranqüilo e em ambiente agradável, e de outra se a pessoa estiver estres-

sada. É necessário avaliar se os juízes estão em situação de certa neutralidade”, explica o pesquisador.

Os ensaios são padronizados, utilizando-se um torso instrumentado de microfones para captar as oscilações de pressão sonora. O intuito é reproduzir toda a dinâmica do aparelho auditivo e a influência da presença da cabeça e tronco humanos. Depois, há uma equalização na reprodução do som. “Ao invés de colocar várias pessoas no automóvel e dar uma volta para que todos ouçam o mesmo som, o que se faz é gravar o som do veículo e reproduzi-lo em ambiente controlado. Cada jurado põe o fone de ouvido e responde a uma série de questões. Esses testes são frequentes na indústria automobilística”, informa França Arruda.

Tais sistemas permitem a edição do som. Identificada uma componente harmônica que torna o ruído do veículo desagradável, pode-se remover aquela faixa de frequência. Se a qualidade subjetiva melhora, o problema é repassado ao engenheiro mecânico, que vai localizar a vibração causadora daquela componente do ruído e tentar eliminá-la. Outra solução comum é aumentar o ruído de outra faixa para encobrir aquele que desagrada, efeito denominado “mascaramento”. “As montadoras têm os setores de NVH (noise, vibration and harshness, ou ruído, vibração e o que pode ser traduzido como aspereza). A partir da análise em laboratório, os engenheiros vão buscar uma solução do ponto de vista da vibração ou do ruído para atingir a meta de qualidade sonora”, explica o professor da FEM.

**Harley-Davidson** – Investir no setor de NVH é mais compensador para a indústria do que fabricar um produto caro, com alta qualidade de componentes e ajustes precisos, pois a engenharia sonora conta com ferramentas que permitem alcançar resultados próximos em veículos de menor padrão. Arruda admite, porém, que o som de um carro de luxo traduz o esmero com que foi fabricado. “As pessoas já se acostumaram a identificar o som da qualidade. A engenharia poderia, por exemplo, fazer com que a batida de porta de um carro popular soasse igual à do Rolls-Royce, mesmo que o cliente não esperasse por isso. Agora, se a batida de porta do Rolls-Royce soar como a de um carro popular, o cliente vai reclamar”.

As montadoras já chegaram ao requinte de definir um ruído de motor associado à marca, podendo devolver ao fornecedor um lote de escapamentos que não atendam a suas especificações. “Nesse aspecto temos outro paradigma, a legendária Harley-Davidson, que está comemorando 100 anos de existência. Foi a primeira empresa a patentear o ruído de um motor. Ninguém pode fabricar uma motocicleta que imite aquele som, que se tornou uma assinatura, o espírito da marca. O problema dos engenheiros da Harley, agora, é garantir que o ronco do motor não seja distorcido com a adoção de novas tecnologias, o que seria inadmissível para os adeptos”, finaliza França Arruda.

Foto: Antoninho Perri



José Roberto de França Arruda no laboratório da FEM: pesquisas para tornar os ruídos mais agradáveis

*Saiba mais sobre a psicoacústica, ciência que associa a psicologia com a percepção auditiva*

## Simulando turbilhões

Não é tão óbvio. Uma das principais fontes de ruído de um avião em movimento pode não estar nos motores ou nas turbinas, mas sim no escoamento do ar em torno da parte externa da estrutura. As pressões aerodinâmicas induzem fenômenos de choque: na asa, por exemplo, o ar passa rapidamente e cria áreas de turbilhões que fazem com que a estrutura vibre. O acoplamento entre o ruído aerodinâmico e as vibrações estruturais gera pressões sonoras muito elevadas no interior das aeronaves.

O ruído gerado seria insuportável para os passageiros se a aeronave não trouxesse embaixo da estrutura metálica várias camadas mescladas de diversos materiais de isolamento, como espumas acústicas, fibras de vidro, mantas e câmaras de ar. Também no Departamento de Mecânica Computacional, o professor Renato Pavanello e o pós-graduando Francisco Ilson da Silva Júnior projetam novos programas computacionais que permitem calcular espessuras, formas e distribuição das propriedades de cada um destes materiais.

“Desenvolvemos métodos que podem ser aplicados em aeronaves, automóveis, habitações, estúdios, auditórios. São ferramentas de simulação computacional que permitem ao engenheiro aprimorar produtos e técnicas do ponto de vista do conforto acústico”, explica Pavanello. Estudar a vibração estrutural de um lado, o efeito acústico de outro, e no meio a eficiência dos materiais isolantes, seria em princípio uma tarefa simples. Mais complexo é o estudo destes fenômenos de forma acoplada, uma palavra-chave no trabalho realizado por orientador e orientado. “Topologia, forma dos corpos, propriedades mecânicas como densidade, porosidade e tortuosidade dos materiais poroelásticos são algumas das informações computadas”, afirma Ilson da Silva Jr.

As aeronaves dão a medida da complexidade da ferramenta desenvolvida na FEM,

mas é com a indústria automobilística que se mantém um contato privilegiado. Segundo Pavanello, uma parceria com a General Motors permitiu que seus engenheiros realizassem pesquisas de pós-graduação no laboratório. “A GM possui um campo de provas muito bem equipado em Indaiatuba, inclusive com uma área específica de vibração e ruído, e poderia simplesmente importar softwares para análise vibroacústica. Mas, antes de aplicar estas ferramentas em projetos reais, seus engenheiros procuram a equipe do DMC para aprimorar seus conhecimentos. O nosso simulador está no mesmo nível daqueles vendidos internacionalmente”, assegura o professor.

Pavanello ressalta ainda o domínio pleno sobre a ferramenta, visto que foi totalmente desenvolvida na FEM com as técnicas atuais de programação computacional, o que permite disponibilizá-la para outros pesquisadores da área. O programa está sendo desenvolvido por uma equipe de pós-graduandos e conta com a participação decisiva do professor Janito Vaqueiro Ferreira, que é especialista em computação científica.

Ainda não é possível utilizar o programa em meios abertos tridimensionais, infinitos, como na simulação do ruído transmitido por veículos até as residências ao redor de uma rodovia. “É difícil modelar uma fronteira não reflexiva usando dimensões finitas. Para isso, usam-se técnicas que truncam o espaço de análise, tentando representá-lo como se fosse o entorno de uma estrada. Sobre isso, já temos várias pesquisas interligadas”, informa o professor.

Embora não seja projeto da FEM, quem circula pela Rodovia dos Bandeirantes



Foto: Neldo Cantanti

Ilson da Silva Júnior e o professor Renato Pavanello: cálculos no computador para garantir o conforto acústico

pode perceber barreiras acústicas que protegem um condomínio vizinho, na chegada a São Paulo. “Parte do som reflete na barreira e outra parte passa sobre ela. É possível diminuir consideravelmente o ruído nas residências, desde que se utilize material adequado e a posição das barreiras seja correta. Isto nosso software é capaz de simular”.