



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

UMA METODOLOGIA EXPERIMENTAL PARA AVALIAÇÃO VIBROACÚSTICA DE AERONAVES

Raquel Fava de Bitencourt, raquelfb@emc.ufsc.br¹

Ricardo Luís Schaefer, ricardolchaefer@gmail.com¹

Julio Alexandre de Matheucci e Silva Teixeira, garrincha05@gmail.com¹

Samir Nagi Yousri Gerges, samir@emc.ufsc.br¹

¹UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis-SC-Brasil,

Resumo. *Nas últimas décadas, o transporte aéreo vem apresentando um crescimento sem precedentes, colocando-se como um dos meios de transporte de passageiros e cargas mais importantes. Esse crescimento é acompanhado pelo desenvolvimento de novas aeronaves, as quais buscam satisfazer níveis de qualidade cada vez mais rígidos. Estas aeronaves devem apresentar características que atendam aos interesses das companhias operadoras em pontos como desempenho e custo de operação, assim como garantir o conforto dos passageiros e da tripulação. O conforto do passageiro de avião engloba vários aspectos, dentre os quais estão inseridos o ruído e a vibração e, para estudá-los, faz-se necessário entrevistar pessoas em presença dos estímulos. Em voos reais esse tipo de estudo é oneroso e, com isso, recomenda-se a utilização de simuladores de cabine fixados no solo, capazes de reproduzir com fidedignidade sinais de ruído e vibração gravados em uma aeronave real. Com esse intuito, uma vez controlados os estímulos vibroacústicos, muitos ensaios subjetivos podem ser feitos. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de avaliação do conforto vibroacústico no interior de aeronaves, abrangendo: definição da semântica apropriada, desenvolvimento de ferramentas para os ensaios subjetivos e resultados preliminares.*

Palavras-chave: *conforto, ruído, vibração, aeronave*

1. INTRODUÇÃO

O termo conforto é muito utilizado para meios de transporte e está associado a características diferentes entre os consumidores. Para aeronaves, Bitencourt *et al.* (2006) verificaram em seus estudos que a poltrona, o atendimento e a temperatura são os três critérios que mais influenciam o conforto, nessa ordem. Já o ruído associado à vibração e o espaço interno do avião encontram-se empatados em quarto lugar.

Na área da aviação civil, os estudos relacionados à vibroacústica no interior das aeronaves sempre partiram de preocupações com a saúde da tripulação. Por exemplo, Sundback e Tingvall (1980) destacam fatores como desempenho, fadiga da tripulação e segurança em voo. Entretanto, como as viagens de avião tornaram-se parte da rotina diária das pessoas, aumentando assim o tempo de permanência dos passageiros e da tripulação, estudos sobre o conforto em aeronaves estão sendo desenvolvidos.

Muitos fatores podem afetar a percepção de conforto de um produto. Tais fatores podem estar relacionados com o grau de exigência, ansiedade, motivação, classe social, sexo e aspectos emocionais do indivíduo, como descrito por Björk (1985); Blauert e Jekosch (1997); Quehl (2001); Västfjäll *et al.* (2002); Västfjäll *et al.* (2003); Lima (2005).

Bowen e Lyon (2003) afirmaram que as características de um produto estão relacionadas fortemente às expectativas que os clientes têm para com o produto. Assim, é natural que se espere um determinado tipo de som para um determinado tipo de produto. Se um produto não "soa" como o esperado, seu grau de aceitabilidade diminui e sua "qualidade é mais baixa". Um exemplo da qualidade sonora para o interior da aeronave é que esta contempla a preservação de ruídos e vibrações necessárias, uma vez que os passageiros já estão acostumados a eles, e ruídos normais acabam sendo associados a questões como segurança. Porém, se um produto é diferente, a experiência mostra que um novo som pode se tornar aceitável. Com isso, nem sempre a redução do ruído e da vibração causa necessariamente melhora na sua qualidade.

O conforto em passageiros de veículos é determinado por aspectos do ambiente físico e social assim como as características de cada passageiro. Entretanto, a maioria dos estudos sobre conforto de passageiros diz respeito aos parâmetros

físicos do meio de transporte. O ruído interno e a vibração aparecem entre os principais fatores físicos. Em aeronaves, ambos ruído e vibração são citados como os de maior importância para o nível de conforto percebido Quehl (2001).

Estudos visando o entendimento dos fatores que afetam o conforto ou desconforto, incluindo o vibroacústico experimentado pelos passageiros, foram desenvolvidos apenas recentemente nos projetos: (a) Identificação de um índice de conforto em passageiros de avião (IdEA - PACI) e (b) Ambiente amigável na cabine de avião (FACE) . Ambos foram desenvolvidos na Europa e são, portanto, representativos para os usuários europeus.

O projeto IdEA-PACI teve como primeiro passo um estudo psicoacústico para identificar os descritores e desenvolver um instrumento que traduzisse as solicitações do ambiente e as impressões subjetivas. Investigações experimentais em voo e em laboratório foram feitas para prever o nível de conforto e identificar os principais parâmetros físicos que afetam o conforto dos passageiros. Os testes realizados apontaram os diferentes parâmetros que contribuem para definir o *status* desse conforto e seus resultados apontaram que tais ensaios possuíam limitações pelo fato do conforto ser complexo e com muitas variáveis. Também demonstram uma complexa interação entre ruído e vibração. Um dos resultados mais surpreendentes e significativos destes testes foi aquele que demonstrou que passageiros preferem níveis mais elevados de ruído quando níveis de vibração elevados estão simultaneamente presentes. Nestes casos, paradoxalmente, a redução dos níveis de ruído reduz a sensação de conforto. Portanto, o bem-estar do passageiro dentro do avião é uma função complexa de ambos: ruído e vibrações, conforme Mellert *et al.* (2006).

Entre os diversos parâmetros relacionados com o conforto no interior de aeronaves, o campo acústico e o campo vibratório exercem papel fundamental. Apesar de ser uma área relativamente consolidada na indústria automobilística, é ainda carente de informações (ou com informações proprietárias) na indústria de aeronaves para passageiros. Por outro lado, o incômodo relacionado a estas perturbações e o conforto em geral vem sendo citado como um requisito importante para os passageiros. Portanto, existe um impacto direto destes fatores na aceitação e na posição de mercado dos fabricantes de aeronaves em todo o mundo.

Alguns estudos sobre essa temática foram iniciados aqui no Brasil, dentre os quais podemos citar as pesquisas que estudaram a semântica para a caracterização apropriada e a metodologia de avaliação do ruído para o interior de aeronaves (Bitencourt, 2008), que abordaram a avaliação e modelagem da qualidade sonora para aeronaves comerciais (Paul (2009)), estudos preliminares sobre a excitação de uma poltrona de um simulador de um avião, entre outros.

Em função das limitações existentes nas normas atualmente utilizadas, principalmente com respeito a vibrações, e da relativa incipiência dos trabalhos desenvolvidos na área, faz-se necessário estudar, de forma mais abrangente, a interação entre níveis vibroacústicos e conforto.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de avaliação do conforto vibroacústico no interior de aeronaves, abrangendo: definição da semântica apropriada, desenvolvimento de ferramentas para os ensaios subjetivos e resultados preliminares.

2. METODOLOGIA

2.1 Definição da semântica apropriada para avaliação do conforto vibroacústico

Inicialmente foi feito um estudo acerca das palavras, adjetivos ou substantivos, que são compartilhadas por um grande número de pessoas para qualificar ou descrever o som e a vibração no interior de aeronaves. Para que essas palavras, aqui denominadas de descritores, fossem eliciadas, foram elaborados alguns instrumentos para coletá-las de diferentes formas, em um ambiente próximo ao ambiente real de voo. O trabalho completo dos descritores para o ruído encontra-se em Bitencourt (2008), e para a vibração em Teixeira *et al.* (2009).

Os descritores que foram utilizados para o ruído são perturbador/não-perturbador; suportável/insuportável; confortável/desconfortável; intenso/não-intenso e estável/instável, enquanto que os descritores para a vibração foram: fraca/forte; suportável/insuportável; constante/inconstante; confortável/desconfortável.

2.2 Desenvolvimento de ferramentas para os ensaios subjetivos de conforto vibroacústico

2.2.1 Local de ensaio, seleção e reprodução de estímulos

Os ensaios de conforto vibroacústico foram realizados no simulador do Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) como mostra a Fig. (1).

Sob o piso do simulador, foram colocados 12 isoladores helicoidais com o objetivo de isolar a vibração do piso das demais estruturas e minimizar o acoplamento axial de vibrações (Fig. (2)). Foram escolhidos cinco sons e cinco vibrações gravados em um voo real de uma aeronave em condição de cruzeiro. Dentro do simulador, há uma poltrona (Fig. (3)) do mesmo modelo das utilizadas em aeronaves, e uma tela sensível ao toque que é utilizada para coletar a resposta dos jurados.

Para gravação dos sinais de ruído na aeronave, foram utilizados equipamentos de gravação biaricular (Fig. (4)), que levam em conta peculiaridades do sistema de audição humano como binauralidade, propagação do ruído na cavidade



Figura 1. Simulador vibroacústico da UFSC.



(a) Montagem do sistema de isolamento



(b) Montagem após colocação de pisos e sistema de iluminação

Figura 2. Montagem do sistema de isolamento do Mock-up.



Figura 3. Poltrona de coleta das respostas subjetivas.

auricular e reflexões nos ombros, por exemplo.

A cabeça artificial é basicamente um manequim que busca representar a forma humana com especial detalhamento para a região de ombros e cabeça. Nesta última, maior atenção é dada para as orelhas e canais auditivos, sendo o tímpano substituído por microfones. São equipamentos de grande sensibilidade e desenvolvidos exclusivamente para este tipo de medição, não sendo, de forma alguma, substituíveis por sistema simples de medição, como microfones somente. Outra peculiaridade da cabeça artificial é que deve ser acomodada nos bancos do avião da mesma forma que uma pessoa sentada. Para isso, conta com uma base regulável a ser fixada no assento, permitindo a regulagem da parte superior, o torso em si, de forma a atingir o correto posicionamento do equipamento, como exemplifica a Fig. (5).

O ruído aeronáutico é reproduzido com a utilização de um fone de ouvido do modelo HD580 (Sennheiser), como pode ser visto na Fig. (6(c)), que responde na faixa de frequência de 16 a 30.000 Hertz, juntamente com um equalizador digital modelo PEQ V (Head Acoustics), mostrado na Fig. (6(d)). Desta forma, é possível garantir a equalização adequada dos sons com o volume correto. O programa utilizado, o HEADAudioRecorder, ao tocar sons com extensão dat ou hdf, repassa as informações do som real ao equalizador, para que este ajuste em tempo real a equalização e o volume. Sendo



(a) Equipamento portátil de gravação biaricular



(b) Cabeça artificial de gravação biaricular

Figura 4. Equipamentos de gravação biaricular.



Figura 5. Cabeça artificial fixada no assento.

assim, sons com faixas dinâmicas e equalizações diferentes podem ser tocados no mesmo ensaio sem que haja necessidade de interferência do experimentador.

Para a reprodução das vibrações, o simulador é equipado com três excitadores posicionados nos eixos ortogonais x, y e z (frontal, lateral e vertical, respectivamente) de modo a produzir vibrações nestas três direções. Todos os atuadores são do modelo ButtKicker Concert (The Guitammer Company Inc.), apresentado na Fig. (6(a)), que possui boa resposta na faixa de frequência de interesse (5 a 200 Hertz), juntamente com os amplificadores de potência MK 3.0 (Mark Audio), mostrado na Fig. (6(b)), que possui dois canais de saída, e ButtKicker BKA 1000-N, de um canal. Já para a medição destas vibrações, fez-se uso do acelerômetro triaxial Brüel & Kjær 4321, que possui boa resposta na faixa de 0,1 a 10.000 Hz, associado a 3 amplificadores de carga PCB 422e12 e a um condicionador de sinal PCB 482a16. O ponto de medição no simulador foi similar ao local aonde foram adquiridos os sinais de vibração na aeronave, ou seja, um pouco à frente do pé da poltrona.



(a) ButtKicker

(b) Amplificador

(c) Fone

(d) Peq

Figura 6. Reprodutores de vibração e ruído e seus respectivos amplificadores.

Os sinais medidos em voo, quando utilizados para excitação de uma estrutura complexa, sofrem a influência de diversos fatores como, por exemplo, o material do piso, as condições de temperatura e umidade, o sistema de isolamento, os componentes da própria estrutura e da massa colocada sobre ela, entre outros. Para realizar a adaptação destes estímulos, tornando-os o mais próximo do desejado, foi realizada a programação de um sistema digital de controle. Este sistema consiste na correção em tempo real das vibrações medidas em cada eixo, a partir de uma comparação do espectro

destas medições com o espectro das vibrações de voo. Devido ao acoplamento axial, este processo é feito em sequência para cada eixo, e não concomitantemente. Primeiramente, realiza-se a medição da vibração no eixo frontal de vibração, corrigindo-a e utilizando o novo sinal para excitação. Este procedimento, que tem a duração de um segundo, é repetido para os eixos lateral e vertical. Repete-se então sucessivamente esse processo até que as alterações nos níveis de vibração sejam praticamente imperceptíveis.

2.2.2 Métodos de avaliação subjetiva

Situações experimentais são planejadas para evitar ambiguidades ao apresentar o estímulo e questionar os sujeitos. É necessário distinguir entre o que o indivíduo realmente percebeu e a maneira como ele responde. Para tal, é preciso selecionar técnicas e métodos de avaliação subjetiva que minimizem o efeito de respostas enviesadas. Os métodos escolhidos para este trabalho foram o Diferencial Semântico (DS) e a Escala de Resposta (ER) (Fig. (7)).

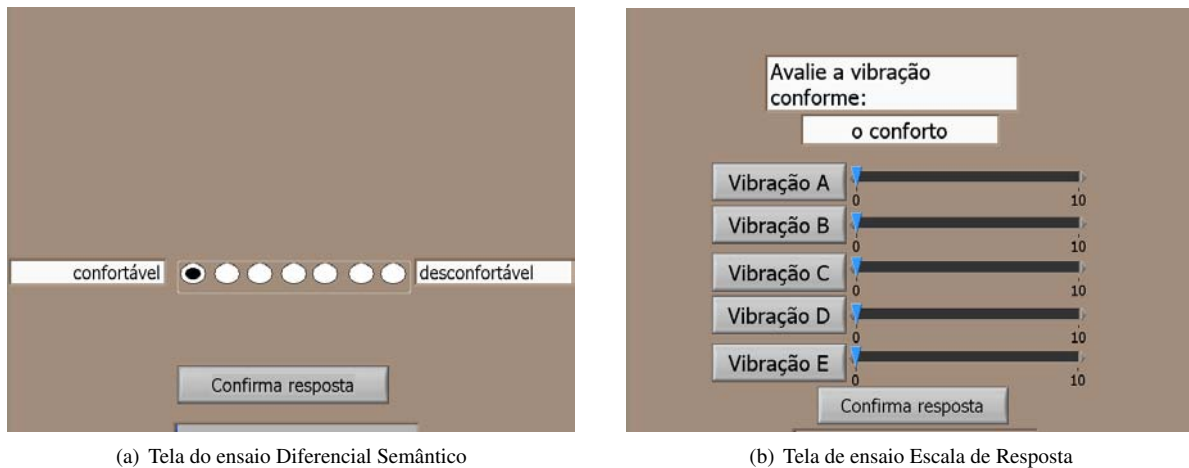


Figura 7. Telas dos ensaios.

O DS foi originalmente desenvolvido por Osgood *et al.* (1957) para medir o significado conotativo, por meio de uma escala. Trata-se de um método generalizável e flexível utilizado para identificar e medir as dimensões psicológicas consideradas importantes na avaliação dos conceitos e estímulos. Esses autores reforçaram que o DS deve ser adaptado às necessidades de cada problema de pesquisa, uma vez que não existem padrões a serem seguidos.

O método é composto por sete escalas representadas nos extremos por pares de adjetivos bipolares (Osgood *et al.* (1957); Müller e Scütte (2006)). Geralmente são escolhidos adjetivos para representar as escalas, mas outros tipos de palavras ou expressões também podem ser escolhidos para compor o DS.

A ER é um método de avaliação no qual o sujeito em teste avalia os estímulos reproduzidos, atribuindo uma posição em uma reta numerada nos extremos. Para a análise, compara-se tal posição com uma régua e atribui-se um valor (Rohrmann (2003)). É um método rápido e simples, uma vez que a maioria das pessoas está habituada com o processo de avaliação. Além disso, fornece uma informação quantitativa direta sobre as diferenças entre um estímulo e outro.

2.2.3 Desenvolvimento de Software

Em qualquer tipo de investigação científica, são coletados ou produzidos dados a serem transformados em informações. Os processos pelos quais isso acontece envolvem a coleta, organização e análise dos dados.

Para ajudar no processo de coleta, organização e análise dos dados, são utilizadas ferramentas de estatística e lógica, interfaces desenvolvidas para cada tarefa, tecnologias como computadores portáteis, entre outras. Todas as formas de comunicação e interfaces apresentam vantagens e desvantagens. Quando os ensaios são realizados por meio manual, "lápiz e papel", são mais fáceis de ser implementados do que interfaces computadorizadas e existem vários guias disponíveis para a elaboração de questionários (Osborne e Clarke (1973); Brace (2004); Paul *et al.* (2008)).

Em substituição aos formulários em papel, neste trabalho foi utilizado um *laptop* ligado a uma tela sensível ao tato (Fig. (8)). Este sistema é utilizado para o auxílio do pesquisador na realização das pesquisas de campo, permitindo um rápido acesso a dados e também uma instrução da tarefa padronizada, gerando um banco de dados confiável. Permite ainda ao usuário um maior controle dos estímulos (som e vibração), sem depender do pesquisador, e facilita a tabulação dos dados, além de passar mais credibilidade ao sujeito a respeito da pesquisa.

A interface de avaliação do conforto vibroacústico para os dois métodos de avaliação subjetiva foi desenvolvida no Laboratório de Vibrações e Acústica da USFC, a partir da linguagem de programação LabVIEW, da National Instruments. O *software* é composto por configuração, cadastro, familiarização e ambientação, treinamento e avaliação, os quais serão



Figura 8. Jurado realizando ensaio.

descritos a seguir.

A configuração permite que o pesquisador cadastre quantos estímulos e quantos itens forem necessários para o julgamento com o Diferencial Semântico e Escala de Resposta. Também é possível escolher se os adjetivos e os sons serão ou não embaralhados, delimitar o tempo de ambientação, escolher o programa de reprodução do som, do filme de ambientação e o local de armazenamento das respostas.

Quanto à lista dos itens que deve ser informada, cabe ressaltar que aqui o experimentador ou informa uma lista já existente ou cadastrará itens novos. Os itens são frases ou expressões adequadas para expressar a tarefa. Certos cuidados devem ser tomados para deixar a tarefa bem compreensível e não ambígua para o ouvinte. Isso requer experiência do experimentador e a realização de pré-testes. Destaca-se aqui a atividade de avaliação que deve ser compreendida pelos participantes da pesquisa. Não é suficiente estar clara para o pesquisador. As instruções devem ser testadas para evitar respostas ao acaso. Os itens podem ser apresentados de forma aleatória para diminuir efeitos de ordem. Da mesma forma, os sons podem ser embaralhados. O *software* gravará a ordem de reprodução junto aos resultados. Uma vez armazenados todos os dados de configuração do ensaio, ao iniciar o programa o pesquisador pode escolher se quer iniciar os ensaios com as configurações já feitas ou se quer configurar novo ensaio.

A primeira tela da interface é o cadastro do participante com um número já adquirido anteriormente. Posteriormente, é apresentado um questionário inicial contendo informações básicas (dados demográficos). A verificação do número de viagens e uma pergunta sobre a ocorrência de perturbação causada pelo ruído e pela vibração no interior do avião foram adicionadas para agrupar as opiniões dos participantes.

Utiliza-se o termo familiarização quando os estímulos a serem julgados são apresentados aos jurados antes da própria sessão de julgamento. Nesse caso, é importante que os sujeitos não sintam por muito tempo estes estímulos, mas que este tempo seja suficiente para conhecê-los. Para evitar ou pelo menos diminuir esse fenômeno, os sujeitos também são submetidos à apresentação de três minutos de estímulos reais capazes de provocar a adaptação. Esses estímulos são característicos do interior de aeronaves e apresentados simultaneamente a um filme de explicação sobre o que o participante deve fazer. Sugerem-se mais estudos sobre o tempo de ambientação apropriado para obtenção de resultados fidedignos.

Após a familiarização e ambientação o participante é solicitado a fazer o treinamento do primeiro teste, quando ele aprende como deve ser avaliado o som através deste método. No caso do DS é utilizada a técnica da tarefa secundária, onde ele avalia o tempo (clima) do dia. Se o sujeito considera o clima bom, ele vai marcar mais próximo do adjetivo bom conforme sua percepção sobre o dia. Se ele acha ruim, ele fará o mesmo para o adjetivo ruim. Se ele não considera nem ruim, nem bom, ele marca na escala do meio. O treinamento é fundamental para a verificação do aprendizado sobre a avaliação que deverá fazer.

Para a avaliação dos sons em si, a criação da interface possibilitou:

- A facilitação para o usuário, deixando-o livre para responder durante o tempo que fosse necessário;
- A padronização da aplicação dos ensaios;
- Agilização na tabulação dos resultados, evitando o desperdício de tempo e a redução do número de erros que possam ocorrer na tabulação manual dos dados;
- Para o DS, as escalas são apresentadas uma a uma, evitando que o participante mude de opinião e tente ser coerente na resposta. A idéia é que ele avalie o som espontaneamente, de acordo com a escala que aparecer. Uma vez marcada e confirmada, o sujeito não pode voltar atrás. Entretanto, observa-se que, para julgar o som e a vibração, o indivíduo utiliza experiências vividas, comparando-as;

- A apresentação aleatória dos estímulos e dos itens, evitando influência da aprendizagem e do cansaço em algumas escalas e estímulos específicos;
- A redução da expectativa do participante com a barra de status, a qual informava-o, de maneira visual, em que etapa da avaliação ele estava e quanto faltava para finalizar;
- O armazenamento dos dados. Uma grande contribuição deste *software* foi a facilidade no acesso das informações, o qual gera um arquivo .txt que pode ser facilmente aberto por programas como o Microsoft Excel.

Cabe ressaltar que o *software* sofreu ajustes durante o processo, em busca do aperfeiçoamento para aplicação dos métodos escolhidos.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

Participaram 10 estudantes de graduação e pós graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, sendo 8 do sexo masculino e 2 do feminino. As idades variaram entre 19 e 29 anos, com média de 24,7 anos e desvio padrão de 3,7 anos. Todos haviam viajado pelo menos uma vez de avião. A média de viagens realizadas nos 12 meses anteriores ao ensaio foi de 6,9 ainda que 30% não tenham viajado.

Os resultados aqui apresentados referem-se à avaliação de 5 sinais de vibração. Vale ressaltar que apesar da avaliação ser direcionada para vibração, as pessoas eram estimuladas concomitantemente com ruído e vibração.

Para o DS, a avaliação dos estímulos foi feita separadamente. O estímulo foi contínuo, e em cada tela o participante foi solicitado a marcar um ponto em uma escala de sete pontos conforme a percepção do som. Para o item confortável/desconfortável foi solicitado ao voluntário que, se percebesse o som confortável, marcasse mais próximo da palavra "confortável", se percebesse o som desconfortável, marcasse mais próximo da palavra "desconfortável". Para a análise dos resultados, cada ponto da escala foi associado com um número. Para o item confortável/desconfortável, por exemplo, o número 1 significa que a pessoa marcou no espaço mais próximo do descritor confortável, e o número 7 mais próximo do descritor desconfortável. A numeração serve apenas para correspondência com o local de marcação, não considerando equidistância entre os pontos da escala.

As diferenças na distribuição das avaliações do par suportável/insuportável dadas pelos participantes aos cinco estímulos podem ser melhor visualizadas por meio da Fig. (9), a qual mostra que 100% das observações centrais das avaliações do sinal 3 e 4 estão mais próximas do adjetivo suportável do que as do sinais 1, 2 e 5.

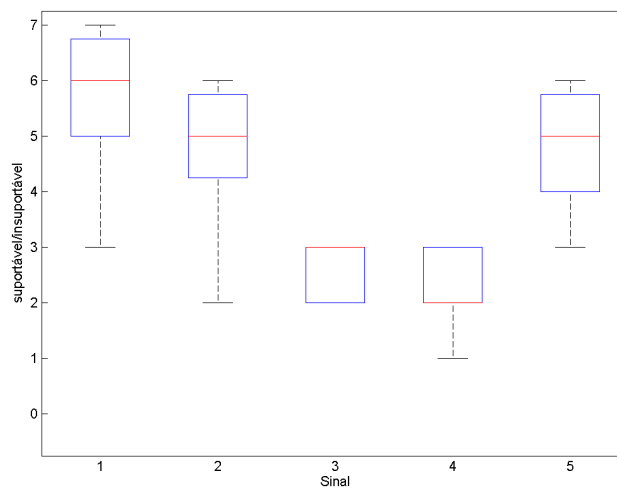


Figura 9. Diagrama de caixa comparativo das avaliações do item suportável/insuportável no DS para os sinais de 1 a 5.

As diferenças na distribuição das avaliações do par fraca/forte dadas pelos participantes aos cinco estímulos podem ser melhor visualizadas por meio da Fig. (10), a qual mostra que 50% das observações centrais das avaliações do sinal 3 e 4 estão mais próximas do adjetivo fraca do que as do sinais 1, 2 e 5.

Analisando as avaliações para os pares confortável/desconfortável e constante/inconstante, observa-se uma maior dispersão dos resultados.

A Fig. (11) apresenta o diagrama de caixa comparativo dos sinais avaliados para o par confortável/desconfortável.

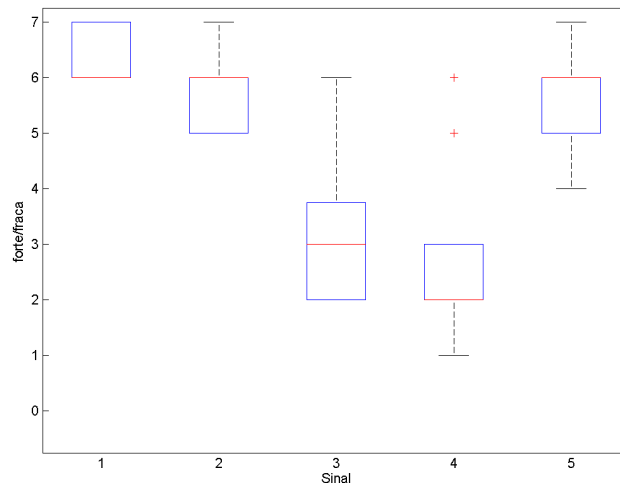


Figura 10. Diagrama de caixa comparativo das avaliações do item fraca/forte no DS para os sinais de 1 a 5.

Nesta imagem, vê-se que 50% das observações centrais das avaliações do sinal 1, 2, 3 e 5 estão mais próximas do adjetivo "desconfortável" enquanto que 50% das observações centrais do sinal 4 estão mais próximas do adjetivo "confortável".

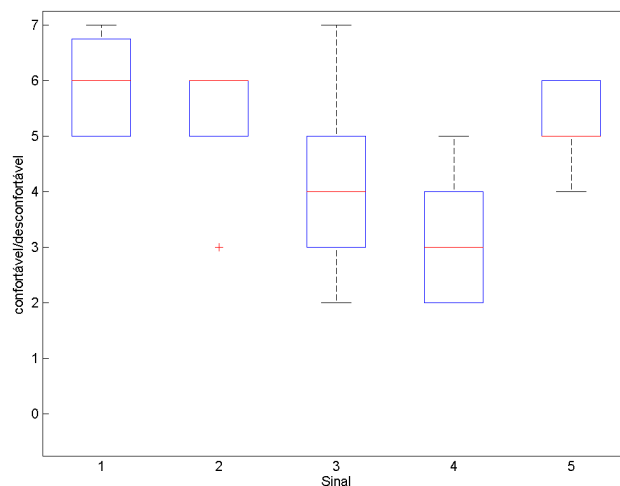


Figura 11. Diagrama de caixa comparativo das avaliações do item confortável/desconfortável no DS para os sinais de 1 a 5.

Por meio da Fig. (12), a análise do par constante/inconstante mostra comportamento semelhante ao par confortável/desconfortável onde 50% das observações centrais das avaliações do sinal 1, 2, 3 e 5 estão mais próximas do adjetivo "inconstante" enquanto que 50% das observações centrais do sinal 4 estão mais próximas do adjetivo "constante".

Na avaliação com o ER, cada som foi avaliado por meio de quatro atributos (itens), sendo que, para cada atributo, o participante foi solicitado a marcar em um ponto de uma reta, não graduada. Nesta reta, apresentaram-se apenas os valores extremos 0 e 10 com o objetivo de padronizar a avaliação. Estes pontos foram convertidos pelo *software* em números reais, proporcionais ao ponto que foi marcado na escala pelo sujeito. No caso da localização do ponto marcado corresponder a um número não inteiro, este foi mantido com uma casa decimal.

A Tab. (1) apresenta os resultados das avaliações dos estímulos por meio do método de ER.

Para o item "constância", observa-se que a mediana do sinal 4 indica que metade dos participantes o avaliou abaixo de 6,9. Resultado que contrasta com as medianas dos sinais 1 e 5, os quais metade das observações apresentam valores abaixo de 3. Analisando a média, observa-se que os sinais 4, 5 e 3 apresentam os maiores valores nesta ordem. Ressalta-

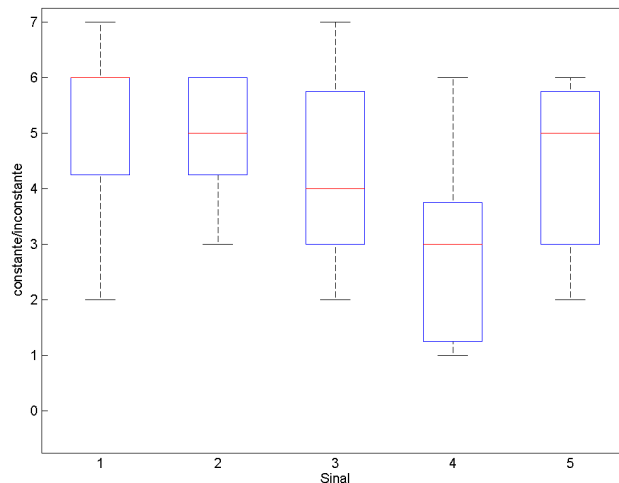


Figura 12. Diagrama de caixa comparativo das avaliações do item constante/inconstante no DS para os sinais de 1 a 5.

Tabela 1. Resultados da Escala de Resposta.

Sinal		constância	força	suportabilidade	conforto
1	Mínimo	1,20	1,30	0	0,40
	Máximo	6,90	7,20	8,30	6,40
	Mediana	3,00	5,90	2,10	4,20
	Média	3,66	5,49	3,28	3,43
	Desvio Padrão	1,7	1,77	10,74	2,12
2	Mínimo	1,9	2,90	0,70	1,00
	Máximo	7,9	8,20	7,80	7,90
	Mediana	5,25	5,15	4,45	3,75
	Média	5,25	5,15	4,45	3,75
	Desvio Padrão	1,86	1,54	2,38	2,33
3	Mínimo	1,20	0,30	3,70	2,60
	Máximo	8,30	9,10	9,80	9,60
	Mediana	4,60	1,70	6,10	7,10
	Média	4,64	2,72	3,67	6,41
	Desvio Padrão	2,63	2,45	2,40	2,34
4	Mínimo	1,60	1,10	3,50	2,70
	Máximo	8,1	7,60	9,50	7,80
	Mediana	6,90	3,70	7,30	6,00
	Média	6,07	3,63	6,38	5,45
	Desvio Padrão	2,01	1,87	2,32	1,84
5	Mínimo	0,30	3,70	0,70	0,50
	Máximo	6,10	8,80	7,60	7,20
	Mediana	3,50	5,10	4,30	3,30
	Média	3,35	5,53	4,04	3,54
	Desvio Padrão	1,79	1,62	2,33	2,04

se o alto valor da média do sinal 4, confirmando assim ser percebido como muito mais constante. Analisando os valores mínimos e máximos, observa-se que os participantes não utilizaram os valores extremos da escala para a avaliação. A variabilidade das avaliações da constância medida através dos desvios padrão mostra semelhanças para os cinco sinais.

Quando se analisa o item "força", observa-se que a mediana do sinal 3 indica que metade dos participantes o avaliou abaixo de 1,7, enquanto que para o sinal 4, metade avaliou abaixo de 3,7. Resultado que contrasta com as medianas dos sinais 1, 2 e 5, os quais metade das observações apresentam valores acima de 5. Analisando a média, observa-se que os sinais 3 e 4 apresentam os menores valores nesta ordem. Ressalta-se o baixo valor da média do sinal 3, confirmando

assim ser percebido como muito fraco. Analisando os valores mínimos e máximos, observa-se que os participantes não utilizaram os valores extremos da escala para a avaliação. A variabilidade das avaliações da constância medida através dos desvios padrão mostra semelhanças para os cinco sinais.

Ao analisar o item "suportabilidade", observa-se que a mediana do sinal 4 indica que metade dos participantes avaliou acima de 7,3, enquanto que para o sinal 3 metade avaliou acima de 6,1. Resultado que contrasta com as medianas dos sinais 1, 2 e 5, os quais metade das observações apresentam valores abaixo de 4. Analisando a média, observa-se que o sinal 4 apresenta o maior valor, confirmando assim ser percebido como muito suportável. Analisando os valores mínimos e máximos, observa-se que os participantes utilizaram os valores extremos da escala para a avaliação, e a variabilidade das avaliações da suportabilidade medida através dos desvios padrão mostra diferença de avaliação principalmente no sinal 1.

Por fim, ao analisar o item conforto, observa-se que a mediana do sinal 3 indica que metade dos participantes o avaliou acima de 7,1. Resultado que contrasta com as medianas dos sinais 1, 2 e 5, os quais metade das observações apresentam valores abaixo de 4,2. Analisando a média, observa-se que os sinais 3 e 4 apresentam os maiores valores, confirmando assim serem percebidos como mais confortáveis. Analisando os valores mínimos e máximos, observa-se que os participantes não utilizaram os valores extremos da escala para a avaliação. A variabilidade das avaliações da constância medida através dos desvios padrão mostra semelhanças para os cinco sinais.

4. CONCLUSÃO

A implementação do *software* com interfaces de avaliação de sons e vibração representam avanço no que diz respeito à qualidade e ao rigor metodológico no emprego de métodos subjetivos para avaliação de fenômenos vibroacústicos. A interface possibilitou a coleta de dados em formato eletrônico, de forma rápida e controlada. Desta forma, foram dispensadas muitas horas de tabulação de dados, tarefa na qual a ocorrência de erros é muito grande. Além disso, podem ser obtidos dados que, com questionários em papel, não poderiam ser obtidos com tanta facilidade, como por exemplo o tempo requerido para avaliar cada um dos sons em cada uma das escalas do diferencial semântico.

Ainda, foi possível padronizar parcialmente os ensaios, deixando os sujeitos mais próximos de uma situação real, na qual naturalmente não há experimentador junto. As pessoas puderam utilizar o tempo que consideraram necessário para avaliar os estímulos, sem que o experimentador interferisse. Além do significativo auxílio na tabulação de dados, o rigor metodológico e as facilidades propostas, a interface foi fundamental para contemplar o objetivo geral deste trabalho.

Por meio das avaliações realizadas, podemos observar que, apesar da necessidade de realização de mais ensaios, os estímulos avaliados como mais confortáveis também foram avaliados como mais constantes, fracos e suportáveis. A avaliação por meio do DS concordou com os resultados obtidos na avaliação com a ER, quando se destaca a diferença de avaliação entre os estímulos 3 e 4 e os demais. Observa-se a coerência entre os resultados obtidos com o DS e com a ER, o que era esperado, uma vez que os estímulos avaliados foram os mesmos com as duas metodologias.

O DS possibilitou uma avaliação criteriosa, uma vez que se utiliza de sete modalidades (pontos na escala), e o fato da natureza dos dados do DS serem qualitativos fez com que as avaliações subjetivas fossem melhor representadas.

Um dos aspectos positivos do método ER foi que não obrigou o avaliador a escolher um dos sinais quando os perceberam similares. E, o fato de as pessoas terem avaliado por meio de valores reais, com uma casa decimal, configurou maior sensibilidade nos dados. Todavia, isso não seria viável se o indivíduo fosse solicitado a atribuir um valor com casa decimal. A natureza desse tipo de dados é bem abordada quando é utilizada uma reta, com os valores apenas nos extremos, conforme metodologia aplicada para esse método nesse trabalho.

Os próximos passos dessa pesquisa incluem finalização da realização de ensaios subjetivos para posterior verificação da relação entre os parâmetros físicos e as avaliações subjetivas, culminando em um modelo, utilizando redes neurais, de predição do conforto vibroacústico para o interior de aeronaves.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Conhecimento Científico e Tecnológico (CnPq) por financiarem esta pesquisa por meio de bolsas de estudo.

6. REFERÊNCIAS

- Bitencourt, R.F., 2008. "Desempenho de métodos para a avaliação do conforto acústico do interior de aeronaves".
- Bitencourt, R.F., Paul, S., Andrade, A.L. e Gerges, S.N.Y., 2006. "Relevância dos aspectos vibro-acústicos no conforto no interior de aeronaves". *Anais do I Simpósio de Acústica de Salas, Edificações e Escolas SIBRASE e XXI - Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC*.
- Björk, E.A., 1985. "The perceived quality of natural sounds". *Acustica*, Vol. 57, pp. 185–188.
- Blauert, J. e Jekosch, U., 1997. "Sound quality evaluation - a multi-layered problem". *Acustica*, Vol. 83, pp. 747–753.
- Bowen, D.L. e Lyon, R., 2003. "Mapping perceptual attributes of sound to product design choices". *Noise Control Eng*,

Vol. 51, pp. 271–279.

- Brace, I., 2004. “Questionnaire design: how to plan, structure and write survey material for effective market research”. *CIP*.
- Lima, F.R., 2005. “Ruídos e vibrações veiculares”.
- Mellert, V., Baumann, I., Bellman, S., Buss, S., Kruse, R. e Weber, R., 2006. “Vibroacoustic and other environmental influences on performance and well-being of cabin crew during long-haul flights”. *Internoise*.
- Müller, U. e Scütte, M., 2006. “Sound engineering for aircraft (sefa), first results of listening examination”. *Internoise*.
- Oborne, D.J. e Clarke, M.J., 1973. “The development of questionnaire surveys for the investigation of passenger comfort”. *Ergonomics*, Vol. 16, pp. 855–869.
- Osgood, C.E., Suci, G.J. e Tannenbaum, P.H., 1957. “The measurement of meaning”.
- Paul, S., 2009. “Avaliação e melhoria de qualidade sonora em aeronaves comerciais”.
- Paul, S., Bitencourt, R.F., Gerges, S.N.Y., Andrade, A. e Cruz, R., 2008. “Developing psychometric instruments for evaluation of sound quality: Why and how to explore attributes and semantics related to sound and sound quality”.
- Quehl, J., 2001. “Comfort studies on aircraft interior sound and vibration”.
- Rohrmann, B., 2003. “Verbal qualifiers for rating scales: Sociolinguistic considerations and psychometric data”. *Project Report. University of Melbourne*.
- Sundback, U. e Tingvall, B., 1980. “Investigation of the physical working environment for cabin attendants within scandinavian airlines system (sas)”. *Noise Control Engineering Journal*, Vol. 1, pp. 341–344.
- Teixeira, J.A.M.S., Schaefer, R.L. e Bitencourt, R.F., 2009. “Aplicação de instrumentos de medida para avaliar vibração em situação de voo”.
- Västfjäll, D., Gulbol, D. e Gärling, T., 2003. “Affective reactions to interior aircraft sounds”. *Acustica*, Vol. 89, pp. 693–701.
- Västfjäll, D., Gulbol, M. e Gärling, T., 2002. “Affective evaluations and reactions to exterior and interior vehicle auditory quality”. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 255, pp. 501–518.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

EXPERIMENTAL METHODOLOGY FOR AIRCRAFT VIBROACOUSTIC EVALUATION

Raquel Fava de Bitencourt, raquelfb@emc.ufsc.br¹

Ricardo Luís Schaefer, ricardolchaefer@gmail.com¹

Julio Alexandre de Matheucci e Silva Teixeira, garrincha05@gmail.com¹

Samir Nagi Yousri Gerges, samir@emc.ufsc.br¹

¹UFSC - Federal University of Santa Catarina, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis-SC-Brazil,

Abstract. *In the latest decades, air transport has shown an unprecedented growth, becoming one of the most important means of transport of passengers and cargo. This growth is followed by the development of new aircraft which attempts to satisfy stricter quality levels. These aircrafts must have characteristics that attend the air companies' interests over issues such as performance and operation costs, as well as guarantee comfort to the passengers and crew. Concerning the passengers and commercial aircraft crew comfort points of view, the noise and vibration inside the aircraft stands out as an important issue and to study it is necessary interview people during the stimuli. In real flights, this kind of study is costly, and so it is recommended to use the simulator cabin (mock-up) fixed in the ground, able to play vibration signals recorded in a real flight with reliability. Once the vibroacoustic stimulus is controlled, many subjective evaluations can be done. This paper aims to present a methodology for evaluating the vibroacoustic comfort inside the aircraft, comprising: definition of the appropriate semantics, tool development for the subjective tests and preliminary results.*

Keywords: *comfort, noise, vibration, aircraft*