

## Desenvolvimento de sistema de controle, aquisição e processamento de sinais para bancada de medição da impedância acústica de *liners* com escoamento.

**Zargos Neves Masson**, [zargosm@gmail.com](mailto:zargosm@gmail.com)<sup>1</sup>

**Pablo Giordani Serrano**, [pablo.serrano@lva.ufsc.br](mailto:pablo.serrano@lva.ufsc.br)<sup>1</sup>

**Augusto A. Medeiros**, [augusto.medeiros@lva.ufsc.br](mailto:augusto.medeiros@lva.ufsc.br)<sup>1</sup>

**Júlio Apolinário Cordioli**, [julio.cordioli@ufsc.br](mailto:julio.cordioli@ufsc.br)<sup>1</sup>

**Danillo Cafaldo dos Reis**, [danillo.reis@embraer.com.br](mailto:danillo.reis@embraer.com.br)<sup>2</sup>

**Fernando Martini Catalano**, [catalanofm@gmail.com](mailto:catalanofm@gmail.com)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil CEP: 88040-900

<sup>2</sup>Embraer - São José dos Campos

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP

**Resumo:** Os sistemas de propulsão de aeronaves são uma das principais fontes de radiação de ruído durante o voo, especialmente em condições de baixa velocidade. Os motores *turbofan* recebem diferentes tratamentos acústicos, especialmente através do revestimento de suas paredes internas, com materiais específicos conhecidos como *liners*. A impedância acústica desses materiais empregados é a característica que determina seu desempenho, em especial a impedância na qual o material está submetido em condições de operação, ou seja, incidência rasante e na presença de escoamento. Diferentes métodos podem ser encontrados na literatura para a determinação da impedância acústica de materiais com incidência normal. Bancadas de teste para este tipo de ensaio podem ser encontradas comercialmente. A impedância acústica para incidência rasante, entretanto, possui determinação mais complexa, sendo ainda motivo de pesquisa, principalmente se incluídos os efeitos do escoamento de ar ao qual o material está submetido, de modo a se aproximar das condições reais de uso em turbinas. Uma bancada experimental foi construída no Laboratório de Vibrações e Acústica da Universidade Federal de Santa Catarina, com a finalidade de possibilitar a medição do campo acústico em um duto parcialmente revestido com *liners* e na presença de escoamento. Os resultados desta medição serão utilizados como dado de entrada para os métodos de determinação da impedância acústica de *liners*, conhecidos como *Impedance Eduction Methods (IEM)*. O presente artigo visa apresentar o desenvolvimento de um sistema em LabVIEW para o controle, aquisição e processamento de sinais da bancada experimental supracitada e mostrar alguns resultados preliminares.

**Palavras-chave:** Impedância Acústica, *liners*, Software.

### 1. INTRODUÇÃO

O ruído aeronáutico vem sendo motivo de uma crescente preocupação mundial. Corrobora para essa crescente atenção o fato de que o ruído afeta diretamente questões como saúde e qualidade de vida. Projeções apontam que o tráfego aéreo irá dobrar nos próximos 15 anos (AIRBUS, 2012) e diante desse cenário, diversos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de encontrar soluções para o aumento do ruído gerado pelas aeronaves. Além disso, as autoridades competentes vêm pressionando a indústria aeronáutica através regulamentações cada vez mais exigentes no que diz respeito ao nível de emissões de ruído.

O ruído gerado por uma aeronave é um complexo conjunto de diferentes fontes (BATARD, 2005). Porém uma das principais provém do sistema de propulsão, especialmente em condições de baixa velocidade. Além disso, o espectro dessa fonte é caracterizado pela presença de ruídos tonais, que tendem a causar um nível maior de incômodo. Diante disso, os motores *turbofan*, modelo comumente utilizado em aviões, recebem diferentes tratamentos acústicos. A impedância acústica dos materiais empregados é o fator determinante de seu desempenho, em especial a impedância para uma incidência perpendicular à normal, denominada incidência rasante e que tem dependência da velocidade do escoamento a qual o material está submetido.

Diferentes métodos podem ser encontrados na literatura para a determinação da impedância acústica de materiais com incidência normal. Bancadas de teste comerciais para este tipo de ensaio podem ser facilmente encontradas no mercado. A impedância acústica para incidência rasante, entretanto, possui determinação mais complexa, sendo ainda motivo de pesquisa, principalmente se incluídos os efeitos do escoamento de ar ao qual o material está submetido.

Os materiais utilizados para o tratamento do ruído gerado por motores *turbofan* são conhecidos como *liners*. Estruturalmente, os *liners* são compostos por uma ou mais placas perfuradas ou de poros abertos de fios entrelaçados, um suporte tipo colmeia ou fibroso e uma placa rígida, como ilustrado na Fig. 1. Os *liners* mais utilizados empregam materiais me-

tálicos e/ou cerâmicos e apresentam geometria similar a ressonadores de Helmholtz, que oferecem atenuação em faixas de frequência específicas (ENALDY *et al.*, 2009). Através da determinação de sua impedância acústica rasante é possível projetar estes materiais para atuar na frequência de interesse. Os métodos utilizados para determinar a impedância acústica rasante de *liners* na presença de escoamento são conhecidos em inglês como *Impedance Education Methods (IEM)* e se baseiam em dados experimentais obtidos a partir de bancadas de ensaio onde os materiais são submetidos a condições o mais próximo possível das condições em voo. A partir dos dados de impedância acústica é possível simular a atenuação do ruído em turbinas permitindo a avaliação da eficiência desses materiais.

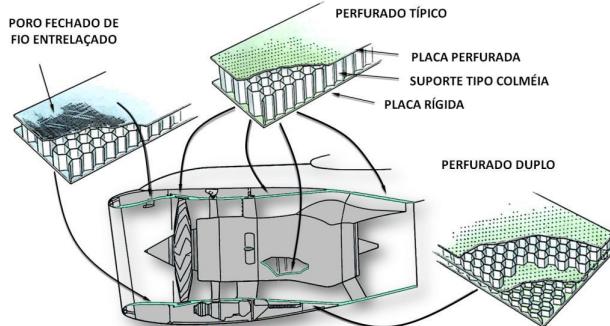


Figura 1: Ilustração da localização e dos modelos construtivos de *liners* (SERRANO, 2012).

Uma bancada experimental foi projetada e construída no Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Esta tem como objetivo permitir a medição do campo acústico no entorno de uma amostra na presença de escoamento confinado. Através desta bancada, será possível a obtenção de dados que serão utilizados como entrada para os métodos de determinação da impedância acústica para incidência rasante. O presente artigo apresentará aspectos importantes acerca do desenvolvimento do *software* de controle, aquisição e processamento de sinais para ser utilizado na bancada de testes construída, bem como alguns resultados preliminares de impedância acústica obtidas através de medições realizadas com a bancada.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Métodos de Determinação da Impedância Acústica

Existem diversos métodos de determinação da impedância acústica de *liners*. Em geral, os métodos incluem a representação do campo acústico em um duto considerando a impedância acústica do *liner* em uma ou mais paredes. A partir de dados experimentais, a impedância acústica é determinada através de um processo de ajuste da impedância de forma a minimizar a diferença entre dados numéricos e experimentais. A bancada de testes construída foi projetada para possibilitar medições em diferentes configurações de modo atender quatro métodos diferentes: *2PM (Two-Port Matrix)* (SANTANA *et al.*, 2011); *PGM (Pressure Gradient Method)* (WATSON *et al.*, 2011); *Prony Method* (XIADONG *et al.*, 2008); *Mode Matching* (ENALDY *et al.*, 2009). Além da bancada experimental, foi desenvolvido um software de controle, aquisição e processamento dos sinais de modo que permitisse uma adaptação e automatização do processo de medição de acordo com a necessidade de cada método, ilustrada através da Tab. 1.

Tabela 1: Comparação entre os métodos que serão analisados no projeto.

Método	Número de Transdutores	Dados do Campo de Pressão
<i>2PM</i>	Mínimo 4	Auto-espectros / FRF
<i>PGM</i>	4	Auto-espectros / FRF
<i>Prony Method</i>	Mínimo 8	Auto-espectros / FRF
<i>Mode Matching</i>	Mínimo 4, Geralmente 6 ou 8	Auto-espectros / FRF

De forma geral, todos os dados do campo acústico necessários podem ser obtidos através de determinadas funções calculadas através do processamento dos sinais oriundos de microfones. As Funções necessárias são a função autoespectro, dada por:

$$S_{yy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{yy}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau, \quad (1)$$

e a função resposta em frequência ( $H_1$ ), dada por

$$H_1(f) = \frac{S_{xy}(f)}{S_{xx}(f)}. \quad (2)$$

Há outras formas de se obter a FRF, conhecidas como  $H_2$  e  $H_3$ , que podem apresentar melhores resultados de acordo com a proveniência dos ruídos no sistema de medição. Sendo, portanto, interessante que essas sejam implementadas.

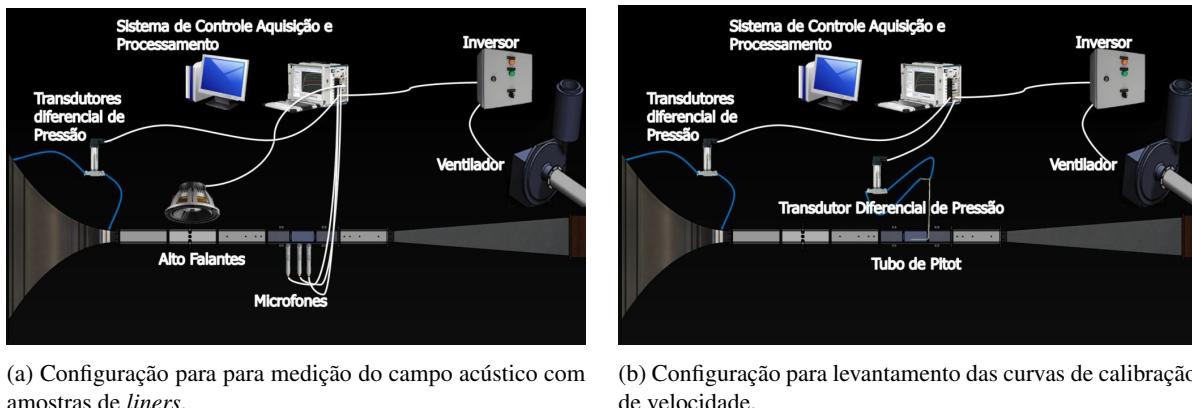
Outra função importante é a função coerência, a qual apresenta o nível de correlação entre dois sinais, indicando a qualidade da medição. Esta é dada por:

$$\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|S_{xy}(f)|^2}{S_{xx}(f)S_{yy}(f)}. \quad (3)$$

## 2.2 Apresentação da Bancada Construída

Conforme observado anteriormente o objetivo principal da bancada é gerar um campo acústico influenciado por uma determinada amostra do material, e através de transdutores extrair dados para posterior uso nos métodos de determinação da impedância acústica. A bancada consiste em uma tubulação com um ventilador centrífugo em uma das extremidades, seguido por uma chicane, um silenciador, um difusor, uma seção de alto falantes, uma seção para colocação da amostra e medição do campo acústico e, por fim, um bocal. O ventilador é o elemento responsável pela criação do escoamento, enquanto os alto-falantes são responsáveis pela excitação do campo acústico. O papel da chicane e do silenciador é a atenuação de ruídos decorrentes do ventilador e demais fontes que não são de interesse, minimizando também as reflexões no fim da seção de testes. Já o difusor tem por objetivo diminuir a perda de carga através do aumento da área da seção transversal, diminuindo a velocidade. Por fim, o bocal tem uma geometria que visa ter uma transição suave do escoamento, uma vez que este é o elemento de entrada do ar com o ventilador trabalhando em regime de succão.

O esquema mostrado na Fig. 2a ilustra o arranjo de cada componente e o posicionamento na bancada durante o procedimento de medição. Já a Figura 2b ilustra o arranjo quando na determinação das curvas de calibração da velocidade de escoamento, parâmetro que deve ser controlado e conhecido, já que a impedância acústica é dependente do escoamento ao qual o material está submetido. Para o levantamento das curvas de calibração da velocidade de escoamento serão utilizados um *tubo de Pitot* e transmissores diferenciais de pressão. O objetivo será relacionar a velocidade obtida através do *tubo de Pitot*, com o diferencial de pressão do bocal. Optou-se por controlar a velocidade por um parâmetro indireto, pois, durante a medição com amostras, o tubo de *Pitot* causaria perturbações indesejadas no escoamento.



(a) Configuração para medição do campo acústico com amostras de *liners*.  
 (b) Configuração para levantamento das curvas de calibração de velocidade.

Figura 2: Esquemas da bancadas em duas configurações.

## 2.3 Metodologia de Desenvolvimento de *Software*

A metodologia de desenvolvimento de *software* visa auxiliar e guiar a estruturação e implementação da aplicação. O método utilizado nesse trabalho foi baseado no manual do curso básico de *LabVIEW* (NI-TREINAMENTOS, 2005). Este divide o processo em cinco etapas: definição do cenário; desenvolvimento do algoritmo; implementação; testes e verificações; e manutenção.

A primeira etapa resume-se na definição do cenário, isto é, identificar o problema que vai ser resolvido e determinar todos os fatores envolvidos. Esta fase é crucial para a continuação do projeto, uma vez que a maneira como o problema é identificado pode significar uma economia de tempo das próximas fases.

A segunda etapa consiste na análise do problema para projetar uma solução. Esta fase deve ser iniciada identificando as entradas, as saídas e os requisitos adicionais. As entradas indicam os dados que devem ser processados durante o processo de resolução do problema, enquanto as saídas representam o resultado de cálculos (processamento) ou outras condições do processo de solução do problema. Já os requisitos adicionais são os fatores que podem influenciar na resolução do problema. Após feito isso, deve ser criado um algoritmo, que nada mais é que uma série de passos que processam as entradas e criam as saídas. Para este último passo dessa etapa existem outras duas ferramentas que auxiliam no processo de desenvolvimento do algoritmo e facilitam a posterior implementação, são elas: fluxogramas e diagrama de transição de estados.

A terceira etapa é composta da programação em si, ou seja a implementação da lógica desenvolvida na linguagem de programação do *LabVIEW*. Na prática, a terceira e quarta etapa são realizadas de forma paralela, pois na medida em que o código é implementado, testes vão sendo realizados. O objetivo dessa penúltima etapa é verificar se as entradas produzem o resultado esperado.

A manutenção, última etapa, ocorre quando o *software* está pronto e funcionando, porém novas funcionalidades e soluções são necessárias ao longo da vida do programa. É sempre possível atualizar e melhorar a aplicação, portanto esta fase será realizada durante a vida útil do programa.

### 3. PROJETO DO SOFTWARE

Antes de se iniciar o projeto do *software* foi necessário realizar a escolha do *hardware*, apresentada na seção 3.1 onde serão listados os equipamentos adquiridos. Posteriormente foi aplicada a metodologia proposta, abrangendo o processo de projeto de software.

#### 3.1 Escolha do *Hardware*

Em virtude da facilidade de integração e customização das aplicações foi escolhido um sistema de aquisição da *National Instruments*. Em conjunto com o *LabVIEW*, estes equipamentos permitem a criação de uma aplicação que atenda todas as necessidades do projeto, tanto na parte de controle da bancada como na aquisição e processamento dos sinais. A configuração do sistema adquirido encontra-se listada na Tab. 1.

Tabela 2: Lista e descrição do *hardware* adquirido.

Hardware	Descrição
NI PXIe-1073	Sistema PXI com 5 slots
NI PXIe-4499	Placa de aquisição de sinais analógicos (Tensão)
NI PXI-6723	Placa de geração de sinais analógicos (Tensão)
NI PXI-6238	Placa de aquisição e geração de sinais analógicos(Corrente) e digitais
NI PXI-4461	Placa de aquisição e geração de sinais analógicos (Tensão)
SCB-68A	Bloco conector (NI PXI-6723)
CB-37F-HDV	Bloco conector (NI PXI-6238)

O primeiro item consiste no chassis do sistema, que integra todas as outras placas adquiridas, facilitando a comunicação com o computador. O sistema possui um total de 18 entradas tipo BNC, adequadas para o uso com microfones de precisão, além de atender os requisitos mínimos dos métodos em termos de quantidade de transdutores. As placas de aquisição possuem 24 bits de resolução e seletores de ganho para faixa-dinâmica, permitindo uma boa quantização do sinal. As placas de geração de sinais em conjunto com alto falantes garantem a possibilidade de excitar o campo acústico com os sinais e níveis desejados. Já a placa de sinais em corrente viabiliza o controle do ventilador e consequentemente o controle da velocidade de fluxo.

#### 3.2 Desenvolvimento da Aplicação

Antes de dar início ao desenvolvimento, é interessante visualizar o processo de medição de forma global. Assim, é possível um melhor entendimento do problema, facilitando também a compreensão do escoamento e etapas envolvidas no procedimento. Na Figura 3 um esquema passo a passo da medição é apresentado.

Através da análise da Fig. 3 percebe-se a necessidade de o processo ser controlado por uma função principal, ou seja, uma que seja responsável por: gerenciar os parâmetros de medição; coordenar a chamada de funções; e também pela apresentação dos resultados. Pode-se concluir que a interface com o usuário (GUI<sup>1</sup>) fará uso desta função principal que obterá os parâmetros inseridos via teclado ou mouse. Além disso, é possível dividir as demais funções de acordo com as diferentes opções que a aplicação pode oferecer. A Figura 4 apresenta as funções macro da aplicação, obtidas com base na Figura 3.

Existem dois processos que normalmente antecedem a medição propriamente dita. Esses tem por objetivo ajustar parâmetros e são realizados pelas funções de *Calibração* e *Medidor de Nível e Autorange*<sup>2</sup>. A segunda ainda apresenta a possibilidade do usuário visualizar os sinais em tempo real no domínio do tempo, sendo fundamental proporcionar esta opção em um *software* de medição. No caso dessas duas funções é fundamental, que quando chamadas, apresentem uma janela independente, isto é, que possuam interfaces com usuários separadas da geral.

No processo de medição, depois de todos os parâmetros terem sido escolhidos e após a realização das etapas citadas no parágrafo anterior, a medição está pronta para ser iniciada. Quando o usuário determina o início da medição, a aplicação aciona as funções de processamento e aquisição. A função de aquisição, por sua vez, chama as funções de geração de sinais e de controle de velocidade de escoamento, porque a aquisição propriamente dita só pode ser iniciada quando as duas funções citadas anteriormente emitem um sinal que estão ligadas e estabilizadas. Após a aquisição ter sido iniciada e concluir um primeiro bloco de medição, ela disponibiliza os dados para a função de processamento. Este processo se repete até que todos os dados necessários sejam adquiridos e processados. Em seguida, com a conclusão da medição, os dados são salvos de acordo com os parâmetros configurados pelo usuário.

<sup>1</sup>Sigla para *User Interface*, Tradução livre do inglês

<sup>2</sup>O *Autorange* consiste no ajuste da faixa dinâmica do sinal de modo a melhorar a quantificação do mesmo.

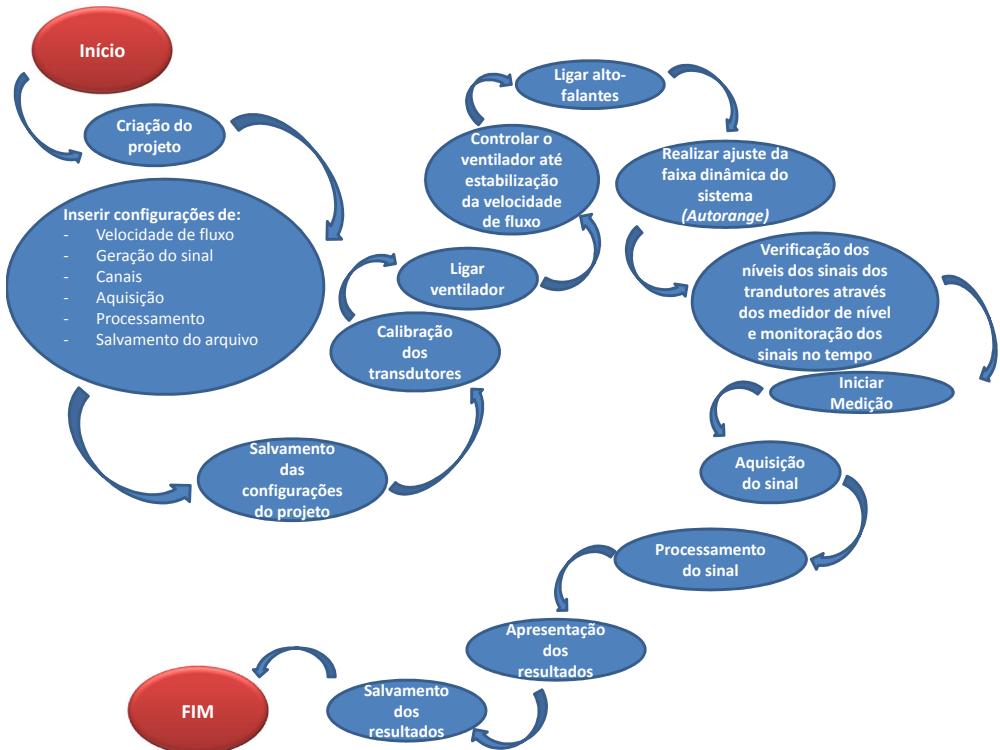


Figura 3: Passo a passo do processo de medição.

À medida que os problemas computacionais vão se tornando maiores e mais complexos, sempre é possível simplificar a solução dividindo o programa em partes menores, chamadas de módulos. Um módulo pode ser definido como um conjunto de instruções da linguagem que realizam alguma tarefa, constituindo um procedimento algorítmico, com uma função bem definida e o mais independente possível em relação ao restante do programa. Com a subdivisão de programas complexos em módulos, algumas vantagens são conquistadas como a legibilidade (trechos de código mais simples), a manutenibilidade (favorece a detecção e correção de erros) e a produtividade (facilita a reutilização de *software*) (BERTOL, 2012). Por consequência, optou-se por realizar uma divisão em módulos, de acordo com as chamadas funções citadas anteriormente e ilustradas na Figura 4. As quais também são mostradas na Tab. 2 acompanhadas da definição dos respectivos cenários, a primeira etapa da metodologia.

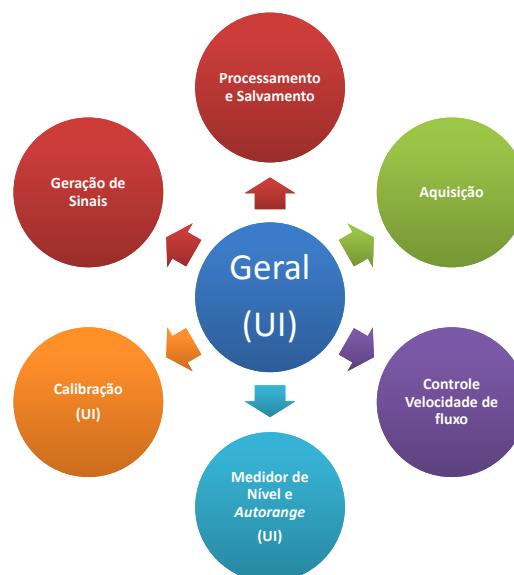


Figura 4: Representação das funções macro da aplicação.

Dando sequência a metodologia de desenvolvimento de *software* aplicada, após a delimitação do escopo deve-se começar a projetar a solução, para isto algumas ferramentas foram utilizadas ao longo da programação, como delimitação do algoritmo e confecção de diagramas de escoamento. Estes passos foram realizados para cada módulo e posteriormente

Tabela 3: Divisão em módulos da aplicação.

Módulo	Função
Geral	Integrar todos os módulos e realizar interface com o usuário.
Controle de Velocidade de escoamento	Controlar a velocidade de escoamento na seção de testes.
Geração de Sinais	Controlar a geração dos sinais enviados aos alto-falantes
Aquisição	Adquirir os sinais oriundos dos transdutores
Processamento e Salvamento	Processar os sinais adquiridos e salvá-los em formato adequado
<i>Autorange</i> e Medidor de Nível	Realizar o <i>autorange</i> do sinal e mostrar o sinal no tempo instantâneo
Calibração	Realizar a Calibração dos Transdutores

implementados na linguagem do LabVIEW.

#### 4. Comissionamento

Após a implementação do software foi necessário realizar medições de comparação com um sistema de referência de modo a assegurar confiança nos resultados obtidos com relação a aquisição e o processamento dos sinais. Este processo também é conhecido como comissionamento, o qual foi realizado utilizando um sistema comercial da empresa Brüel&Kjaer. Foram realizadas diversas medições concomitantes ou não em um sistema acústico equivalente ao da bancada construída porém sem a presença de escoamento como ilustrado na Fig. 5.

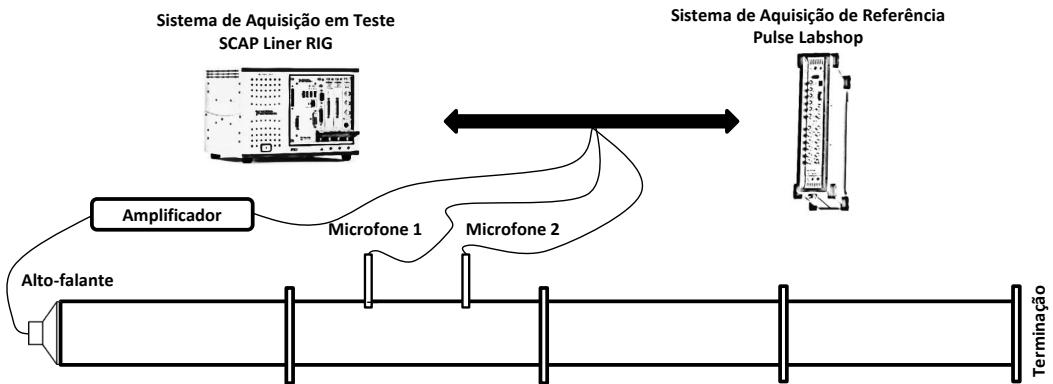


Figura 5: Esquema do experimento de comissionamento.

Os resultados obtidos através dos dois sistemas foram comparados e um erro relativo foi calculado. As Figuras 6, 7 apresentam as comparações de uma das medições utilizando ruído branco banda larga como excitação, das função autoespectro do microfone 1 e a FRF do microfone 2 em relação ao microfone 1.

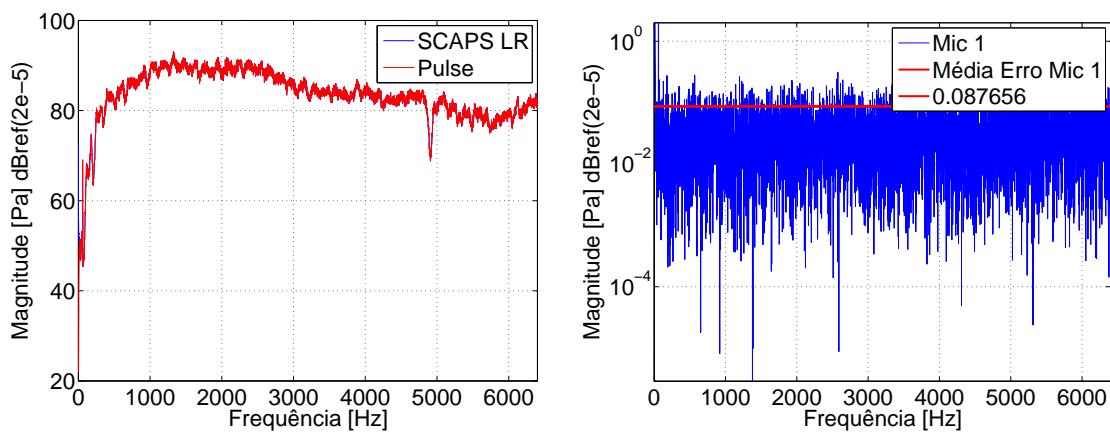
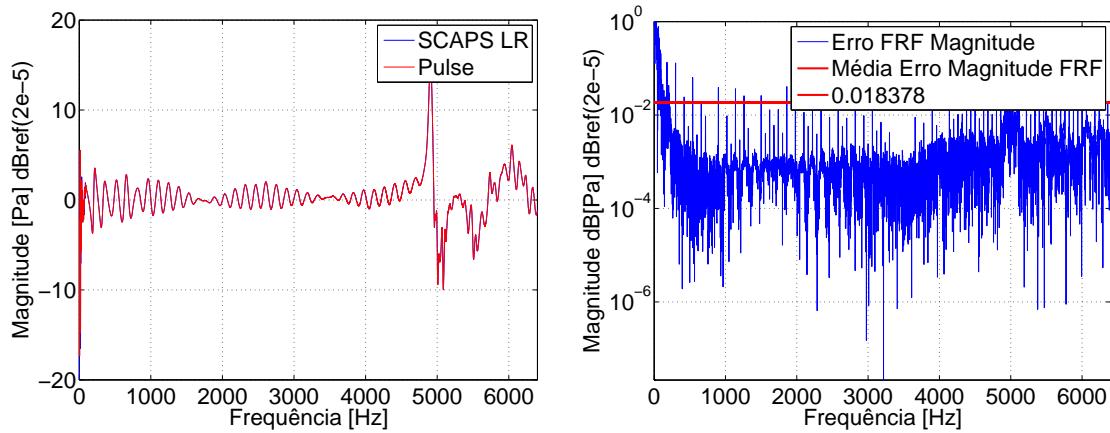


Figura 6: Comparação da função autoespectro (Microfone 1) entre o sistema desenvolvido e o de referência.

Através da visualização das Fig. 6 e 7 percebe-se que o erro entre as duas medições foi baixo, e pode ser explicado pela fato de o gatilho das duas medições ter sido feito de forma manual e também referentes a erros de quantização dos sistemas. Salienta-se também que a coerência calculada por ambas as medições foi por quase todo espectro muito



(a) Magnitude FRF (Microfone 1/Microfone 2). (b) Erro da Magnitude FRF (Microfone 1/Microfone 2).

Figura 7: Comparação da Magnitude da FRF (Microfone 1/Microfone 2) entre o sistema desenvolvido e o de referência.

próxima de um, e o erro relativo entre as essas duas foi na faixa de  $4 \cdot 10^{-6}\%$ . Então, de forma geral, pode-se afirmar que os resultados obtidos foram amplamente satisfatórios. Considera-se, assim, o sistema comissionado e pronto para utilização nas medições necessárias para a determinação da impedância acústica.

## 5. EXPERIMENTO

Diane do resultado positivo com relação ao comissionamento do *software*, foram realizadas medições preliminares utilizando dois tipos de excitação diferentes. Até o presente momento apenas um método dos quatro citados anteriormente encontra-se implementado e validado, o *2PM (Two-Port Matrix)* (SANTANA *et al.*, 2011). Salienta-se, porém, que a bancada de testes em conjunto com o software está apta a realizar medições para alimentar todos os métodos previamente citados. Na Figura 8 visualiza-se a montagem e a posição dos microfones nas bancadas escolhidas de modo a atender as necessidades do método escolhido.

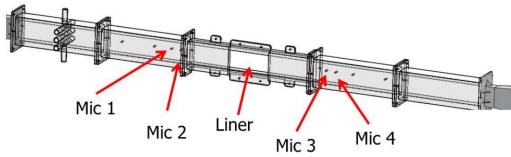
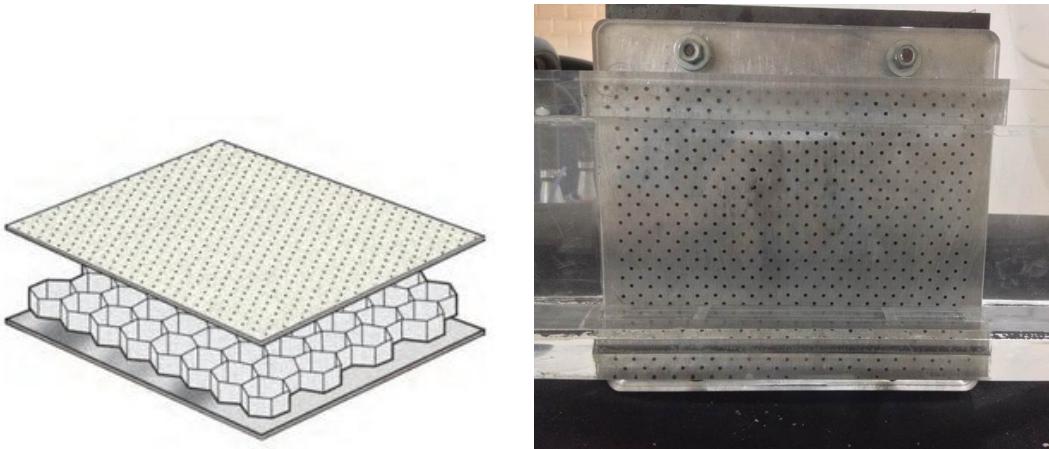


Figura 8: Esquema do experimento na bancada.

O Material escolhido para ser avaliado foi um *liner* típico, similar ao utilizado em aeronaves, construído no LVA. Para a sua construção foi utilizado uma estrutura comercial tipo colmeia e duas chapas de alumínio. A Figura 9 ilustra a peça.



(a) Vista explodida da montagem do *liner* típico.

(b) Foto do *liner* típico utilizado.

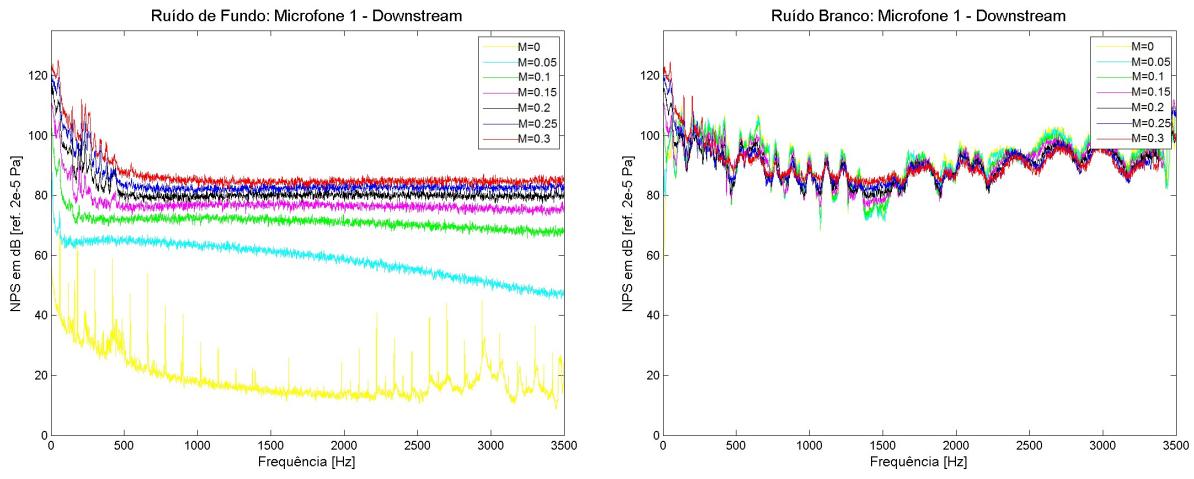
Figura 9: Liner Típico.

Foram realizadas medições utilizando os seguintes sinais de excitação: tonal e ruído branco de banda larga. Para o processamento dos resultados utilizando ruído branco foi selecionada a janela *Hanning* com taxa de aquisição de  $25,6\text{kHz/s}$ , 300 médias com *overlapping* de 95%. Já para as medições com sinal tonal, de  $500\text{Hz}$  a  $3,5\text{kHz}$  em incrementos de  $100\text{Hz}$ , foi selecionada a janela *flat top* com taxa de aquisição de  $25,6\text{kHz/s}$ , 100 médias com *overlapping* de 95%.

Além disso, variou-se a velocidade de escoamento entre 0 e 0,3 *Mach*, uma vez que a impedância acústica rasante é dependente da velocidade de escoamento do meio.

## 6. RESULTADOS

Conforme mencionado anteriormente, os dados utilizados como entrada nos métodos foram *FRFs* em relação a um dos transdutores da bancada, nesse caso o 'Mic 1'. Na Figura 10 é mostrado uma comparação entre os espectros dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo e os espectros dos níveis de pressão sonora do ruído branco em diversas velocidades de escoamento ilustradas pelo número de *Mach*.



(a) NPS do ruído de fundo no microfone 1. (b) NPS aplicando o sinal ruído branco no microfone 1.  
 Figura 10: Comparação entre o NPS (nível de pressão sonora).

Conforme é possível visualizar na Fig. 10b em altas velocidades o ruído de fundo acaba atingindo níveis muito próximos daqueles que os alto-falantes conseguem gerar quando utiliza-se um sinal de ruído branco banda larga, impossibilitando, portanto medição apropriada das *FRF's*. Nesse caso, ao utilizarmos essas medições nos *IEM*, não é possível obter dados confiáveis da impedância acústica do material. Isto acontece pois, no caso do ruído branco, a energia é espalhada por todo espectro de frequência, não conseguindo atingir níveis suficientes acima do ruído de fundo. Já para a excitação senoidal, a energia fica concentrada em uma determinada frequência, sendo possível atingir valores de NPS acima do ruído de fundo, conseguindo uma medição apropriada das *FRF's*, corroborada por uma coerência com valor 1 na frequência de excitação.

através da utilização dos dados de magnitude e fase da *FRF* com excitação senoidal no método implementado, foi possível extrair os valores de impedância acústica para as velocidades em que foram realizadas as medições, os quais podem ser visualizados através da Fig.11.

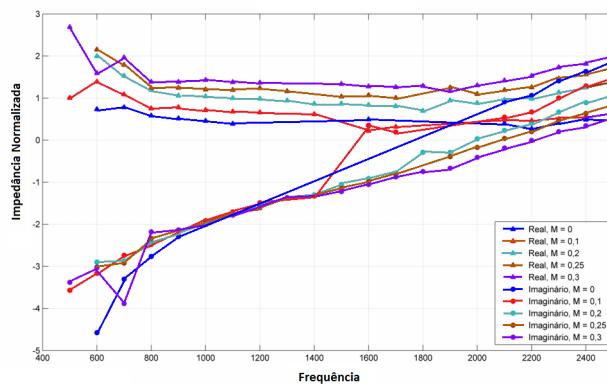


Figura 11: Resultado de impedância acústica rasante do *liner* típico para diferentes velocidades de escoamento utilizando o método 2PM.

Apesar de não ter sido possível comparar com dados de referência específicos do material testado, analisando resultados de outros *liners* típicos, com construção similar, como os mostrado na Fig. 12, verifica-se o mesmo comportamento da curva de impedância acústica rasante. Futuramente, amostras padrões devem ser testadas de modo a verificar a precisão dos resultados.

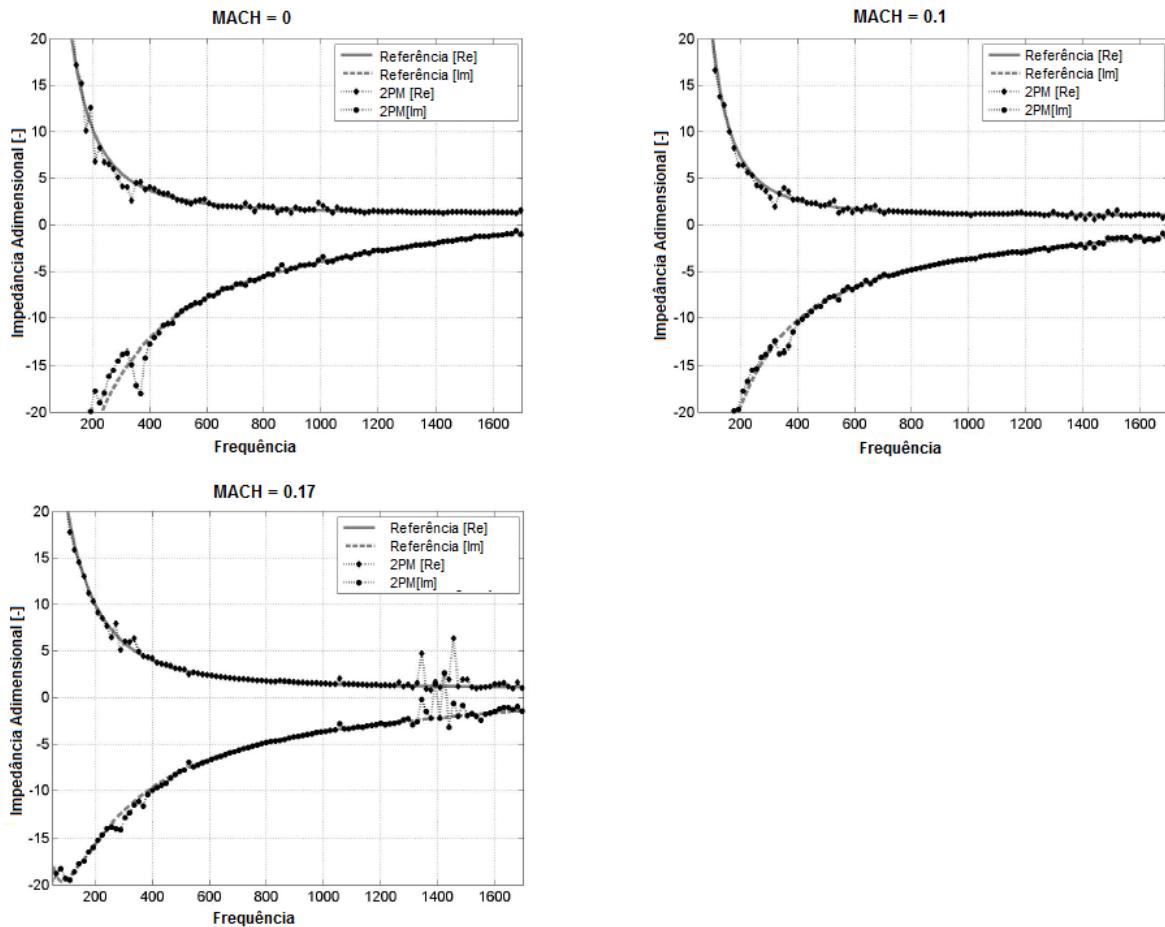


Figura 12: Resultados utilizando o método *2PM* para diferentes velocidades de fluxo para um *liner* típico (SANTANA *et al.*, 2011).

## 7. CONCLUSÃO

Uma bancada experimental a ser utilizada na determinação da impedância acústica de materiais na presença de escoamento encontra-se em desenvolvimento no Laboratorio de Vibrações e Acústica da UFSC. Para tanto, foi necessário também a escolha do hardware apropriado e o desenvolvimento de uma aplicação computacional para o controle, aquisição e processamento dos sinais, que facilitasse o processo de medição tornando-o rápido e intuitivo e que obtivesse os dados necessário a aplicação dos *IEM*. Testes preliminares mostraram que a aplicação desenvolvida mostrou-se adequada para tornar o processo de medição mais eficiente.

Ressalta-se a importância do uso da metodologia ao longo do projeto do software. Essa foi fundamental para guiar a execução e obter um resultado de acordo com o desejado. Esta foi seguida de forma linear de forma geral, entretanto, algumas vezes sentiu-se a necessidade de voltar a etapas anteriores e readequá-las, como em momentos em que na implementação sentia-se necessidade de algum requerimento adicional.

O comissionamento realizado através de medições utilizando dois sistemas, sendo um deles o desenvolvido e outro comercial como referência, apresentou resultados satisfatórios, diversas medições foram realizadas e o erro relativo entre os resultados obtidos dos dois sistemas foi comparável à incerteza da medição.

Com a implementação e validação do *software* foi possível realizar alguns testes com um material típico, o qual não detinha-se resultados de referência. Entretanto, foi possível avaliar o uso de dois tipos de excitação e verificar se o método convergia para resultados plausíveis. Conforme foi constatado, a aplicação do sinal ruído branco, com a potência dos alto falantes instalada, não conseguiu ser suficiente para se obter uma boa relação sinal ruído, principalmente nos casos onde a velocidade de escoamento era grande. Já para a aplicação de sinais tonais foi possível atingir uma relação aceitável, mesmo para grandes velocidades de escoamento. Com os resultados das FRF's obtidas com as excitação com sinais tonais, foi possível alimentar o método *2PM* e obter resultados de impedância para amostra de *liner* típico construída no LVA. Comparando os gráficos obtidos com os de amostras semelhantes verifica-se que o comportamento da curva é o mesmo, porém ainda se faz necessário utilizar amostras com valores conhecidos para obter-se uma maior confiança nos resultados obtidos.

## 8. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC pela infraestrutura e apoio, à EMBRAER pela parceria no projeto e finalmente, ao CNPQ pelo apoio financeiro.

## 9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

## 10. REFERÊNCIAS

- AIRBUS, 2012. “Global market forecast - airbus”. Technical report, AIRBUS S.A.S. 2012.
- BATARD, H., 2005. “Development of the quiet aircraft-industrial needs in terms of aircraft noise and main achievements in europe”. *Forum Acusticum*, Vol. 1, p. 1.
- BERTOL, O.F., 2012. “Métodos: módulos de programa em java.” *Easy Java Magazine*, Vol. 3, No. 35, pp. 5–10.
- ENALDY, T., Boden, H. and Elhadidi, B., 2009. “Validation of an inverse semi-analytical technique to educe liner impedance”. *AIAA journal*, Vol. 47, No. 12, pp. 2836–2844.
- NI-TREINAMENTOS, 2005. *LabVIEW Básico I: Introdução*. National Instruments.
- SANTANA, D.D.L., De Roeck, W., Ferrante, P. and Desmet, W., 2011. “Two-port indirect acoustic impedance eduction in presence of grazing flows”. In *17th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (32nd AIAA Aeroacoustics Conference)*.
- SERRANO, P.G., 2012. “Bancada de determinação de impedância acústica de liners”. Projeto de dissertação de mestrado, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.
- WATSON, W.R., Jones, M.G. and Gerhold, C.H., 2011. “Implementation and validation of an impedance eduction technique”. In *Proceedings of the 17th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*. 2011-2867.
- XIADONG, J., Sen, P. and Xiaofeng, S., 2008. “A straightforward method for wall impedance eduction in a flow duct”. *Journal of the Acoustical Society of America (JASA)*, Vol. 124, No. PACS number: 43.50.Gf, 43.20.Mv, 43.58.Bh, pp. 227–234.

# CONTROL, ACQUISITION AND SIGNAL PROCESSING SOFTWARE DEVELOPMENT FOR A ACOUSTIC IMPEDANCE LINER RIG IN THE PRESENCE OF FLOW.

**Zargos Neves Masson, zargosm@gmail.com<sup>1</sup>**

**Pablo Giordani Serrano, pablo.serrano@lva.ufsc.br<sup>1</sup>**

**Augusto A. Medeiros , augusto.medeiros@lva.ufsc.br<sup>1</sup>**

**Júlio Apolinário Cordioli, julio.cordioli@ufsc.br<sup>1</sup>**

**Danillo Cafaldo dos Reis, danillo.reis@embraer.com.br<sup>2</sup>**

**Fernando Martini Catalano, catalanofm@gmail.com<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil CEP: 88040-900

<sup>2</sup>Embraer - São José dos Campos

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP

**Abstract:** Aircraft propulsion system is a major source of noise radiation during the flight, especially when in low speed. Turbofan engines receives different acoustic treatments, and the acoustic impedance of the materials are the characteristic used for its performance determination. Particularly for the impedance with the perpendicular incidence to the normal, so-called grazing incidence. Different methods can be found in the literature for determining the acoustic impedance of materials with normal incidence and test benches for this type of assay can be easily designed. However, acoustic impedance under grazing incidence has a more complex determination and is a field of continuous research , especially when effects of air flow to which the material is subjected are included. An experimental setup was built in Acoustic and Vibration Laboratory at Federal University of Santa Catarina, to allow acoustic field measurements that will be used as input to the methods for determining liner's acoustic impedance, also known as Impedance Eduction Methods (IEM). This article focus on the development of an application using LabVIEW for the control, acquisition and signal processing of the experimental setup mentioned above. Preliminary impedance eduction results are shown, proving software functionality.

**Keywords:** Acoustic Impedance, Liners, Software