

ESTUDO EXPERIMENTAL DO CAMPO ACÚSTICO GERADO PELO JATO DE EXAUSTÃO DE UM MOTOR DE FOGUETE

Luísa Machado Saldanha
Prof. Dr. Paulo Seleglim Junior

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Brasil
luisamsaldanha@usp.br

Objetivos

O campo acústico gerado pelo jato expansivo supersônico das naves espaciais tem tamanha intensidade que pode gerar muitos danos estruturais e vitais as proximidades. O presente projeto visa analisar o conteúdo espectral do campo gerado por um escoamento supersônico e investigar e caracterizar o comportamento do ruído acústico e seus campos de pressões originados em torno de um bocal convergente-divergente supersônico, cujo processo associado pode ultrapassar a produção de sons de 150-200db. Foram testados diferentes configurações de bocais e seus respectivos campos acústicos e mapeados em condições de operação adversas.

Métodos e Procedimentos

Inicialmente, foi necessário realizar um estudo teórico das principais equações que regem o escoamento por um bocal supersônico convergente-divergente^[1], as quais fazem uma relação direta entre características geométricas e os principais parâmetros físicos que regem o fenômeno. Criou-se uma planilha no Excel para o cálculo dos principais diâmetros do bocal conforme os *inputs* necessários que tornariam o jato na saída supersônico (número de Mach > 1). Assim, foi possível fazer o projeto mecânico do bocal, o qual foi posteriormente impresso em uma impressora 3D de resina.

Em paralelo foi iniciado o projeto e a construção da bancada de teste que iria auxiliar, principalmente, a medição dos campos acústicos. O bocal, posicionado em uma guia-linear, foi alimentado por uma linha ar comprimido e tanto o fluxo de entrada quanto de saída foram sensorados por termopares, assim como um Venturi, projetado conforme a norma NBR ISO 5167-1^[2], foi utilizado para medições de pressão.

Na saída do jato, uma série de microfones de eletreto foram posicionados em um suporte regulável para medição em diferentes posições do núcleo potencial. Toda a parte de sensoramento da bancada foi sistematizada no *software* LabVIEW[®].

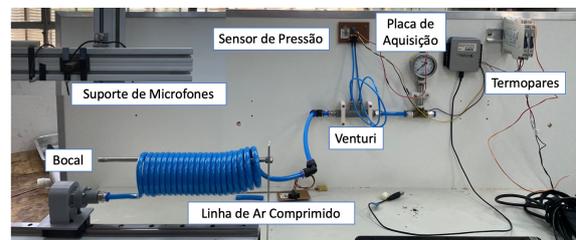


Figura 1: Bancada de Testes

O som adquirido pelos microfones classifica-se como *ruído branco*, barulho que combina e oscila diferentes frequências visando atingir todo o espectro do som. A análise deste sinal acústico consiste na sua decomposição espectral por meio de ferramentas matemáticas, especificamente, a transformada de Fourier a curto tempo, e auxílio dos *softwares* Lab-VIEW[®] e Adobe[®].

A aplicação da transformada neste sinal possibilitou a decomposição em faixas de frequência e, conseqüentemente, a detecção dos eventos acústicos ligados aos fenômenos do jato de saída. Foram identificados o "chiar", muito semelhante ao ruído branco, o "crepitação" que surge devido ao desprendimento errático de vórtices na camada de mistura e o "ringido" que ocorre devido ao feedback amplificado entre o campo acústico, gerado pelas oscilações naturais do núcleo potencial do jato expansivo, e as zonas de choque, onde há uma grande variação na impedância acústica. A sequência de microfones foi útil para identificar os padrões

de frequência em diferentes áreas do jato de exaustão.

Resultados

O projeto da bancada e a primeira versão do bocal foram fabricadas possibilitando o início dos testes. Primeiramente, foi necessário analisar o funcionamento de todos os componentes que fazem parte do sensoriamento da bancada. Após realizada uma calibração de todos os componentes eletrônicos foi possível dar início de fato aos testes acústicos.

O primeiro teste foi realizado em quatro condições diferentes utilizando-se apenas dois microfones posicionados em diferentes locais ao longo do suporte. Inicialmente, com uma pressão de aproximadamente 0,1 bar, foi feita a aquisição de dados de ambos microfones com e sem guia de onda. Em seguida, a uma pressão de 1 bar, repetiu-se o procedimento.

Por meio do processamento dos arquivos gerados pela leitura dos sinais dos microfones, o código gerado no LabVIEW[®] permitiu aplicar o módulo da Transformada de Fourier e assim analisar as frequências obtidas por cada microfones.

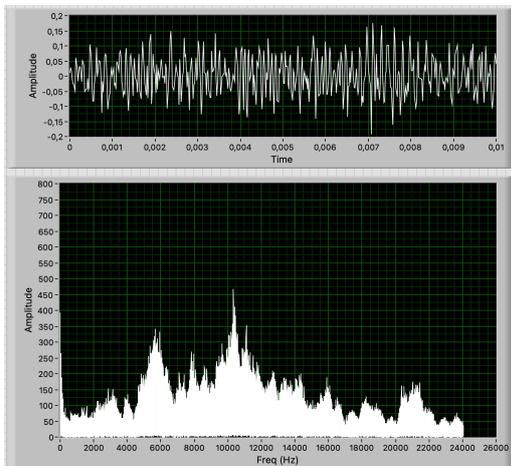


Figura 2: Sinal Acústico Microfone 1 em baixa pressão

A diferença dos sinais detectados por cada microfone explicita a mudança do padrão das pressões que ocorro ao longo do jato supersônicos. O microfone 2 (o mais distante da saída da exaustão do bocal) conseguiu captar, por meio da expressão de sinais de baixa frequência, os quais representam os vórtices de mistura, observável na *Figura 2*. Já o microfone

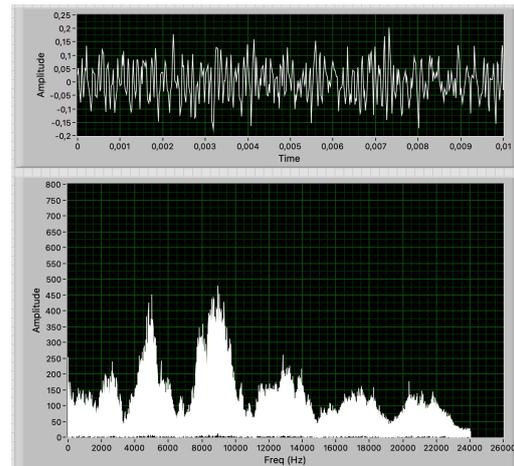


Figura 3: Sinal Acústico Microfone 2 em baixa pressão

1, como é possível ver os gráficos da *Figura 1*, captou frequências mais distribuídas o que se assemelha mais a um "chiar".

Apesar de os testes preliminares não terem sido realizados com a pressão e vazão exata para que ocorresse o escoamento supersônico, foi possível identificar algumas características centrais sobre essa classe de escoamento.

Conclusões

A priori o projeto de bancada e bocal atendem as condições de testes desejadas para análise do padrão acústico gerados pelo bocal convergente-divergente, mostrando padrões de frequência sonoras esperados. Em seguida serão aprimorados detalhes funcionais da bancada para que todas as medições sejam feitas da forma mais detalhada possível, assim como serão instalados mais microfones e uma célula de carga ligada ao bocal para medição do empuxo. Futuramente a bancada será testada em uma câmara anecoica do Departamento de Aeronáutica da EESC-USP para redução de ruídos externos, assim como serão testados diferentes configurações de bocais.

Referências Bibliográficas

- [1] Yunus A. Çengel. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. McGraw Hill Science/Engineering/Math, 2014.
- [2] Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits full part 1: General principles and requirements, 2008.