

Autorização concedida ao Repositório Institucional da Universidade de Brasília (RIUnB) pelo Professor Renato Vilela Lopes, em 22 de outubro de 2018, para disponibilizar o trabalho, gratuitamente, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da obra.

#### REFERÊNCIA

SANTANA, Matheus et al. Construção, instrumentação e identificação e um duto acústico para aplicação de controle ativo de ruído. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 28., out. 2018, Porto Alegre.



## CONSTRUÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE UM DUTO ACÚSTICO PARA APLICAÇÃO DE CONTROLE ATIVO DE RUÍDO

Santana, Matheus<sup>1</sup>; Sousa, Daniel<sup>2</sup>; Lopes, Renato<sup>3</sup>; Nunes, Maria<sup>4</sup>; Murilo, André<sup>5</sup>  
Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama, Área Especial de Indústria Projeção A, Setor Leste, Gama-DF

(1) matheuspereiraunb@gmail.com.

(2) danielcsousadf@gmail.com.

(3) rvlopes@unb.br

(4) maanunes@unb.br

(5) andremurilo@unb.br

### RESUMO

A poluição sonora é considerada atualmente um segmento de significativa importância na pesquisa científica mundial uma vez que ela causa influência direta sobre o meio ambiente e sobre a qualidade de vida dos seres humanos. Neste contexto, este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma plataforma experimental de baixo custo que será utilizada para estudo futuro da aplicação de Controle Ativo de Ruído (CAR) em dutos acústicos. A ideia principal é que esta bancada permita a implementação e avaliação de diferentes algoritmos de controle, verificando o desempenho e características de cada um deles no que diz respeito ao nível de atenuação alcançado na saída do sistema. Além disso, a bancada deve permitir o estudo de diversos temas específicos, tais como análise modal, identificação de sistemas, isolamento acústico entre outros. A utilização desta para fins didáticos é também uma meta do trabalho. Para isso, este artigo irá detalhar diversos aspectos que envolvem a implementação desse sistema, tais como: construção da estrutura física, instrumentação e aquisição de dados. Além disso, é abordado o problema de identificação do modelo matemático que descreve o comportamento dinâmico do sistema. Os resultados experimentais que comprovam o perfeito funcionamento do sistema desenvolvido são apresentados.

**Palavras-chave:** controle ativo de ruído, duto acústico, instrumentação, aquisição, identificação.

### ABSTRACT

Sound pollution is currently considered a segment of significant importance on world scientific research once it causes direct influence on the environment and on the human quality of life. In this context, this paper has the objective to present the development of low cost experimental platform that will be used for future study of Active Noise Control (ANC) application in acoustic ducts. This platform should allow the implementation and evaluation of different control algorithms, verifying the performance and features of each one of them considering the attenuation level reached on output system. Furthermore, the platform must allow the study of many specific topics, such as modal analysis, system identification, acoustic isolation and others. The use of this device for didactic purposes is an objective of this work to. In this context, this paper will detail several aspects of this system implementation, like the physical construction of the structure, instrumentation and data acquisition. Moreover, the problem of identifying the mathematical model is addressed. The experimental results presented in this document prove the perfect functioning of the developed system are presented.

**Keywords:** Active Noise Control, acoustic duct, instrumentation, acquisition, identification.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos o nível de ruído em ambientes urbanos, industriais e comerciais causado pelo aumento do uso de motores, exaustores, transformadores e maquinários similares se tornou um problema para a saúde pública e meio ambiente devido às consequências psicológicas e fisiológicas agregadas [4], [7]. Diferentes técnicas para minimizar esses problemas foram criadas, entre estas se destacam as técnicas com uso de silenciadores passivos e as de Controle Ativo de Ruído (CAR). De acordo com [9], os silenciadores passivos, como tubos de impedância e invólucros, são meios baratos e eficientes para cancelamento de ruído em uma banda larga de frequências, porém, tendem a ocupar muito espaço e seu desempenho é deteriorado em baixas frequências. A técnica conhecida como CAR apresenta eficácia contra ruídos de baixa frequência [3]. Esta técnica foi proposta inicialmente por [8] e consiste no princípio da superposição destrutiva de ondas. Para a aplicação da técnica são necessários sensores eletroacústicos sensíveis aos ruídos de interesse e atuadores eletroacústicos capazes de propagar as ondas acústicas de mesma amplitude e defasadas em  $180^\circ$  em relação ao ruído indesejado, desse modo, a soma das duas ondas sonoras gera uma interferência destrutiva que resulta apenas em um ruído residual [11]. Desde então diversos trabalhos foram propostos abordando tal solução, com as mesmas premissas e a adição de alguns aperfeiçoamentos, tais como, usar computadores, micro controladores e DSPs para defasar o sinal de entrada [6], desenvolvimento de diversas técnicas de controle, como por exemplo, a inclusão de técnicas de filtragem adaptativa [2], [4] e estimação do modelo do sistema onde o ruído está se propagando [10], [12].

Desta forma, atualmente existem várias soluções efetivas disponíveis para o CAR, porém mais trabalho é requerido com o intuito de reduzir o ruído de forma mais eficiente e encontrar uma solução ideal para a redução deste ruído. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de uma plataforma experimental de baixo custo que será utilizada para estudo da aplicação de CAR em dutos acústicos. A ideia principal é que esta bancada permita a implementação e avaliação de diferentes algoritmos de controle em um ambiente de tempo real, verificando o desempenho e características de cada um deles no que diz respeito ao nível de atenuação alcançado na saída do sistema. Desta forma, muitos aspectos práticos que não estão disponíveis em ambiente de simulação poderão ser investigados e proporcionar estudos mais específicos que ajudem o desenvolvimento do estado da arte em CAR. Além disso, a bancada deve permitir o estudo de diversos temas específicos, tais como análise modal, identificação de sistemas, isolamento acústico entre outros. A utilização desta para fins didáticos é também uma meta do trabalho.

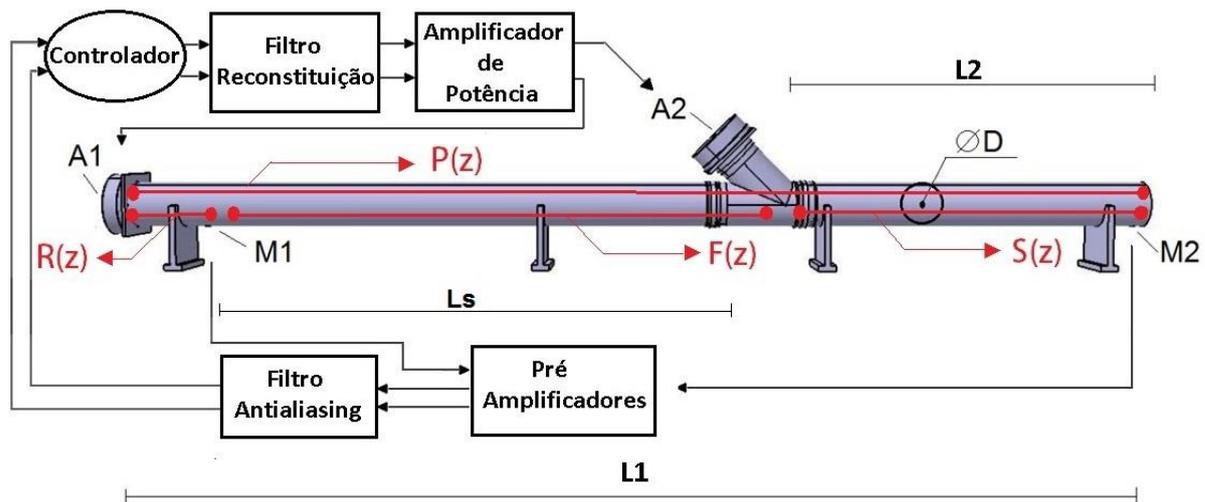
Para isso, este artigo irá detalhar diversos aspectos que envolvem a implementação desse sistema, tais como: construção da estrutura física, instrumentação e aquisição de dados. Além disso, é abordado o problema de identificação off-line do modelo matemático que descreve o comportamento dinâmico do sistema. Os resultados experimentais que comprovam o perfeito funcionamento do sistema desenvolvido são apresentados. Ressalta-se que, os algoritmos de controle não serão abordados nesse trabalho. Na próxima seção é apresentado como o duto acústico foi construído, fazendo um detalhamento completo sobre as dimensões, materiais e custos. Na próxima seção também são apresentados todos os sensores e atuadores eletroacústicos, bem com os circuitos de condicionamento utilizados na instrumentação do duto e o sistema de aquisição de dados. A subseção seguinte trata da metodologia usada para realizar a identificação dos modelos matemáticos do sistema. Nestes tópicos são apresentados todos os detalhes da metodologia empregada no desenvolvimento da bancada bem como os

resultados que comprovam o seu funcionamento. Na última seção são apresentadas as conclusões do trabalho e a proposição de trabalhos futuros.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Construção da Plataforma Experimental

O duto construído é apresentado na Fig. 1. O duto foi construído com tubos de PVC de  $D = 0,15$  metros de diâmetro e extensão total de  $L1 = 3,50$  metros, constituído por três partes principais, dois tubos de PVC acoplados por uma junção de  $45^\circ$ , também de PVC. A distância entre a junção de  $45^\circ$  e o fim do duto é de  $L2 = 1,17$  metros. O modelo construído levou em conta o modelo desenvolvido por [3] e o espaço disponível para sua instalação no laboratório. A disposição dos sensores e atuadores está de acordo com a Fig. 1, onde A1 e A2 se referem aos alto-falantes e M1 e M2 se referem aos microfones de eletreto utilizados para a aquisição do sinal acústico. A1 é o alto-falante que representa a fonte sonora, responsável por emular o ruído a ser cancelado, A2 é alto-falante de controle, responsável por gerar o ruído para cancelar o ruído principal, M1 é o microfone de referência, necessário para se adquirir o sinal gerado pelo alto-falante A1 e M2 é o microfone de erro, responsável por adquirir o ruído residual após a soma do ruído de controle. O microfone de referência, M1, fica a uma distância de 0,25 m do alto falante de ruído e o microfone de erro, M2, fica a 3,40 m do alto-falante de ruído.



**Figura 1.** Duto acústico construído com os sensores e atuadores.  $P(z)$  é o caminho principal do duto,  $S(z)$  é o caminho secundário,  $R(z)$  é o caminho de referência e  $F(z)$  é o caminho de realimentação.

A distância entre o microfone M1 e o atuador A2, 1,75 m, é de extrema relevância no projeto, uma vez que o tempo de propagação da onda sonora nessa distância é o tempo que a plataforma poderá esperar para calcular uma resposta para o sinal amostrado no microfone M1. Como foi tratado por [3] o atraso da propagação sonora ( $t_s$ ), deve ser maior que o atraso de propagação do sinal elétrico ( $t_e$ ).

$$t_s > t_e, \quad (1)$$

O atraso  $t_s$  depende unicamente da distância ( $L_s$ ) entre M1 e A2, e da velocidade de propagação do som ( $V_s$ ), ou seja:

$$t_s = \frac{L_s}{V_s}, \quad (2)$$

O atraso  $t_e$  depende do atraso elétrico dos filtros condicionadores ( $t_c$ ), e do atraso de grupo do filtro adaptativo implementado para o controle ( $t_g$ ).

$$t_e = t_c + t_g, \quad (3)$$

O valor do atraso  $t_c$  depende da ordem ( $M$ ) do filtro e do período de amostragem ( $T_s$ ), conforme mostrado na Eq. (4).

$$t_c = T_s \left( 1 + \frac{3M}{8} \right), \quad (4)$$

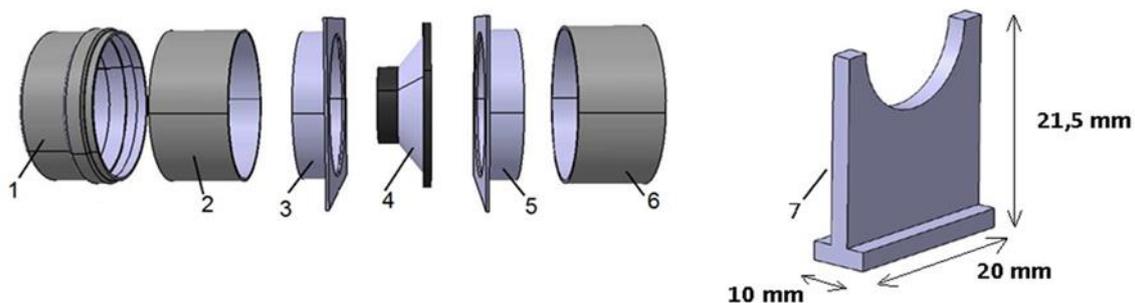
Manipulando as Eq. (1), Eq. (2), Eq. (3) e Eq. (4) pode se mostrar a relação contida na Eq. (5).

$$t_g < \frac{L_s}{V_s} - T_s \left( 1 + \frac{3M}{8} \right), \quad (5)$$

Conforme será descrito no decorrer deste artigo, neste trabalho utilizou-se ordem 4 para os filtros condicionadores e uma frequência de aquisição de 2,5 kHz. Desta forma, utilizando-se a Eq. 5 é possível calcular que o algoritmo de controle implementado para este duto deve ter um tempo de processamento menor do que 4.1ms. Além disso, para eficiência das técnicas de CAR é preciso que dentro do duto se propaguem apenas ondas planas. De acordo com [3], para garantir esta característica o duto deve ter ondas de frequência máxima igual à dada na Eq. (6).

$$f_m < \frac{1,84V_s}{2\pi D}, \quad (6)$$

Com  $D = 150$  mm é possível garantir ondas planas até a frequência de 669 Hz. Outro fator importante na construção do duto é que os alto-falantes fiquem muito bem vedados, pois, frestas e áreas abertas podem comprometer a avaliação do sistema. Para isso na extremidade esquerda e na saída de 45° da junção foram projetados acoplamentos para se conectar e confinar os alto-falantes A1 e A2, respectivamente. Cada um dos acoplamentos é composto por um cap PVC de diâmetro interno de 150 mm, dois acoplamentos para tampa de caixa de gordura com diâmetro externo de 145 mm e duas extensões de cano PVC com 150 mm de diâmetro externo e 70 mm de comprimento, esse arranjo tem sua configuração apresentada na Fig. 2. Para sustentar toda estrutura, os dutos foram apoiados em quatro suportes de base 200x100x15mm<sup>3</sup> e apoio de 200x200x15 mm com uma abertura semicircular com 75 mm de raio, seu modelo é apresentado na Fig. 2.

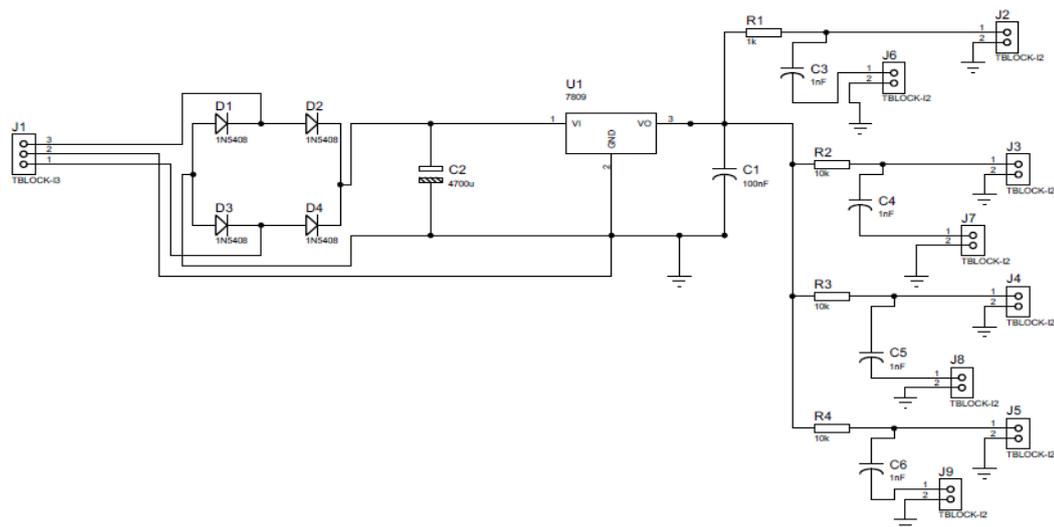


**Figura 2.** Vista explodida do acoplamento do alto-falante e suporte para o duto – Legenda: 1. Cap PVC, 2. e 6. Extensão de cano PVC, 3. e 5. Acoplamento de tampa de caixa de gordura, 4. Alto-falante, 7. Suporte de MDF para o duto.

## 2.2 Desenvolvimento dos Circuitos Eletrônicos e Sistema de Aquisição de Sinais

Os atuadores eletroacústicos A1 e A2 usados são dois alto-falantes Class CM465 Quadriaxial da marca Hurricane de 6,5 polegadas, com potência máxima de 65 W RMS, resposta em frequência de 80 Hz a 20 kHz e impedância de 4  $\Omega$ . Os sensores M1 e M2 são dois microfones de eletreto de baixa impedância, consumo de corrente de 0,5 mA, relação sinal ruído de 40 dB e máxima pressão sonora de 120 dB.

Os microfones de eletreto precisam de um circuito de alimentação para o seu funcionamento. A Fig. 3 mostra o circuito projetado para sua alimentação. O circuito é constituído de uma fonte de tensão DC de 12 V, com o uso de uma ponte retificadora, seguida por um capacitor de 2200  $\mu\text{F}$  e um regulador de tensão na saída para reduzir o efeito do ripple de 60 Hz proveniente da rede.



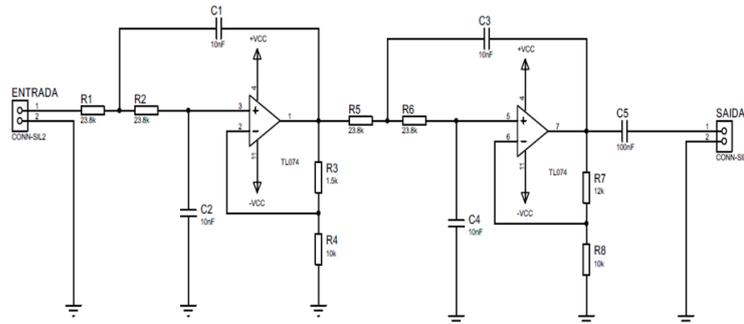
**Figura 3.** Fonte de alimentação e condicionamento de sinais para os microfones de eletreto.

O amplificador de potência comercial usado é do modelo MK1200 da Mark Audio, este amplificador de potência possui um estágio de amplificação classe AB, potência de saída de 75 W RMS por canal, relação sinal-ruído superior a 80 dB, resposta em frequência entre 20 a 20 kHz, impedância de entrada superior a 30 k $\Omega$  e ganho em tensão de -90 a 0 dB. O mesmo possui dois canais, um para o alto-falante de ruído e outro para o alto-falante de cancelamento.

Os pré-amplificadores usados são do tipo comercial Tube Ultragain Mic100 da Behringer, um para amplificar o sinal do microfone de referência e outro para amplificar o sinal do microfone de erro. Os mesmos são necessários para amplificar os sinais adquiridos e aumentar sua resolução, vistos que estes estão na faixa de mV. Este pré-amplificador possui resposta em frequência de 10 Hz a 40 kHz, ganho variável de +26 a +60 dB e ajuste de saída de  $-\infty$  a +10 dB.

Os filtros anti-aliasing e de reconstrução foram projetados para terem frequência de corte de 670 Hz. Essa frequência de corte foi escolhida para limitar que apenas ondas sonoras planas estejam no duto, de acordo com a Eq. (6). O filtro escolhido foi um ativo passa-baixa Butterworth com topologia Sallen-Key de ordem 4. Um capacitor de desacoplamento foi colocado na saída para remover um possível nível residual de DC que chegue somado ao sinal

dos microfones, esta topologia é apresentada na Fig. 4. O filtro possui quatro canais, dois para os microfones e dois para os alto-falantes.



**Figura 4.** Filtro Passa-Baixa Butterworth com topologia Sallen-Key de 4ª ordem.

Devido à utilização de componentes comerciais o valor a frequência de corte real ficou em 668,7 Hz. Os valores usados para a resistência e capacitâncias estão presentes na Fig. 4. Desta forma, selecionou-se a frequência de amostragem em 2,50 kHz, que é um valor quase quatro vezes maior que a maior frequência a ser atenuada. Contudo, ressalta-se que esta frequência de amostragem restringe ainda mais o tempo de cálculo dos controladores que devem ter um tempo máximo de resposta de 0,4 ms.

O sistema de aquisição foi realizado a partir da placa de aquisição NI-USB-6215 (National Instruments), que permite leitura e escrita de dados analógicos à taxa de 250kS/s com uma resolução de 16 bits, na qual são adquiridos todos os dados provenientes do sistema de condicionamento de sinais e escrita dos dados analógicos enviados aos atuadores eletroacústicos, que posteriormente são interfaceados por meio da ferramenta LABVIEW. Apesar deste sistema de aquisição ser eficiente para se fazer uma identificação de sistemas off-line, como será apresentada na próxima seção, ele é ineficiente para a aplicação dos algoritmos de controle, pois, a integração NI-USB-6215 e LABVIEW sobre o sistema operacional Windows proporciona uma resolução no tempo mínima de 1 ms, o que não cobre os requisitos de tempo máximo de cálculo de 0,4 ms que é necessária para operar com a taxa de 2,50 kHz. Devido a esse problema, para implementação futura dos controladores, decidiu-se trocar esse sistema por um DSP TMS320C600, que fornece um sistema em tempo real para programar os controladores CAR. A Figura 5 apresenta a bancada montada com o duto instrumentado e o sistema de aquisição.



**Figura 5.** Duto para implementação da técnica CAR montado no Laboratório NVH, Faculdade do Gama, Universidade de Brasília – Legenda: 1. Pré-amplificadores, 2. Amplificador de potência, 3. Filtros passa-baixa, 4. Fonte de alimentação dos microfones de eletreto, 5. Sistema de aquisição, 6. Alto-falante de ruído, 7. Alto-falante de cancelamento, 8. Microfone de referência e 9. Microfone de erro.

A Tabela 1 traz uma relação entre todos os componentes usados na construção da bancada e na instrumentação e o custo total empreendido na construção.

**Tabela 1.** Tabela de custos da construção da bancada.

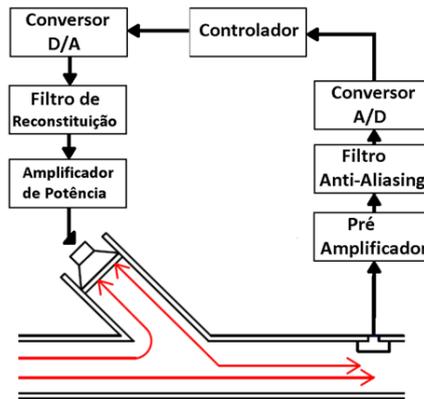
<b>Material</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
<b>Duto</b>	
Tubo PVC 150 mm	180,00
Cap PVC 150 mm	20,00
Junção PVC 150 mm	68,00
Suporte de MDF	60,00
Acoplamento de tampa	16,00
<b>Filtro</b>	
Caixa patola PB-255	68,50
Componentes eletrônicos diversos	117,22
Fonte dos Microfones	
Caixa patola PB 119/2	24,00
Cabo para tomada	6,99
Componentes eletrônicos diversos	86,88
<b>Equipamentos Comerciais</b>	
Alto-falantes Class CM465 Quadriaxial Hurricane	51,90
Microfone de Eletreto	1,40
Amplificador de Potência MK1200 Mark Audio	566,80
Pré-Amplificador Tube Ultragain Mic100 Behringer	592,00
Cabos e conectores para conectar todos os sistemas	654,55
DSP TMS320C600	1.357,02
<b>Total</b>	<b>3.871,26</b>

Para verificar que o sistema está operacional foi aplicada uma onda senoidal de 100 Hz no alto-falante A1 e captado os sinais recebidos pelos microfones M1 e M2. Os sinais adquiridos com os microfones M1 e M2 também são sinais senoidais de mesma frequência que o sinal gerado em A1, mas com diferença de fase e amplitude, esse resultado mostra que a bancada funciona como esperado. O mesmo teste foi feito para o alto-falante A2 e também apresentou os resultados esperados.

### 3. RESULTADOS

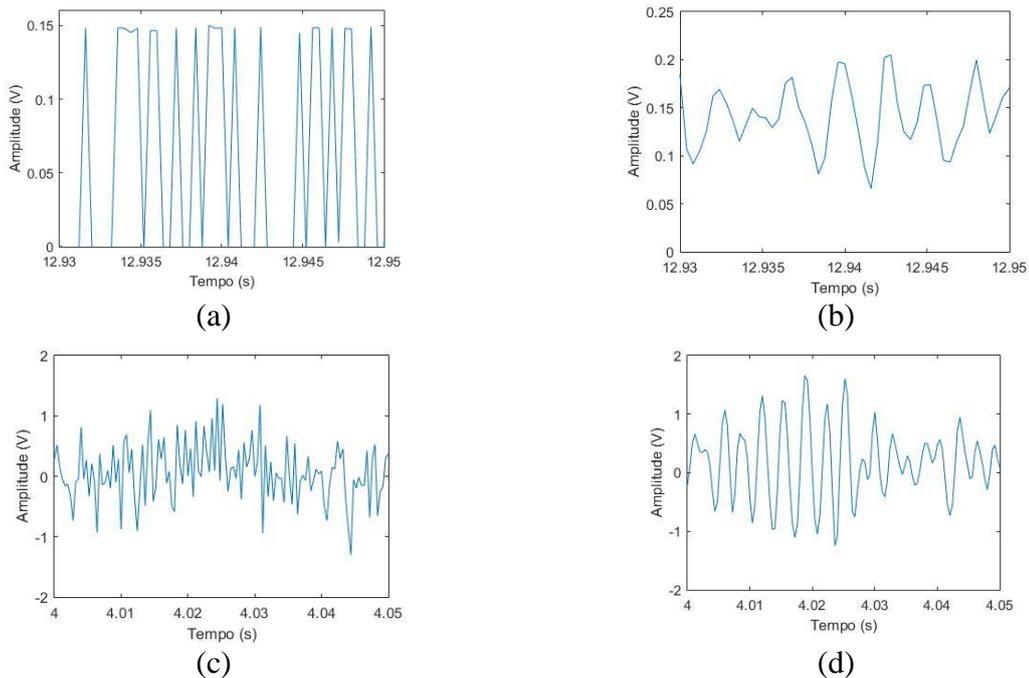
Este item descreve os resultados obtidos com a identificação off-line do sistema. O desempenho global de um sistema CAR é extremamente dependente da qualidade dos modelos dinâmicos utilizados no desenvolvimento do sistema de controle, em especial do modelo do caminho secundário [5]. Consequentemente, é de vital importância a estimação desses modelos de forma eficiente.

Um típico sistema CAR consiste de vários caminhos e sistemas cujas funções de transferência devem ser consideradas. Os caminhos considerados neste trabalho estão mostrados na Fig. 1 e são definidos como:  $P(z)$  é o caminho primário,  $S(z)$  o caminho secundário,  $F(z)$  o caminho de referência e  $R(z)$  o caminho de realimentação. É importante ressaltar que as funções de transferência dos demais sistemas, como por exemplo, a dinâmica dos alto-falantes e microfones, os filtros anti-aliasing e de reconstrução, os pré-amplificadores dos microfones, o circuito amplificador de potência e dos conversores A/D e D/A tem os seus efeitos acumulados na função de transferência do caminho secundário como ilustrado na Fig. 6.



**Figura 6.** Descrição dos componentes envolvidos no modelo do caminho secundário.

Diversos trabalhos já abordaram esse problema, [3], [6], [11]. No entanto, nestes trabalhos apenas um tipo de sinal de entrada foi utilizado, ou um sinal PRBS (do inglês, Pseudo Random Binary Sequence) ou um sinal do tipo ruído branco, de forma que não é possível realizar uma comparação sobre qual o melhor tipo de sinal de excitação para a identificação deste tipo de sistema. Assim, nesta seção será realizada a descrição da metodologia de identificação destes modelos e será realizada uma comparação dos resultados com esses dois diferentes tipos de sinais de entrada. Os sinais de excitação escolhidos foram gerados através do software Labview e possuem as seguintes características: magnitude de 150 mV, tamanho do registrador = 17 e 131071 amostras, garantindo um espectro de potência uniforme de aproximadamente 70Hz até 1250Hz, de acordo com [6]. Para o sinal de excitação do tipo ruído branco utilizou-se amplitude de 500 mV RMS. Como saída dos sistemas são considerados os sinais adquiridos pelos dois microfones do sistema. A Figura 7 ilustra os sinais de excitação utilizados neste trabalho e os respectivos sinais adquiridos.



**Figura 7.** Ilustração dos sinais de excitação no Duto. (a) Sinal do tipo PRBS aplicado ao duto pelo alto-falante A1. (b) Sinal adquirido pelo microfone M2, quando utilizado sinal de excitação do tipo PRBS. (c) Sinal do tipo ruído branco aplicado ao duto pelo alto-falante A1; (d) Sinal adquirido pelo microfone M2, quando utilizado sinal de excitação do tipo ruído branco.

Ressalta-se que, no processo de identificação do sistema, metade dos dados adquiridos são utilizados para a estimação dos parâmetros dos modelos e a outra metade é utilizada na etapa de validação dos modelos. A estrutura de modelo ARX (auto-regressivo com entrada exógena) foi escolhida para avaliação neste trabalho. Sua representação é dada pela Eq. (7), desenvolvida por [11].

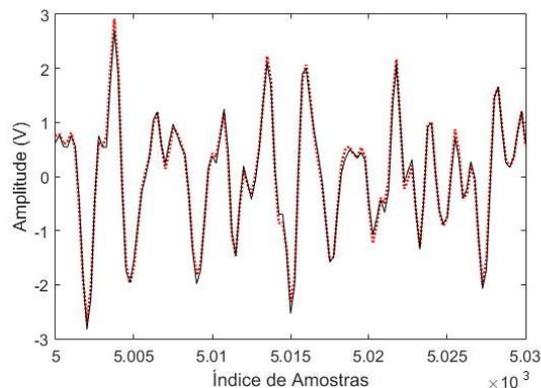
$$y(t) = [b_1 \cdot u(t - q) + \dots + b_{n_b} \cdot u(t - q - n_b + 1)] - a_1 \cdot y(t - 1) + \dots + a_{n_a} \cdot y(t - n_a), \quad (7)$$

Na Equação 7 os termos  $n_a$  e  $n_b$  representam os números de pólos e zeros, respectivamente. O termo  $q$  representa o atraso de transporte, que é definido como o tempo decorrente para que uma variação no sinal de entrada provoque uma variação na variável de saída do sistema,  $u(k)$  e  $y(k)$  representam as entradas e saídas do sistema, respectivamente. Foram testados modelos com diferentes números de pólos e zeros e diferentes valores para o atraso, porém os melhores resultados foram obtidos considerando o atraso de transporte nulo em todos os casos. Os melhores resultados obtidos estão resumidos na Tab. 2.

**Tabela 2.** Resultados experimentais de identificação a partir de modelos ARX.

Caminho	Melhor <i>FIT</i> - Sinal PRBS (%)	Melhor <i>FIT</i> – Sinal Ruído Branco (%)	Modelo ( $n_a, n_b, n_k$ )
P(z)	88,9	91,5	(70,70,0)
S(z)	83,9	91,2	(70,70,0)
R(z)	82,0	93,5	(70,70,0)
F(z)	87,0	93,5	(70,70,0)

Observa-se na Tab. 2 que houve obtenção de modelos matemáticos consistentes para todos os caminhos do duto com os dois tipos de sinais de excitação. No entanto, o melhor resultado foi obtido a partir de sinais do tipo ruído branco. A Figura 8 ilustra a validação do modelo através da comparação entre a saída obtida pelo microfone de erro e a saída gerada a partir do melhor modelo identificado para o caminho secundário.



**Figura 8.** Formas de onda de saída do melhor modelo em comparação com os dados adquiridos pelo microfone de erro. O sinal contínuo indica os dados captados pelo microfone e a forma de onda tracejada representa os dados obtidos na saída do modelo ARX.

#### 4. CONCLUSÃO

Como resultado do trabalho foi construído um duto acústico de baixo custo para aplicação didática na implementação de técnicas de Controle Ativo de Ruído. Os resultados experimentais comprovam a eficiência da bancada desenvolvida. Foi abordado também o

problema de identificação off-line dos diferentes caminhos existentes no sistema de CAR. Dois diferentes sinais de excitação foram avaliados, sinal do tipo PRBS e do tipo ruído branco. Os resultados experimentais mostraram que os sinais do tipo ruído branco proporcionaram a estimativa de modelos melhores, destacando-se o modelo do tipo ARX com 70 pólos e 70 zeros que obteve 91,47 % de FIT para o caminho primário, 91,22% para o caminho secundário, 93,48% para o caminho de referência e realimentação. Para trabalhos futuros pretende-se realizar a implementação de diversas estratégias de controle para esse tipo de sistema, em especial, a estratégia de controle conhecida como controle preditivo baseado em modelo (MPC).

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Brasília – Campus do Gama (FGA) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) NP: 0193.001514/2017 pelo suporte financeiro a essa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- [1] Aguirre, L.A., 2000, “Introdução à Identificação de Sistemas, Técnicas Lineares e Não lineares Aplicadas a Sistemas Reais”, Ed. UFMG, Belo Horizonte, Brasil.
- [2] Bjarnason, E., 1995, “Analysis of the Filtered-X LMS Algorithm”, IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, Vol. 3, No. 6, pp. 504-514.
- [3] Delfino, L.C., 2005, “Controle Ativo de Ruído em Dutos Utilizando Processadores Digitais de Sinais”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gérias.
- [4] Hernández, O.R.F., Olivares, A.P., Assad, G.D., Ortega, A.A., Chapa, S.O.M., Lara, F.B., 2008, “On the performane of Active Noise Control FX-LMS and FBFX\_LMS algorithms for Duct Network Noise Attenuation”, Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference.
- [5] Kempf, A.D.O, 2003, "Avaliação de desempenho de malhas de controle", Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, pp 12-13.
- [6] Landau, I.D., Meléndez, R., 2017, “Active Noise Control: Adaptative vs. Robust Approach”, Mediterranean Conference on Control and Automation (MED).
- [7] Leão, R.N., Dias, F.A.M, 2010, “Perfil audiométrico de indivíduos expostos ao ruído atendidos no núcleo de saúde ocupacional de um hospital do município de Montes Claros, Minas Gerais”, Revista CEFAC, Vol. 12, No. 2.
- [8] Leug, P., 1936, “Process of Silencing Sound Oscillations”, United States Patent Office, 2,043,416.
- [9] Kuo, S.M., Morgan, D.R., 1999, “Active Noise Control: A Tutorial Review”, Proceedings of the IEEE, Vol. 87, No. 6, pp. 943-973.
- [10] Nagi, F., Li, L.S., 2005, “Adaptative System Identification Paradigims and Air Duct System Identification”, 1st Interational Conference on Computers, Communicatios, & Signal Processing with Special Track on Biomedical Engineering, pp. 202-206.
- [11] Nuñez, I.J.C., 2005, “O Controle Ativo de Ruído em Dutos: Um estudo Teórico - Experimental”, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gérias.
- [12] Sadeghi, S., Poshtan, M., Kahaei, H., 2003, “The Simulation and Implementation of an Active Noise Control System in a Laboratory Duct”, European Control Conference (ECC), pp. 1252-1256.