



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GSE 09  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

## **GRUPO VIII**

### **GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS**

#### **CONTROLE ATIVO DE RUÍDO EM CAMPO ABERTO**

**José Gilberto Lima\***

**Gustavo Felipe Paolillo**

**José Carlos de Souza Júnior**

**Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista - CTEEP  
Santa Bárbara d'Oeste**

## **RESUMO**

Este trabalho propõe a implementação de um sistema de cancelamento ativo de ruídos para aplicação em subestações de energia elétrica. São apresentados os resultados obtidos em implementação prática em campo aberto e comparativos de desempenho com diferentes geometrias para a mesma arquitetura de hardware.

São apresentados resultados práticos obtidos com o hardware desenvolvido para o projeto, tanto para os estudos preliminares realizados em ambiente aberto simplificado como os obtidos na subestação de energia elétrica considerada.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Ruído acústico, Controle Ativo de Ruídos, Campo Aberto

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

Materiais destinados a redução de pressão acústica são pouco eficientes para ruídos de baixa frequência, como os produzidos por motores, transformadores elétricos e ou máquinas industriais. O enclausuramento destas fontes de ruído pode produzir bons resultados, porém esta técnica muitas vezes é inviável e bastante onerosa.

O aprimoramento dos processadores digitais viabilizou a utilização de técnicas de controle ativo de ruídos, bastante eficiente na região das frequências baixas.

Sistemas para controle de ruídos em transformadores elétricos vem sendo estudados ao longo dos últimos anos para proporcionar redução do seu ruído característico, de baixa frequência, principalmente em áreas urbanas. Bons resultados vem sendo obtidos com o emprego de atuadores para controle ativo de vibração estrutural [29] ou com o uso de controle ativo de ruídos multicanal [13].

Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos em montagem experimental e os esforços para aproximar a técnica de um produto com custo reduzido e adequado para emprego em subestações de energia elétrica.

### **2.0 - ESTRATÉGIAS DE CONTROLE**

Diversas estratégias de controle podem ser utilizadas em sistemas ativos para controle de ruído. Para a investigação preliminar optou-se por estratégias clássicas e amplamente discutidas em literaturas sobre controle digital adaptativo. Apresenta-se a seguir um breve descritivo das técnicas aplicadas neste estudo:

(\*) Rodovia SP 306, KM 26, S/Nº, CEP 13450-970 Santa Bárbara d'Oeste, SP – Brasil  
Tel: (+55 19) 3459-3019 – Fax: (+55 19) 3459-3014 – Email: jglima@ctEEP.com.br

### 2.1 Controle por Antecipação (*Feedforward*)

Neste método o sinal de referência, captado nas imediações do transformador ou fonte de ruído, é utilizado como sinal de entrada do controlador.

O controlador aciona o atuador, que emite o sinal de controle para produzir interferência acústica destrutiva. O desempenho do sistema ou a intensidade de pressão acústica residual é captada por um microfone de erro posicionado na região de controle. Esse sinal realimenta o sistema, capaz de modificar os parâmetros de um filtro adaptativo alterando o sinal de controle emitido para a minimização do sinal captado pelo microfone de erro.

O algoritmo LMS *least-mean square* foi utilizado para esta tarefa devido à facilidade de implementação, robustez e pela fonte de ruído não apresentar variações significativas em suas características com o tempo.

Para minimizar a interferência do caminho acústico existente entre o atuador e o microfone de erro utilizou-se a técnica de filtrar o sinal de entrada por uma estimativa deste caminho acústico, obtida antes da operação do sistema. Esta modificação é conhecida como Filtered-LMS FxLMS.

A Figura 1 apresenta o diagrama de blocos de um sistema FxLMS.

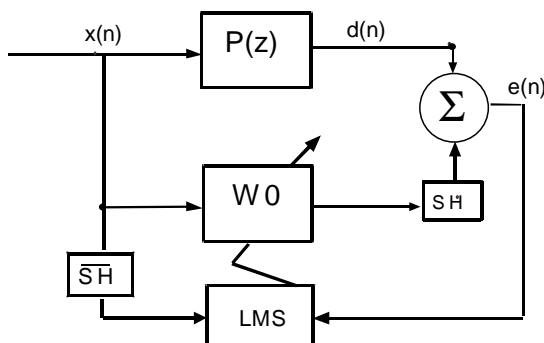


FIGURA 1. Sistema FxLMS

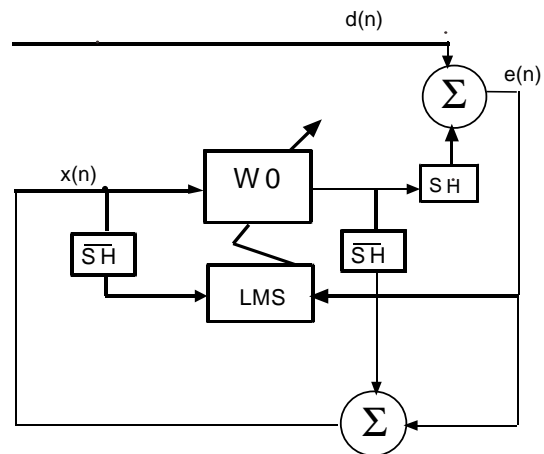


FIGURA 2. Sistema feedback FxLMS

### 2.2 Controle por Realimentação (*Feedback*)

O Controle por *feedback* consiste em reintroduzir o sinal captado pelo microfone de erro no sistema de controle.

Em sistemas de controle ativo de ruído o sinal  $d(n)$  não pode ser aproveitado durante a operação do sistema por ser atenuado pelo sinal proveniente do atuador. Devido a este fato, emprega-se um sinal estimado como referência  $x(n)$  para o controlador. O controle por realimentação ou *feedback* é conveniente para lidar com sinais periódicos ou sinais que sofram pouca variação de suas características com o tempo.

A Figura 2 apresenta o diagrama em blocos de um sistema *feedback* adaptativo FxLMS, para compensar os efeitos do caminho acústico SH.

### 2.3 Sistemas Híbridos

Sistemas destinados ao controle de ruídos que empregam ambas as técnicas *feedback* e *feedforward* são denominados de sistemas híbridos.

Sistemas híbridos têm vantagens em relação à aplicação isolada das principais estratégias de controle, principalmente quanto à flexibilidade de projeto e desempenho na atuação, por beneficiarem-se simultaneamente das características de sistemas *feedback* e *feedforward*.

Para implementar um sistema híbrido não são necessários novos elementos sensores ou atuadores. Devido à característica *feedback*, tem bom desempenho no cancelamento de sinais de fácil predição não observados pelo sensor de referência. Por outro lado, sinais captados pelo sensores de referência, com boa correlação com o sinal interferente, são atenuados pelo controle *feedforward*.

A combinação de sistemas *feedback* e *feedforward* produzem um desempenho global no cancelamento do ruído superior ao da aplicação de cada uma das técnicas isoladamente [20].

## 2.4 Sistemas com Múltiplos Atuadores e Sensores

Sistemas multicanal empregam múltiplos sensores ou atuadores para obter melhores resultados no controle de campos acústicos complexos em ambientes como salas retangulares e dutos de grandes dimensões [13]. O emprego de múltiplos sensores e atuadores demanda grande capacidade de processamento para lidar simultaneamente com os diversos sinais e modelamentos de caminhos acústicos.

A implementação do sistema multicanal requer a adição de novos controladores adaptativos e o conhecimento do modelo da planta acústica SH existente entre cada novo atuador adicional e o sensor de erro correspondente. Na implementação prática discutida nas seções subsequentes, sistemas com múltiplos canais serão propostos e o desempenho avaliado em campo aberto para controle de ruído em transformadores elétricos.

## 2.5 Identificação da Planta

Em sistemas de controle ativo de ruído é muito difícil conhecer previamente o modelamento da planta de controle. Para obtê-lo lança-se mão de medidas dos sinais de entrada e saída, operação que pode acontecer antes ou durante a operação do controle.

A identificação prévia da planta, técnica também conhecida como modelamento *off-line*, pode ser empregada com sucesso quando a planta entre o atuador e o sensor de erro é invariante no tempo ou não sofre modificações significativas por influências externas, capazes de desestabilizar o sistema de controle. Devido à grande tolerância a erros do algoritmo FxLMS, o filtro SH, estimado previamente, pode ser capaz de acomodar pequenas variações na planta, como por influências térmicas, mantendo o sistema estável.

Quando variações capazes de afetar a estabilidade ocorrem com muita frequência, faz-se necessária a estimação dos coeficientes do filtro de modelamento durante a operação, técnica conhecida como modelamento on-line.

No trabalho com transformadores elétricos em campo aberto, a técnica de modelamento *off-line* satisfaz às necessidades do sistema de controle devido à pequena variação do caminho acústico SH(z) quando da presença de operadores ou quando de variações climáticas.

A identificação da planta ou caminho acústico é realizada utilizando filtragem adaptativa com sinal de ruído branco, que contém distribuição uniforme de energia por todo o espectro de interesse.

Durante o processo de modelamento empregam-se valores pequenos para o passo do algoritmo adaptativo, visando minimizar erros de estimação. Após a convergência, o que pode levar alguns segundos, os coeficientes do filtro são utilizados no sistema de controle FxLMS para gerar o sinal de referência filtrado.

## 3.0 - ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM LABORATÓRIO

Os ensaios experimentais em campo foram realizados com hardware padrão do fabricante Analog Devices com limitados recursos de processamento e apenas 2 canais de entrada e saída. Os ensaios e os resultados obtidos foram importantes para validar os algoritmos de controle e para prever dificuldades, posicionamentos, avaliar a irradiação dos atuadores e sensibilidade dos sensores e estimar adequações necessárias para a montagem na planta da subestação de energia.

Foram avaliadas 3 geometrias para controle por estratégia *feedback*. Resultados semelhantes, em termos de redução da intensidade de pressão acústica, foram obtidos para a estratégia de controle feedforward ou híbrido. O sinal interferente utilizado nos testes foi sintetizado para aproximar-se do ruído característico emitido por transformadores, com frequência fundamental de 120 Hz e harmônicos de menor intensidade nas frequências de 180 Hz, 240 Hz e 360 Hz.

Por limitações do processador de sinais apenas 400 coeficientes foram utilizados para mapear a resposta impulsiva entre a caixa de controle e o microfone de erro, tarefa realizada com emissão de ruído branco antes da operação do sistema. Também 128 coeficientes foram empregados no filtro adaptativo de controle com algoritmo LMS. Mesmo com um modelamento impreciso do caminho acústico entre atuador e sensor, obteve-se a convergência com coeficiente de adaptação reduzido após aproximadamente 200 segundos.

As intensidades de pressão acústica foram mensuradas em campo aberto e os resultados interpolados são apresentados em formato de curvas de superfície. A Figura 3 apresenta a distribuição na planta da intensidade de pressão acústica emitida pela fonte de ruído na ausência de controle.

Nas figuras 3, 5 e 8 cada divisão do quadriculado representa 1 metro de distância e a escala de intensidades está graduada em decibéis - curva A. A intensidade do ruído foi ajustada para que a pressão acústica média a 15 metros da fonte fosse de aproximadamente 70 dB na escala de ponderação A.

(\*) Rodovia SP 306, KM 26, S/Nº, CEP 13450-970 Santa Bárbara d'Oeste, SP – Brasil  
Tel: (+55 19) 3459-3019 – Fax: (+55 19) 3459-3014 – Email: jglima@ctEEP.com.br

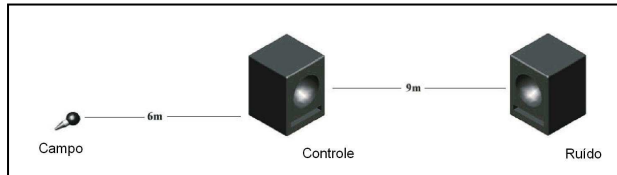


FIGURA 4. Atuador direcionado para a fonte de ruído

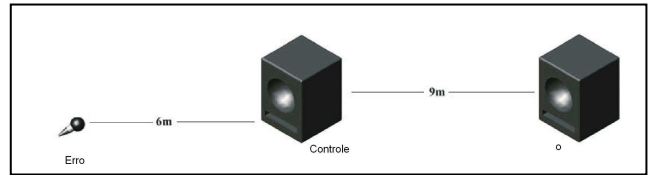


FIGURA 6. Atuador direcionado para o microfone de erro

### 3.1 Geometria experimental número 1

Nesta montagem o atuador de controle foi direcionado para a fonte de ruído. A Figura 4 apresenta os posicionamentos e distâncias empregadas no experimento, onde o microfone de erro foi posicionado a 6 metros do atuador de controle e este a 9 metros da fonte de ruído. Em todos os experimentos o microfone de erro foi mantida a 1,2 m do solo.

Os resultados obtidos indicam ação eficiente do sistema de controle, com reduções de até 20 dB na região próxima ao microfone de captação de erro. Nota-se um gradiente de atenuação que tem como ponto de máximo o microfone de erro, caracterizando uma região de controle com aspecto geométrico triangular. A figura 5 apresenta os resultados obtidos com a geometria 1

### 3.2 Geometria experimental número 2

Nesta montagem o atuador de controle foi direcionado para o microfone de erro. A Figura 6 apresenta os posicionamentos e distâncias empregadas no experimento, onde o microfone de erro foi posicionado a 6 metros do atuador de controle e este a 9 metros da fonte de ruído. A alteração da posição do atuador, direcionado para o microfone de erro ou para o campo distante da fonte de ruído, não apresentou melhorias em relação observado para a geometria 1. Nota-se uma menor atenuação do sinal interferente, embora a característica triangular da zona de silêncio tenha se conservado.

### 3.3 Geometria experimental número 3

Com o atuador de controle direcionado para a fonte de ruído posicionou-se o microfone de erro a aproximadamente 30 graus em relação a fonte de ruído. A Figura 7 apresenta os posicionamentos dos elementos de controle. Um ângulo de aproximadamente 30 graus entre a caixa de controle e o microfone de erro causa grande prejuízo ao desempenho do sistema.

O gráfico elaborado com os dados coletados em campo evidencia a concentração da região de baixa intensidade de pressão acústica ao redor do microfone de erro. Um efeito de espelhamento é observado em relação ao eixo central do sistema de controle. A Figura 8 apresenta o mapeamento dos resultados obtidos.

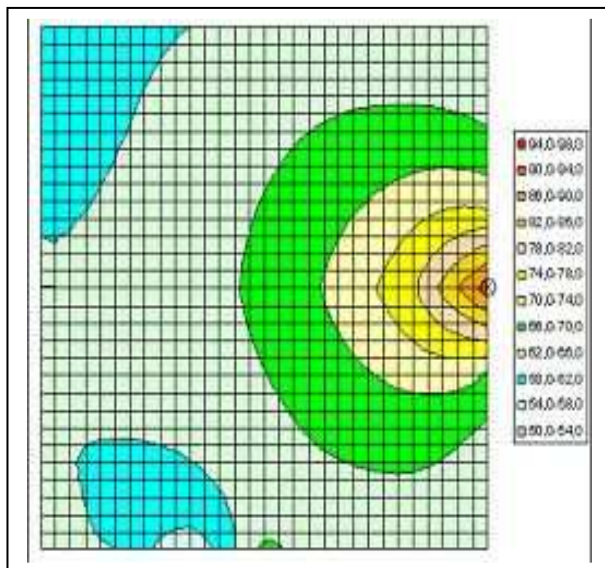


FIGURA 3. Distribuição da Intensidade de pressão acústica na ausência de controle

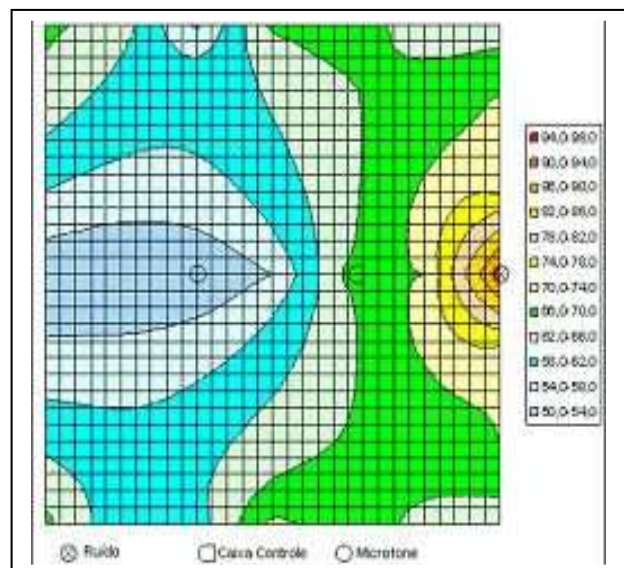


FIGURA 5. Atuador direcionado para a fonte de ruído



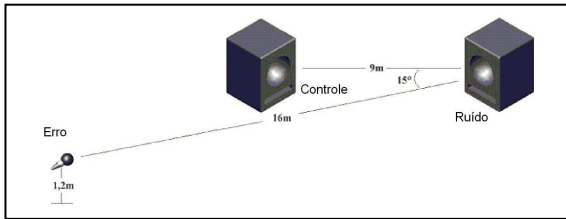


FIGURA 7. Microfone de erro formando ângulo de 30° com a fonte de ruído

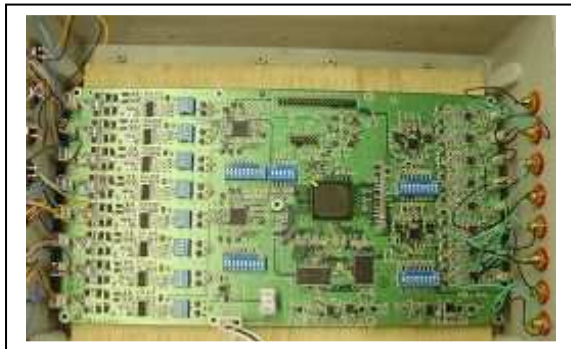


FIGURA 9. Hardware desenvolvido para o projeto com DSP6713 Texas.



FIGURA 10. Vista das caixas acústicas na subestação de Santa Bárbara d'Oeste.

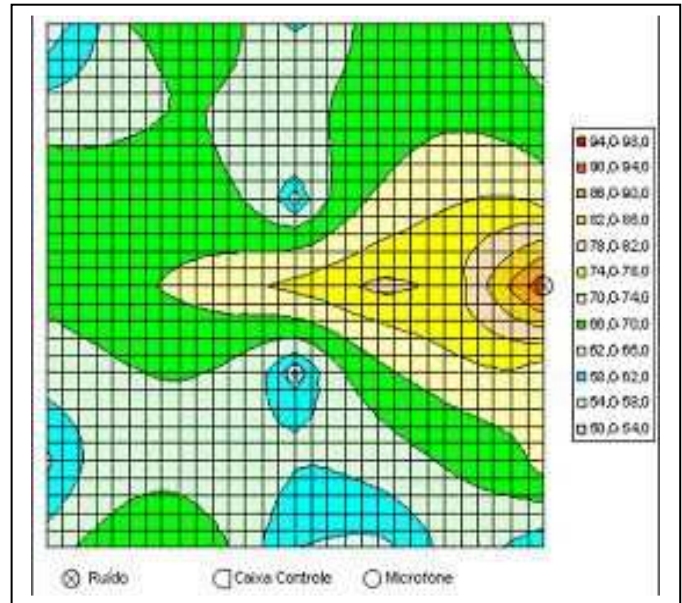


FIGURA 8. Microfone de erro formando ângulo de 30 graus com a fonte de ruído

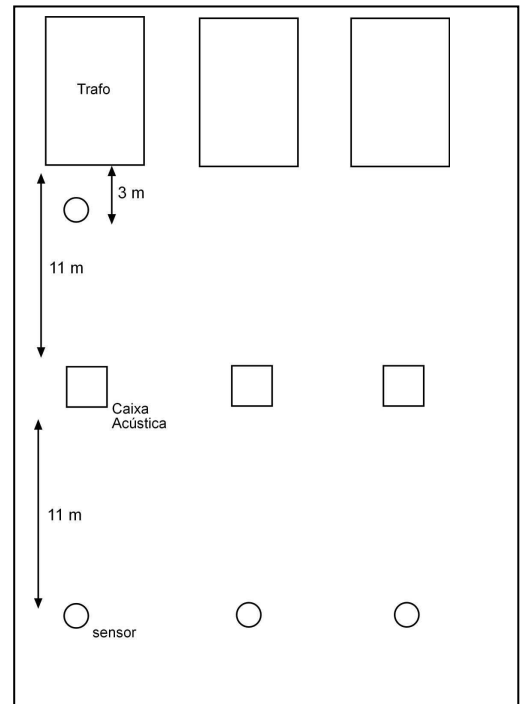


FIGURA 11. Esquema da planta de controle

#### 4.0 - SUBESTAÇÃO DE SANTA BÁRBARA D'OESTE

Com base nas análises experimentais, foi proposta uma geometria de controle com o intuito de minimizar a intensidade de pressão acústica, em limitada região do espaço em campo aberto, na subestação de Santa Bárbara do Oeste.

Para viabilizar controle multicanal foi desenvolvido placa de processamento com processador Texas Modelo DSP6713. A Figura 9 apresenta foto da placa projetada e contruída para esta aplicação.

(\*) Rodovia SP 306, KM 26, S/Nº, CEP 13450-970 Santa Bárbara d'Oeste, SP – Brasil  
Tel: (+55 19) 3459-3019 – Fax: (+55 19) 3459-3014 – Email: jglima@ctep.com.br

São características do hardware: Processador DSP6713, 1800MFLOPS, 8 canais analógicos de entrada diferenciais, 8 canais de saída simples, Canais pré-amplificados com ganho programável via software, Até 24 bits de resolução e frequência de amostragem de até 48kHz

Além do hardware foi desenvolvido software dedicado com algoritmos adaptativos LMS e NLMS, Filtros FIR, processamento multitaxa, sistema FXLMS, Feedback FXLMS e Híbrido FXLMS multicanal. Também foram desenvolvidas funções especiais para alteração de características do hardware como ganho dos amplificadores diferenciais de entrada, ajuste da taxa de amostragem e resolução do CODEC.

A intensidade de pressão acústica nas imediações da planta é formada pela composição da contribuição de cada transformador presente na planta, todos em linha, totalizando 9 transformadores de potência.

Foi escolhida a região ao lado da casa de relês, localizada na planta da subestação, para região de controle. As Figuras 10 e 11 apresentam o posicionamento dos atuadores e sensores na face frontal do primeiro grupo de transformadores da planta de Santa Bárbara do Oeste. O primeiro grupo de transformadores (3 transformadores) situam-se em frente ao local escolhido para controle.

A distância dos atuadores aos transformadores é de aproximadamente 11 metros e dos microfones de erro aos transformadores de aproximadamente 22 metros. Um sensor foi posicionado a 3 metros do transformador para obter o sinal de referência.

Para evitar que mínimos locais impedissem a correta convergência do sistema de controle foi desenvolvido algoritmo multicanal por antecipação com subbandas adaptativas para os 4 primeiros harmônicos de 120 Hz.

#### 4.1 Resultados

Para o posicionamento escolhido para atuadores e sensores conforme Figura 11, foram avaliados o desempenho das estratégias de controle por antecipação, realimentação e híbrida em configuração multicanal.

Não foi possível obter zonas de silêncio com dimensões significativas para todas as técnicas avaliadas. Atenuações de até 10 dB foram obtidas nas imediações dos microfones de erro. Os melhores resultados em termos de estabilidade e atenuação dos harmônicos nas imediações do microfone de erro foram obtidos para o algoritmo híbrido. Com o algoritmo por realimentação apenas o harmônico de 120 Hz era atenuado satisfatoriamente.

Para a configuração canal simples três caixas de controle foram posicionadas a 22 metros da linha de transformadores presentes na subestação. A direção de irradiação das caixas foi posicionada para o primeiro grupo de transformadores. As caixas foram excitadas simultaneamente com o mesmo sinal de controle e apenas um microfone capturava a intensidade de pressão acústica resultante, ou erro, na região de controle.

Para esta configuração foi possível obter atenuação de até 10 dB nos 2 primeiros harmônicos (120 e 240 Hz) em um raio de aproximadamente 2 metros em torno do sensor ou microfone de erro. A Figura 12 apresenta o espectro da intensidade de pressão acústica obtido no microfone de erro durante a ação do sistema de controle.

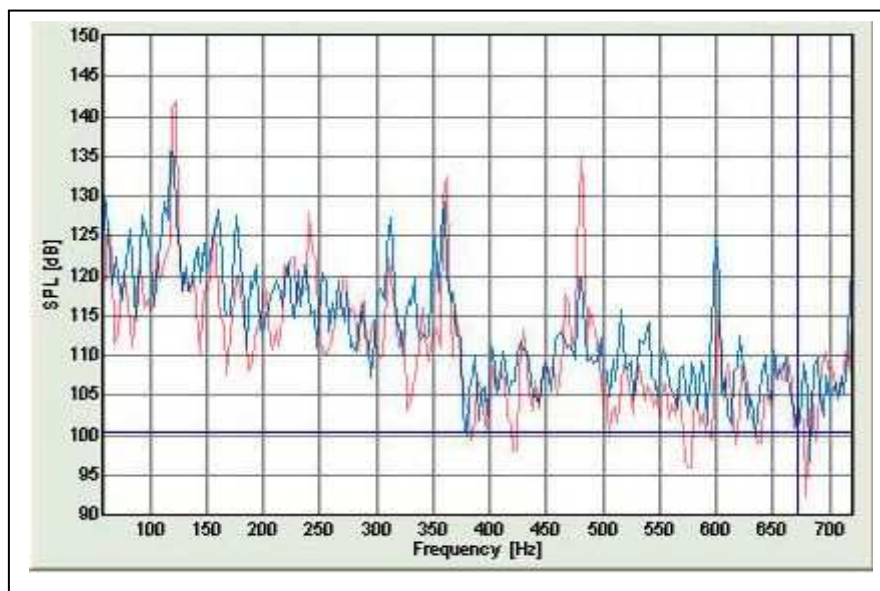


FIGURA 12. Pressão acústica captada pelo microfone de erro. Em vermelho - ausência de controle. Em azul - ação do controle ativo.

## 5.0 - CONCLUSÃO

Foram desenvolvidos o estudo, os testes em laboratório e a implementação em campo de sistema para controle de ruído com tecnologia nacional.

Foi desenvolvida a tecnologia de controle, hardware, atuadores, sensores, sistema de baixo custo para transmissão de sinais elétricos diferenciais, sistema de software e codificação de algoritmos das principais estratégias para controle ativo de ruídos.

Os resultados obtidos em laboratório validaram o sistema de controle utilizando uma única fonte de ruído. Observou-se que o posicionamento do atuador e do microfone são importantes para o desempenho do sistema. Resultados melhores foram obtidos com sensor e atuador posicionados na direção de propagação do som.

A região de atuação do sistema, ou zona de silêncio, obtida na subestação foi muito reduzida. Um dos fatores que contribuíram para o efeito observado foi o campo acústico complexo, proveniente de várias fontes de ruído acústico.

A tecnologia desenvolvida e o conhecimento adquirido neste trabalho podem ser aplicados em plantas com intensidade de pressão acústica menos complexas ou provenientes de uma única fonte.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SWINBANKS, M. A. The active control of sound propagation in long ducts. *Journal of Sound and Vibration*, v. 27, p. 411–436, abril 1973.
- [2] HAMADA, H. et al. Adaptive noise control system in air-condition ducts. In: *Proceedings of Inter-noise 88*. France: Société Française d'Acoustique, 1988. p. 1017–1020.
- [3] ELLIOTT, S. J. et al. In-flight experiments on the active control of propeller-induced cabin noise. *Journal of Sound and Vibration*, v. 140, n. 2, p. 219–238, 1990.
- [4] SAUNDERS, T. J.; SUTTON, T. J.; STOTHERS, I. M. Active control of random sound in enclosures. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Vehicle Comfort*. Itália: [s.n.], 1992. p. 749–753.
- [5] SUTTON, T. J.; ELLIOTT, S. J.; MCDONALD, A. M. Active control of road noise inside vehicles. *Noise Control Engineering Journal*, v. 42, p. 137–147, 1994.
- [6] GUO, J.; PAN, J. Increasing the insertion loss of noise barriers using an active control system. *Journal of Acoustical Society of America*, v. 104, n. 6, p. 3408–3416, December 1998.
- [7] JAKOB, A.; MOSER, M. Active control of double-glazed windows. Part I: Feedback control. *Applied Acoustics*, n. 64, p. 163–182, July 2003.
- [8] JAKOB, A.; MOSER, M. Active control of double-glazed windows. Part II: Feedback control. *Applied Acoustics*, n. 64, p. 183–196, July 2003.
- [9] RAFAELY, B. Feedback control of sound. Tese (Doutorado) — University of Southampton, USA, 1997.
- [10] ALEXANDER, S. T. *Adaptive Signal Processing Theory and Applications*. 1. ed. [S.l.]: Springer-Verlag, 1986.
- [11] HAYKIN, S. *Adaptive Filter Theory*. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [12] DINIZ, P. S. *Adaptive Filtering*. 1. ed. [S.l.]: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [13] KUO, S.M.; MORGAN, D. R. *Active Noise Control Systems: Algorithms and DSP Implementations*. 1. ed. New York: Wiley, 1996.
- [14] NELSON, P. A.; ELLIOTT, S. J. *Active Control of Sound*. 1. ed. Great Britain: Academic Press, 1995.
- [15] ERICKSSON, L. J.; ALLIE, M. C. Use of random noise for on-line transducer modelling in an adaptive active attenuation system. *Journal of Acoustic Soc. Am.*, v. 85, p. 797–802, February 1989.
- [16] TAPIA, J.; KUO, S. M. New adaptive on-line modelling techniques for active noise control systems. *Proceedings IEEE International Conference on Systems Engineering*, p. 280–283, August 1990.
- [17] DATTA, A.; OCHOA, J. Adaptive internal model control: Design and stability analysis. *Automatica*, v. 32, p. 261–266, 1996.
- [18] ELLIOTT, S. J.; SUTTON, T. J. Performance of feedforward and feedback systems for active control. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, v. 4, n. 3, May 1996.
- [19] NAM, H. do; HONG, S.-K.; HAN, K. Active control of noise in an enclosure using hybrid control techniques. *International Conference on Information, Communications and Signal Processing*, p. 758–761, September 1997.
- [20] TSENG, W. K.; RAFAEL, Y. B.; ELLIOTT, S. J. Combined feedback feedforward active control of sound in a room. *Acoustical Society of America*, v. 104, n. 6, p. 3417–3425, December 1998.
- [21] DEVICES, A. *ADSP-2106x SHARC User's Manual*. 2. ed. USA, Maio 1997.
- [22] BONITO, J. G.; ELLIOTT, S.; BOUCHER, C. C. A virtual microphone arrangement in a practical active headrest. In: *Proceedings of Inter-noise 96*. Liverpool: [s.n.], 1996. p. 1115–1120.
- [23] KONG, X.; KUO, S. M. Study of causality constraint on feedforward active noise control systems. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, v. 46, n. 2, p. 183–186, February 1999.

(\*) Rodovia SP 306, KM 26, S/Nº, CEP 13450-970 Santa Bárbara d'Oeste, SP – Brasil  
Tel: (+55 19) 3459-3019 – Fax: (+55 19) 3459-3014 – Email: jglima@cteep.com.br

- [24] NEPOMUCENO, L. X. Acústica Técnica. 1. ed. SãoPaulo: Etegil, 1968.
- [25] JOJOA, P. E. Um Algoritmo Acelerador de Parâmetros. Tese (Doutorado)— Universidade de SãoPaulo, SãoPaulo, 2003.
- [26] KINSLER, L. E.; FREG, A. R. Fundamentals of Acoustics. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [27] AHMED, I. Digital Control Applications with the TMS320 Family. 1. ed. [S.l.], 1991.
- [28] HAMMING, R. W. Digital Filters. 3. ed. New York: Dover Publications, 1998.
- [29] HANSEN, C. H.; SNYDER, S. D. Active Control of Noise and Vibration. 1. ed. London: E & FN Spon, 1997.
- [30] HOWARD, D. M.; ANGUS, J. Acoustics and Psychoacoustics. 3. ed. Oxford: Focal Press, 1995.
- [31] OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER, R. W. Discrete Time Signal Processing. 2. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 1998.
- [32] ELLIOTT, S. Signal Processing for Active Control. 1. ed. london: Academic Press, 2001.
- [33] MOORE, B. C. J. Introduction to the psychology of hearing. 1. ed. London: University Park Press, 1977.
- [34] DUHAMEL, D. et al. Measurement of active control efficiency around noise barriers. Elsevier, v. 55, n. 3, p. 217–241, October 1998.
- [35] SAS, P. et al. Active control of sound transmission trough a double panel partition. Journal of Sound and Vibration, v. 180, n. 4, p. 609–625, November 1995.
- [36] SAKAI, H.; MIYAGI, S. Analysis of the adaptive filter algorithm for feedback-type active noise control. Signal Processing, n. 83, p. 1291–1298, September 2003.
- [37] SAKAI, H.; SOMEDA, T.; MIYAGI, S. Analysis Of An Adaptive Filter Algorithm for Hybrid ANC System. Japan: [s.n.], 2002. Kyoto University.
- [38] MORGAN, D. R.; QUINLAN, D. A. Local silencing of room acoustic noise using broadband active noise control. In: IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics. New Paltz,USA: [s.n.], 1993. p. 23–25.
- [39] GERGES, S. N. Y. Ruído: fundamentos e controle. 1. ed. Florianópolis: S.N.Y. Gerges, 1992.
- [40] Controle Ativo de Ruído em Cabine Semi-Aberta - Paolillo G.,F. - Dissertação Submetida à Escola Politécnica da USP para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, 2005.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

José Gilberto Lima

Nascido em Campinas, SP em 29 de maio de 1964.

Graduação (1996) em Engenharia de Produção Mecânica: UNIMEP

Empresa: Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista - CTEEP

José Carlos de Souza Júnior

Nascido em São Paulo, SP em 1 de outubro de 1969.

Mestrado (1998) e Doutorado (2004) : EPUSP e Graduação (1989) em Engenharia Elétrica: EEM

Empresa: Instituto Mauá de Tecnologia

Engenheiro da Divisão de Eletrônica e Telecomunicações do Centro de Pesquisas do instituto Mauá de Tecnologia.

Gustavo Felipe Paolillo

Nascido em São Paulo, SP em 16 de maio de 1977.

Mestrado (2005) : EPUSP e Graduação (2001) em Engenharia Elétrica: EEM

Empresa: Instituto Mauá de Tecnologia

Engenheiro da Divisão de Eletrônica e Telecomunicações do Centro de Pesquisas do instituto Mauá de Tecnologia.