



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008  
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A192

## **Efeito de fluxo de ar de baixa velocidade em medições de beamforming**

William D´Andrea Fonseca<sup>(a)</sup>,  
Samir Nagi Yousri Gerges<sup>(a)</sup>,  
Robert P. Dougherty<sup>(b)</sup>.

(a) Laboratory of Noise and Vibration , Federal University of Santa Catarina, Campus  
Universitário Trindade, Florianópolis - SC, Brazil

(b) OptiNav, Inc 10900 NE 8th St. #900, Bellevue - WA - U.S.A.

### **Abstract**

Acoustical measurements are almost always affected by the environment. One of the effects which induce errors is the flow of air near the microphone, causing spurious noise that probably will impact directly to the results. Beamforming is a technique for visualization of acoustic field, and can be used to visualize the acoustic field emitted by many kinds of objects; from the simple ones, like a blender; to advanced measurements, like flyover tests. In the present work the influence of the air flow on the measurements was carried out evaluating the way this flow noise contributes to the post-processed beamforming results.

### **Resumo**

Medições acústicas são quase sempre afetadas pelo ambiente, um destes efeitos o qual induz erros é o fluxo de ar próximo aos microfones. Ele causa sinais espúrios os quais provavelmente terão impactos diretamente nos resultados. Beamforming é uma técnica de visualização do campo acústico, e pode ser usada para visualizar vários tipos de objetos; de simples, como um liquidificador; até medições avançadas, como testes de *fly-over*. No presente trabalho, é feita uma investigação sobre a influência do fluxo de ar, de modo a avaliar como este ruído contribui nos resultados pós-processados de Beamforming.

## 1 Introdução

Técnicas de visualização de campo acústico são excelentes ferramentas para avaliação de ruídos emitidos por fontes complexas, tais como um motor de carro ou de uma moto. No entanto fatores ambientais podem influenciar não somente nas medições de pressão sonora, mas como nos resultados pós-processados de *beamforming*<sup>1</sup>, isto é, os erros inseridos na gravação do sinal serem propagados às imagens acústicas. O presente trabalho procura avaliar quais são estas influências para um fluxo de ar de baixa velocidade, simulando a interferência de vento em uma medição de campo; o experimento foi realizado em ambiente semi-anecóico.

## 2 Princípio do Beamforming

O princípio da técnica pode ser explicado apresentando o algoritmo básico de atraso-e-soma, também chamado de *beamforming* convencional [1][2]. Inicialmente assume-se a hipótese de incidência de uma onda plana, considerando-se um *array*<sup>2</sup> de M microfones no plano *xy* de coordenadas, Figuras 1 e 2.

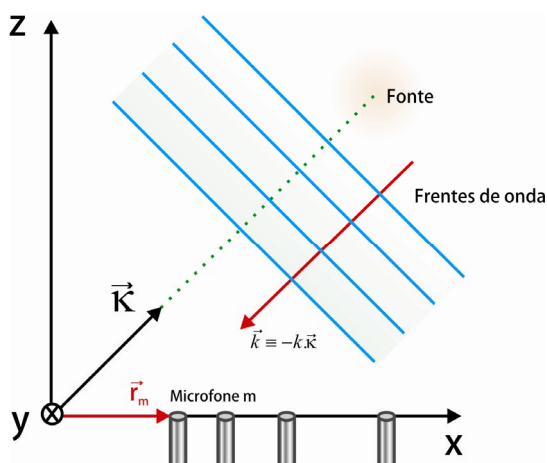


Figura 1. Array de M microfones, plano *xy*.

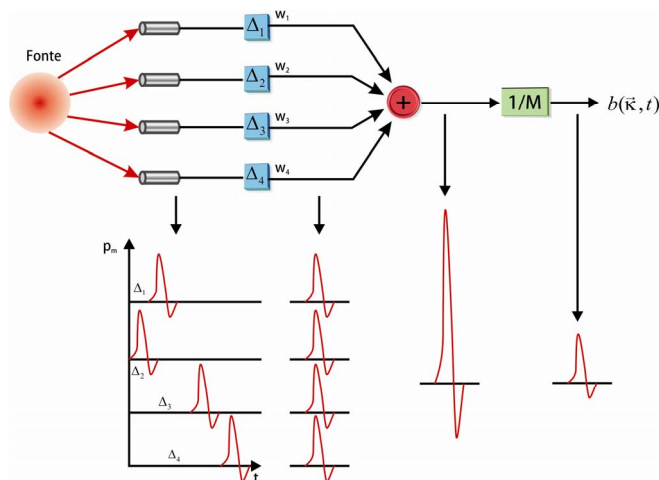


Figura 2. Diagrama com o princípio de atraso-e-soma do *beamforming*.

O processo consiste em se somar a pressão sonora medida em cada transdutor,  $p_m$ , depois de aplicados os respectivos atrasos  $\Delta_m$  como apresentado na Equação (1), onde  $w_m$  é um coeficiente de ponderação aplicado ao sinal de cada microfone.

$$b(\vec{k}, t) = \sum_{m=1}^M w_m \cdot p_m(t - \Delta_m(\vec{k})), \quad (1)$$

A descrição completa da técnica pode ser encontrada em [3], algumas aplicações em [4], bem como o algoritmo avançado em [5].

<sup>1</sup> *Beamforming*, significado aproximado “formação de feixe”

<sup>2</sup> *Array*, significado aproximado “matriz”

### 3 Protetor de vento (*windscreen*)

Quando medições ao ar livre são feitas o problema do ruído gerado pelo vento nos microfones comumente gera distúrbios nas medições. Este ruído de vento é causado pelo fluxo de ar que cria uma turbulência ao redor do microfone, se esta turbulência for evitada ou diminuída, este ruído tende a desaparecer [6][7].

O método mais comum para redução de ruído de vento em microfones é o acoplamento de um protetor de vento chamado *windscreen*<sup>3</sup>, que consiste geralmente em uma espuma esférica e porosa de poliuretano, a qual tem uma resistência específica ao fluxo de ar [8]. Além de proteger contra o vento ele adicionalmente protege o microfone contra poeira, sujeira e possíveis danos mecânicos.

O *windscreen* pode atenuar o NPS em até 12dB, atenuação esta que dependerá da velocidade do vento, que para ser aceitável em medições ao ar livre deve estar entre 0m/s e 6m/s, isto é, vento de baixa velocidade [6][9]. Quando acoplado ao microfone, o *windscreen* muda a curva de resposta de campo livre. A resposta pode ser aumentada ou diminuída em aproximadamente 1dB para médias (2kHz – 3kHz) e altas frequências (12kHz para microfones de meia polegada) [8]. É necessário observar que estes valores também são dependentes do diâmetro do *windscreen* e do ângulo de incidência do som [10].



Figura 3. *Windscreen* utilizado nos testes, 5,0 cm de diâmetro

### 4 Configuração Experimental

O sistema de *beamforming* utilizado foi desenvolvido pela equipe da UFSC [11]; ele é composto por um *array* de 32 microfones dispostos em espiral, cujo diâmetro máximo é de 1,0m entre os microfones, montado em uma armação metálica de 1,1m x 1,0m, Figura 4.

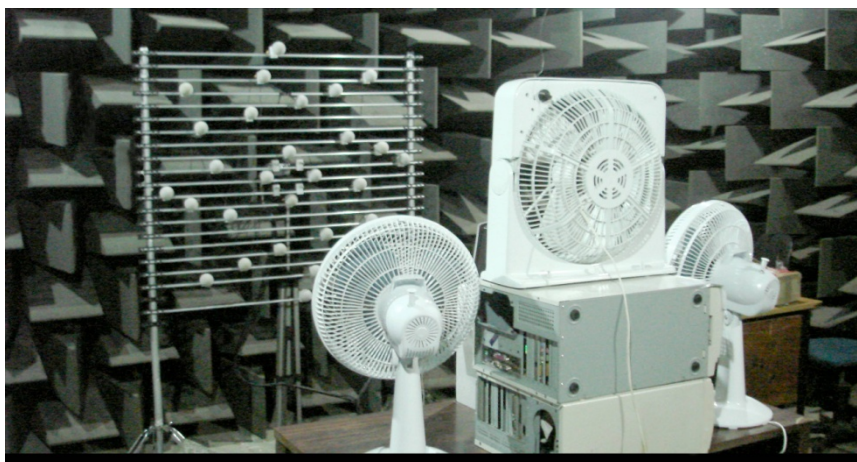
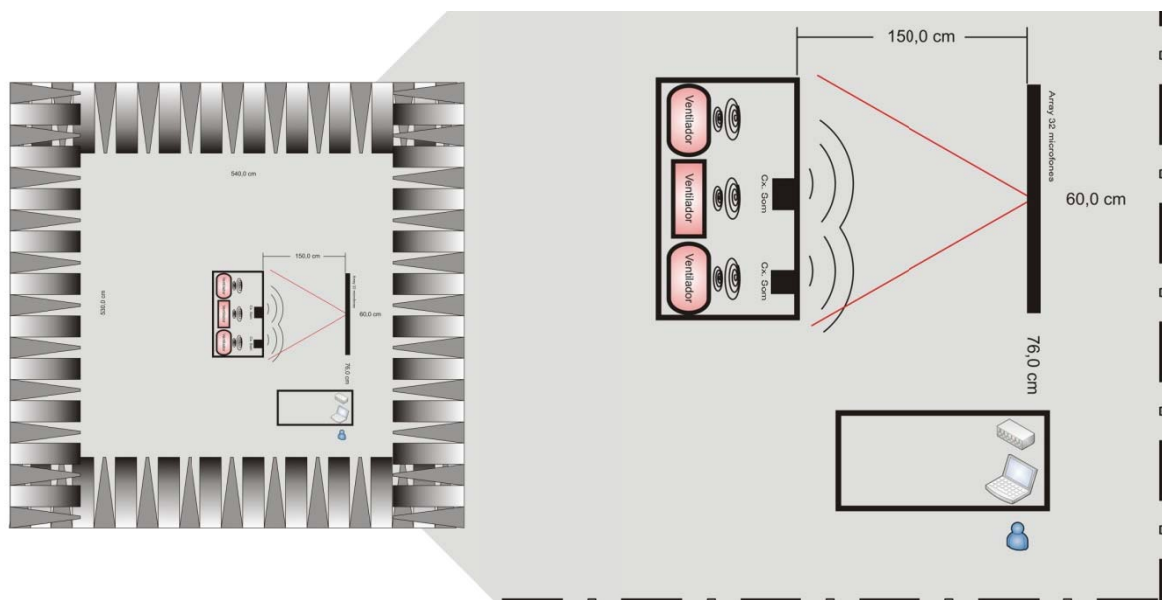


Figura 4. *Array* de 32 microfones desenvolvido pela UFSC, vista em perspectiva da medição.

<sup>3</sup> *Windscreen*, termo em inglês usado para denominação de “protetor de vento”

A aquisição dos dados dos 32 microfones foi feita simultaneamente por um conversor A/D de 24bits, e a uma taxa de 50 mil amostras por segundo por canal.

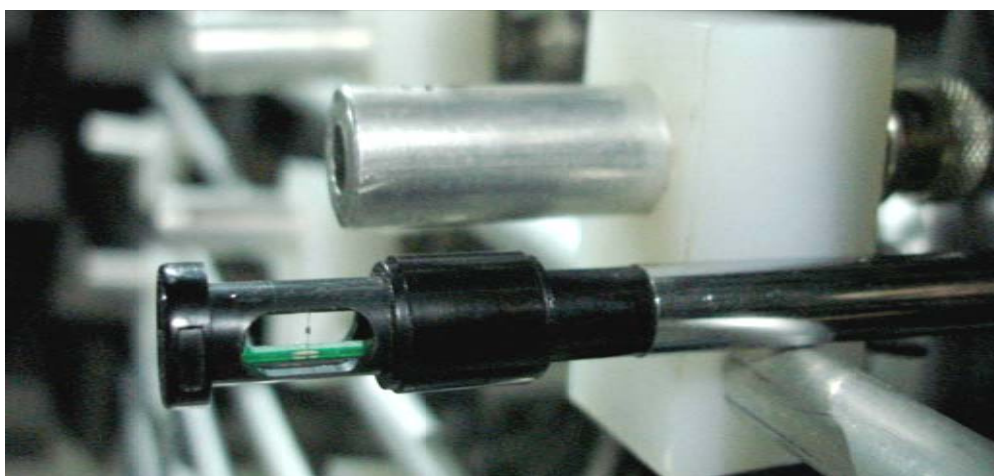
Todas as medições foram executadas na câmara semi-aneecóica do LVA (Laboratório de Vibrações e Acústica), como mostrado na Figura 5. Para realizar condições de vento foram utilizados três ventiladores (Figura 4), ligados simultaneamente, fixos e com a maior velocidade com que eles pudessem trabalhar.



**Figura 5.** Disposição da medição na câmara semi-aneecóica

## 5 Medição e resultados de fluxo de ar

Para medir o a velocidade de fluxo de ar que atravessava o *array*, foi utilizado um termo-anemômetro, Figura 6. Em cada posição foi medido imediatamente ao lado do microfone a velocidade pontual do fluxo de ar. A posição correta de medição da ponteira do termo-anemômetro é a indicada pelo manual de instruções, a ponta deve ficar na mesma direção que o vetor principal de fluxo de ar.



**Figura 6.** Anemômetro em detalhe

### 5.1 Resultados de velocidade do fluxo de ar

Os resultados de fluxo de ar medidos estão mostrados na Figura 7, a maior velocidade registrada foi de 2,2 m/s; nota-se que ao centro a influência do vento é maior em relação às regiões periféricas.

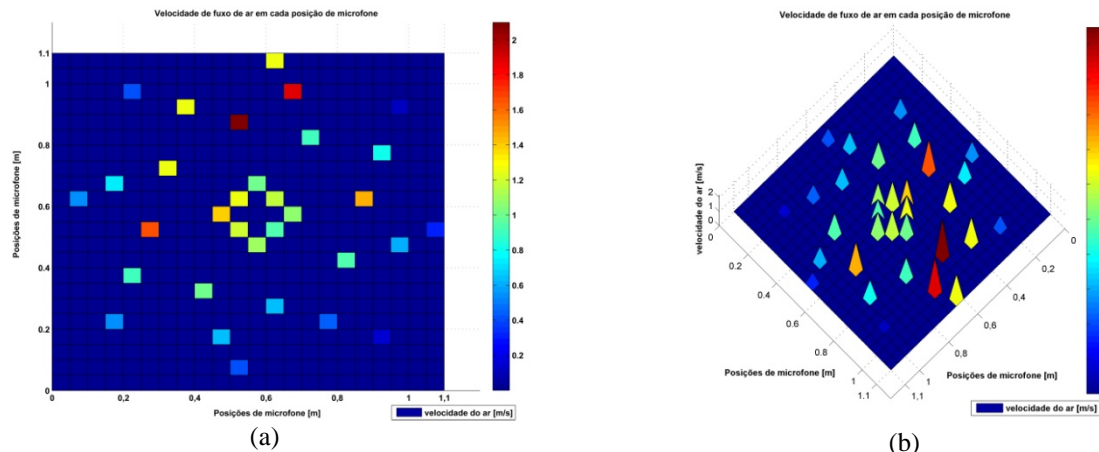


Figura 7. Mapa de velocidade de fluxo de ar nas posições dos microfones, (a) visão frontal, (b) em perspectiva

## 6 Gravação do sinal

Nas gravações dos sinais de pressão sonora é claramente possível ver a influência do fluxo de ar na membrana do microfone, gerando assim sinais espúrios. Nas figuras a seguir encontram-se as diferenças entre as condições com e sem o protetor de vento (*windscreen*).

O eixo *x* representa o tempo em um bloco de amostras (*samples*) e o eixo *y* representa a pressão sonora em valores relativos, os 32 microfones estão sendo representados.

Foram medidas três situações: ruído de fundo, tom de 2kHz e ruído branco.

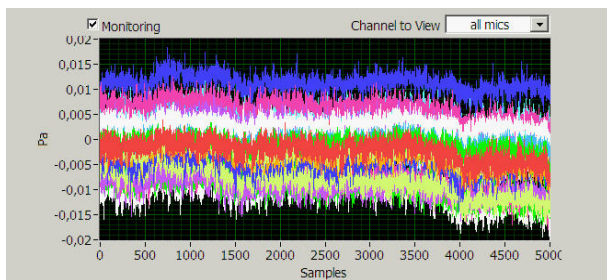


Figura 8. Ruído de fundo sem vento e sem *windscreen*.

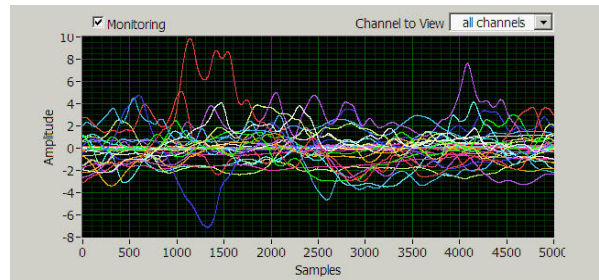


Figura 9. Ruído de fundo com vento e sem *windscreen*.

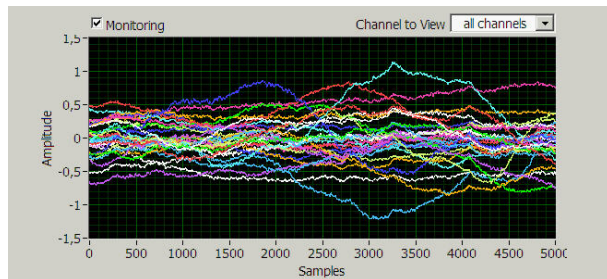


Figura 10. Ruído de fundo com vento e com *windscreen*.

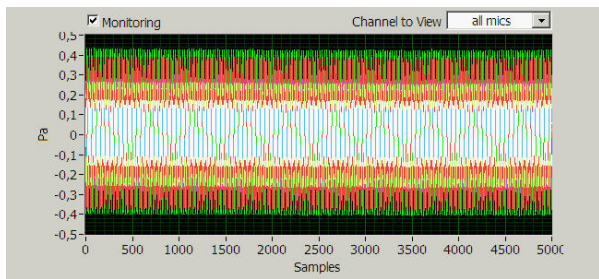
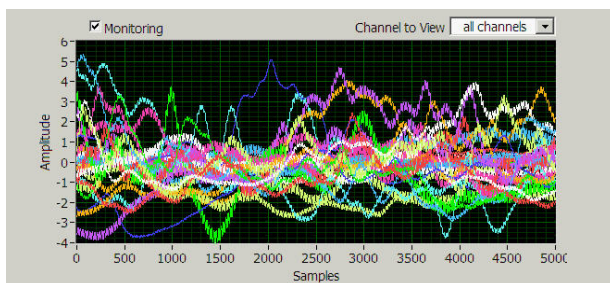
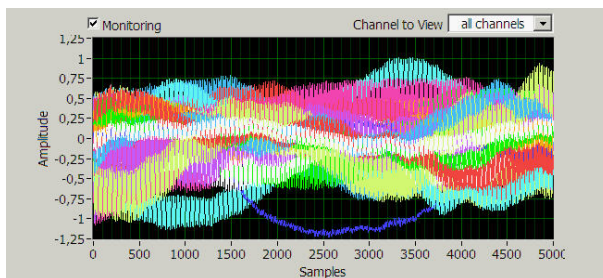


Figura 11. Medição de 2kHz sem vento e sem *windscreen*.

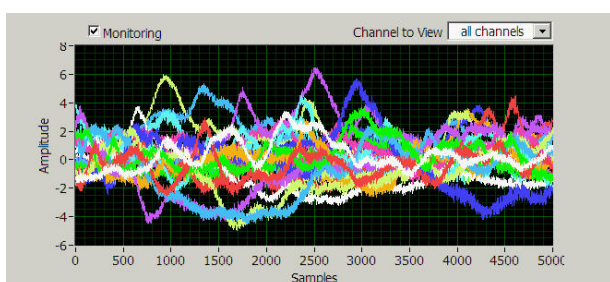
Analisando os dados das gravações com e sem *windscreen* é possível notar que o protetor reduz consideravelmente a influência do fluxo de ar. Para a medição do tom de 2kHz, por exemplo, observa-se flutuações entre -4,00 e +5,25 na Figura 12, que decaem para faixa de -1,25 a +1,00 com o uso do protetor (Figura 13), comprovando-se assim sua efetividade.



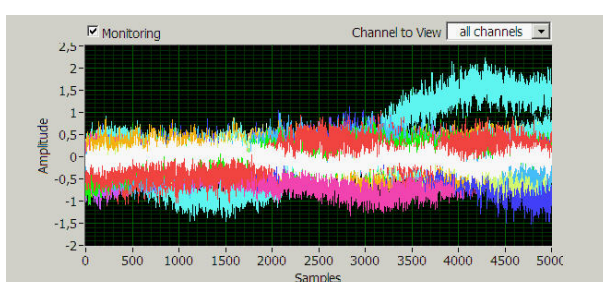
**Figura 12.** Medição de 2kHz com vento e sem *windscreen*.



**Figura 13.** Medição de 2kHz com vento e com *windscreen*.



**Figura 14.** Ruído branco com vento e sem *windscreen*.

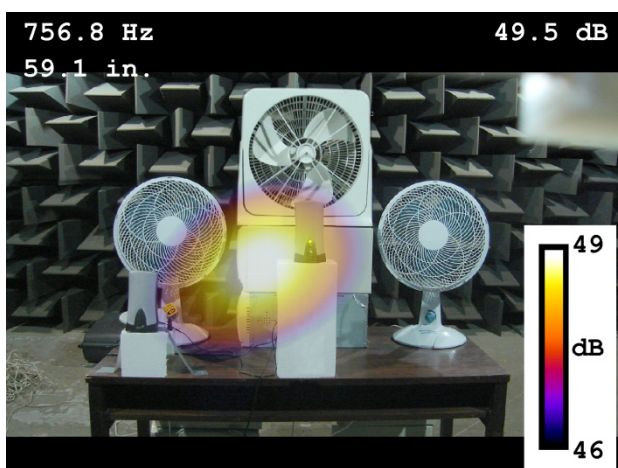


**Figura 15.** Ruído branco com vento e com *windscreen*.

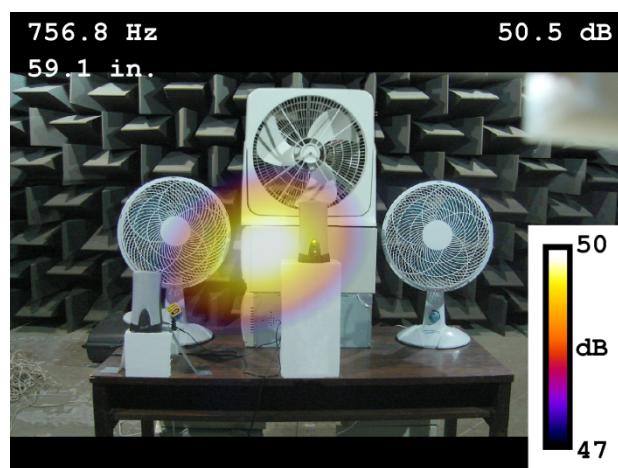
## 7 Resultados obtidos

A seguir compara-se as pressões sonoras para a mesma frequência de análise com e sem o uso do *windscreen*. Com reproduções de ruído branco e tom de 2kHz, e sem reprodução de som, medição de ruído de fundo.

### 7.1 Resultados com ruído branco

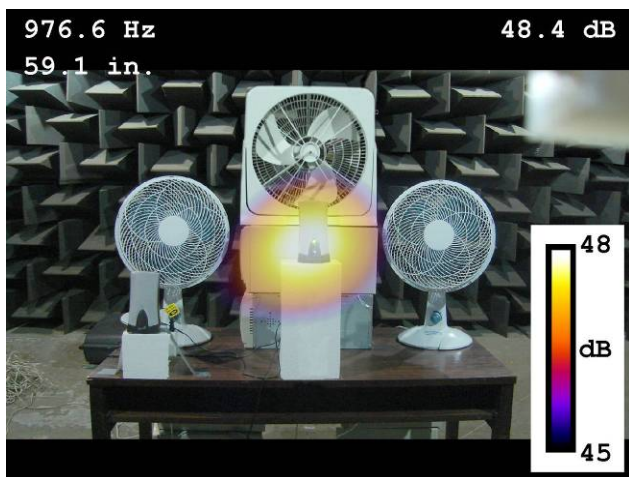


**Figura 16.** Sem vento e sem *windscreen* em 756,8Hz, banda estreita.

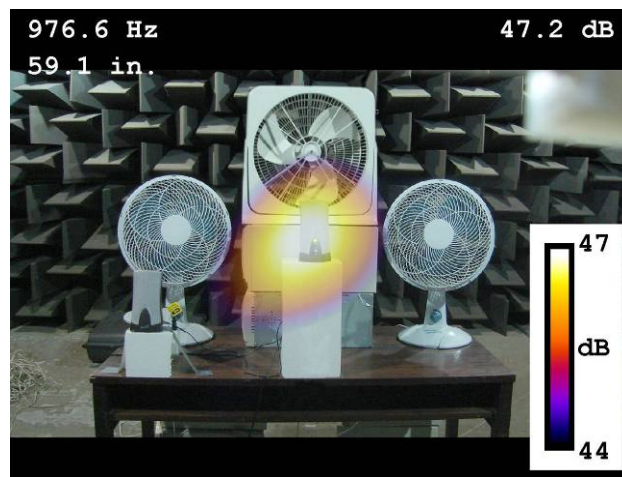


**Figura 17.** Com vento e com *windscreen* em 756,8Hz, banda estreita.

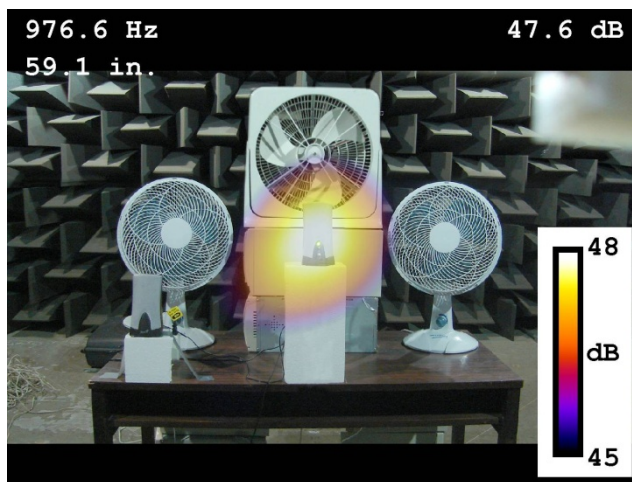
A separação entre as duas fontes (caixas de som) para esta frequência não é clara, isto se deve a limitações do *array* para frequências mais baixas.



**Figura 18.** Sem vento e sem *windscreen* em 976,6Hz, banda estreita

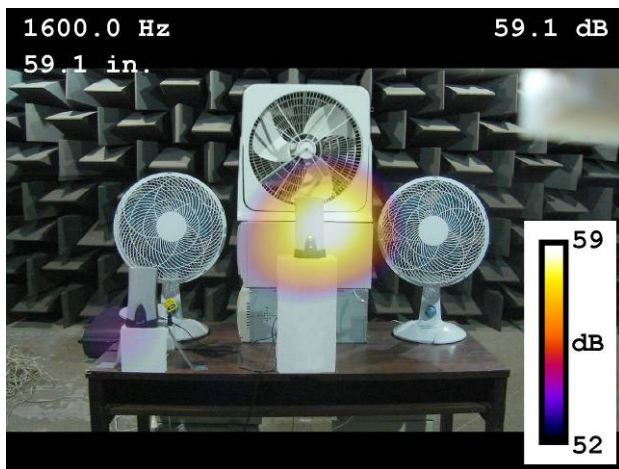


**Figura 19.** Com vento e sem *windscreen* em 976,6Hz, banda estreita

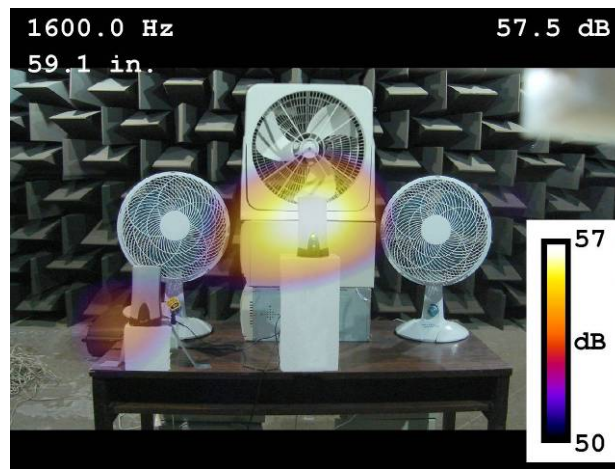


**Figura 20.** Com vento e com *windscreen* em 976,6Hz, banda estreita

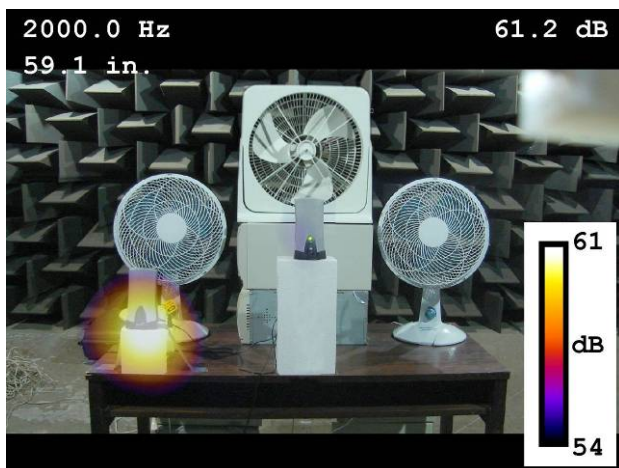
Para a excitação de fluxo de ar utilizada, nota-se uma flutuação nos resultados em torno de 1dB a 1,6dB, porém dependente da frequência central de análise, a variação pode ser negativa ou positiva.



**Figura 21.** Sem vento e sem *windscreen* em 1,6kHz, banda de 1/12



**Figura 22.** Com vento e com *windscreen* em 1,6kHz, banda 1/12

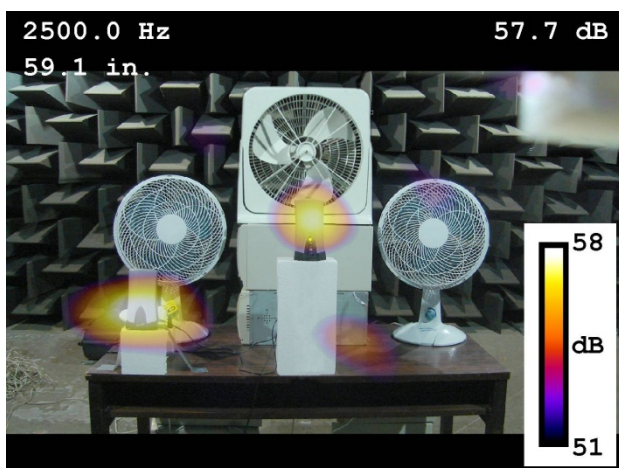


**Figura 23.** Sem vento e sem *windscreen* em 2,0kHz, banda de 1/12

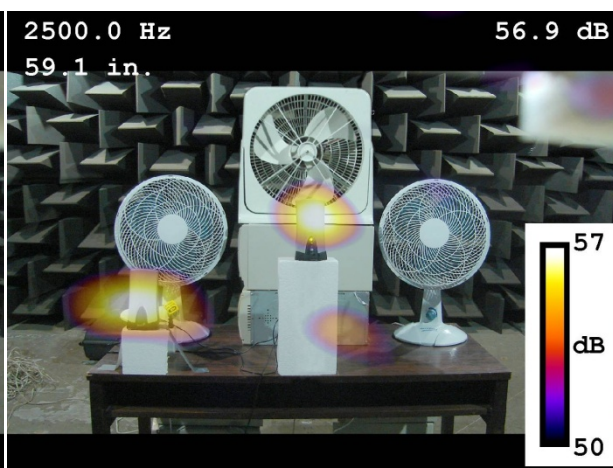


**Figura 24.** Com vento e com *windscreen* em 2,0kHz, banda de 1/12

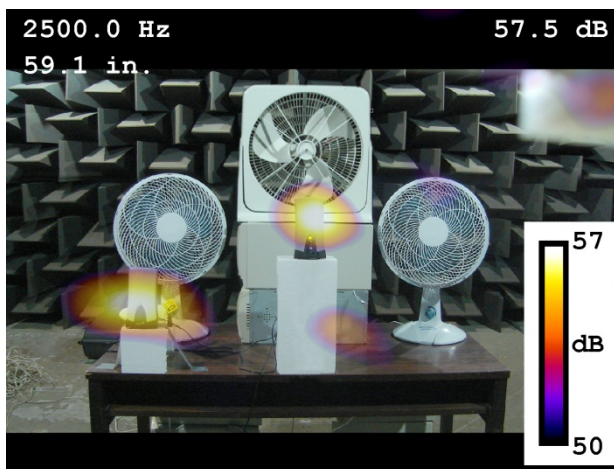
O uso do *windscreen* de forma geral aproxima o valor da medição com vento, para o valor da medição sem vento, seja esta aproximação aumentando o valor ou diminuindo o valor de pressão sonora.



**Figura 25.** Sem vento e sem *windscreen* em 2,5kHz, banda de 1/12



**Figura 26.** Com vento e sem *windscreen* em 2,5kHz, banda de 1/12

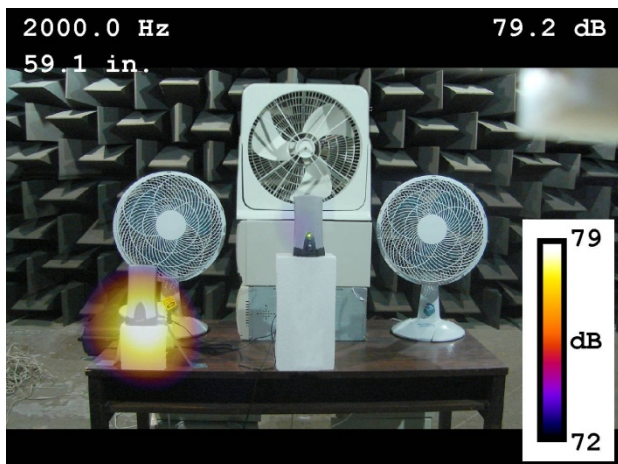


**Figura 27.** Com vento e com *windscreen* em 2,5kHz, banda de 1/12



## 7.2 Resultados com tom de 2kHz

Os resultados para medição com reprodução do tom de 2kHz seguiram a mesma variação que os resultados verificados na medição de ruído branco, Figuras 28 e 29.



**Figura 28.** Sem vento e sem *windscreen* em 2,0kHz, banda de 1/12



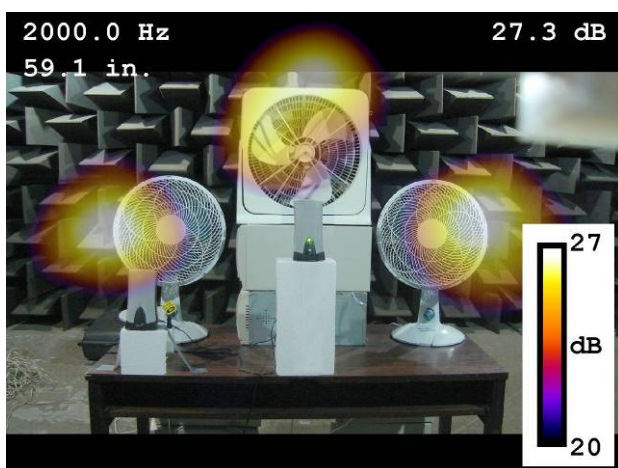
**Figura 29.** Com vento e com *windscreen* em 2,0kHz, banda de 1/12

## 7.3 Ruído de fundo

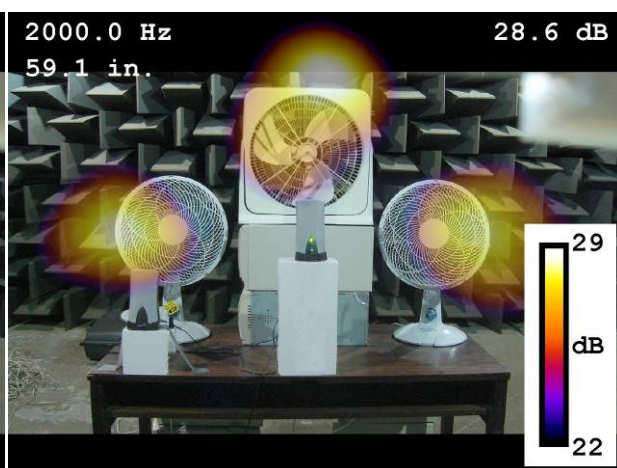
Os resultados para medição ruído de fundo (sem reprodução sonora), estão apresentados nas Figuras 30 e 31. Mesmo com a irradiação direta do som proveniente dos ventiladores, a influência dos seus ruídos não gera interferência nas medições com reprodução sonora, pois os ruídos estão pelo menos 18dB abaixo de qualquer medição com reprodução.

Optou-se pela excitação de fluxo de ar frontal, para representar uma situação com maior influência do vento, ou seja, se buscou a pior situação possível.

Comprova-se também a eficácia da técnica de *beamforming*, em que neste caso obteve sucesso em medir níveis de ruído de baixa intensidade gerados pelos ventiladores.



**Figura 30.** Com vento e sem *windscreen* em 2,0kHz, banda de 1/12



**Figura 31.** Com vento e com *windscreen* em 2,0kHz, banda de 1/12

## 8 Conclusões

O uso de protetor de vento para medições sujeitas a fluxo ar é essencial para se minimizar os erros, assim medições de *beamforming* como testes de *pass-by*[13], o seu uso torna-se indispensável, no entanto para testes de *fly-over*[12] seu uso deve ser ponderado com relação a outras influencias externas. Conforme pesquisado, as flutuações dependerão de uma série de fatores tais como: ângulo de incidência sonoro, tamanho do *windscreen*, velocidade do vento e frequência de análise. Os desvios devido ao vento podem ser positivos ou negativos, dependendo da frequência a ser considerada, com isto a recomendação é que em cada aplicação a interferência do fluxo de ar deve ser avaliada.

Cuidados com fluxo de ar devem ser sempre tomados, pois mesmo em ambientes controlados alguns equipamentos podem gerar distúrbios, como por exemplo, válvulas de ar.

## 9 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos bolsistas e técnicos pela valiosa ajuda; e ao laboratório de ciências térmicas da UFSC pelo empréstimo do termo-anemômetro.

## Referências

- [1] Ribeiro, Y. A.; Fonseca, W. D.; Zmijevski, T. R. L., Gerges, S. N. Y.; “Identificação de Fontes de Ruído pelo Método de Beamforming”, SIBRAV 2007 - IX Simpósio Brasileiro De Acústica Veicular, São Paulo, SP, Brasil, Ago. 2007.
- [2] Johnson, D. H.; Dudgeon, D. E.; “Array Signal Processing: Concepts and Techniques”, 1<sup>st</sup> Edition, Prentice-Hall, 533 p., New Jersey, USA, Feb. 1993.
- [3] Van Veen, B.D.; Buckley, K. M.; “Beamforming: A Versatile Approach to Spatial Filtering”, IEEE Acoustics, Speech and Singal Processing Magazine, pp. 2-24, Apr. 1988.
- [4] Fonseca, W. D.; Paul, S.; Acoustic Imaging to Increase Noise Awareness, Gallery of Acoustics DVD, Acoustics’08 Paris Conference, Paris, France, Jul. 2008. Available to view at <http://www.youtube.com/watch?v=B0AZ9UUHwRo> , Aug. 2008.
- [5] Dougherty, R. P.; “Advanced Time-domain Beamforming Techniques”, AIAA Paper 2004-2955, 10<sup>th</sup> AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Manchester, Great Britain, May 2004.
- [6] Brüel & Kjær A/S; “Microphone Handbook”, Technical Documentation, Vol.1, Denmark, Jul. 1996.
- [7] Eargle, J; “The Microphone Book”, Chap. 10, 2<sup>nd</sup> Edition, Focal Press, 368p., Nov. 2004.
- [8] Nielsen T. G.; Wong, G. S. K. (ed.); Embleton, T. F. W. (ed); “Microphone Selection and Use, Accessories” in *AIP Handbook of Condenser Microphones: Theory, Calibration and Measurements*, Part V, Chap. 17, 1<sup>st</sup> Edition, AIP Press, 344 p., New York, USA, Jun. 1994.
- [9] Attenborough, K.; MalingRossing, T. D. (Ed.); “Wind and Temperature Gradient Effects on Outdoor Sound” in *Sound Propagation in the Atmosphere, Springer Handbook of Acoustics*, Part. A, Chap. 4, 1st ed., Springer-Verlag, 1182 p., Berlin, Germany, 2007.
- [10] Beranek, L. L.; “Microphones in Winds (Wind Screens)” in *Acoustical Measurements*, Chap. 5, Revised edition, Acoustical Society of Amer, 841 p., USA, Jun. 1988.
- [11] Ribeiro, Y. A.; Fonseca, W. D.; Gerges, S. N. Y.; “Desenvolvimento de um sistema de baixo custo utilizando de microfones para identificação de fontes de ruído veicular” , SAE Paper 2007-01-2929, Congresso SAE Brasil 2007, São Paulo, SP, Brasil, Nov. 2007.
- [12] Brusniak L.;Underbrink J. R.;Stoker R. W.; Acoustic Imaging of Aircraft Noise Sources Using Large Aperture Phased Arrays, AIAA Paper 2006-2715, 12th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Cambridge, Massachusetts, May 2006.
- [13] Fonseca, W. D.; Gerges, S. N. Y.; Dougherty, R. P.; “Medição de Pass-by Noise utilizando-se a técnica do Beamforming”, SAE Paper 2008-36-0394, Congresso SAE Brasil 2008, São Paulo, SP, Brasil, Out. 2008.