

## **ANÁLISE DA PROPAGAÇÃO ACÚSTICA MULTIFREQUENCIAL USANDO MALHAS QUADRADAS DE GUIAS DIGITAIS DE ONDAS**

**VILELA, Ana Paula Freitas, [apfvilela@mecanica.ufu.br](mailto:apfvilela@mecanica.ufu.br)<sup>1</sup>**  
**MIRANDA, Ricardo Fortes, [rfmiranda@mecanica.ufu.br](mailto:rfmiranda@mecanica.ufu.br)<sup>1</sup>**  
**DUARTE, Marcus Antônio Viana, [mvduarte@mecanica.ufu.br](mailto:mvduarte@mecanica.ufu.br)<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121. Santa Monica, Bloco M.

**Resumo:** *A acústica previsionial é uma promissora vertente de pesquisa na área das ciências acústicas. Com o auxílio dela é possível durante a fase de projeto, conceber ambientes diferenciados, como por exemplo, igrejas, auditórios e salas de aulas. Tais ferramentas computacionais propiciam qualidade acústica a esses recintos, uma vez que é possível prever os níveis de intensidade sonora que alcançarão os receptores nas mais variadas posições, evitando tratamentos futuros desnecessários para atingir os requisitos almejados por cada projeto, como a clareza, inteligibilidade, tempo de reverberação entre outros. Dentre as inúmeras metodologias apresentadas na bibliografia, as Guias Digitais de Ondas foram adotadas em virtude da facilidade de implementação e eficiência apresentadas nos resultados. Diferentemente de outras técnicas de mesma classificação, ou seja, que são baseadas no comportamento da onda acústica, as Guias Digitais de Ondas partem da solução da Equação Unidimensional da Onda. A malha é constituída por juntas da dispersão, que são pontos em que ocorrem a interconexão dos segmentos de guias e todas as informações são obtidas nesses pontos. As caracterizações da fonte, do meio e dos obstáculos são feitas através da impedância desses materiais e a transferência da informação é obtida através de um delay, possibilitando que a propagação da onda. Numa tentativa de simular um ambiente cujas características se aproximem do mundo real, foram simuladas geometrias em 2-D com obstáculos, submetidas à fonte sonora multifrequencial. Além disso, foi tomado o cuidado de quantificar índices de absorção diferenciados para cada banda de frequência, verificando a capacidade da técnica em simular, absorção, reflexão, transmissão e difração. Os resultados apresentados são satisfatórios, conseguindo representar o fenômeno físico com sucesso..*

**Palavras-chave:** *Acústica Previsionial, Guias Digitais de Ondas, Juntas de Dispersão, Impedância, Bandas de Frequência*

### **1. INTRODUÇÃO**

A acústica é uma área da ciência que interessa aos mais diversos campos de pesquisa. Para o caso particular da engenharia, a concepção de salas acústicas deve satisfazer os objetivos específicos de cada projeto, como por exemplo: salas de teatro, igrejas, auditórios, entre outros Gerges (2000). Toda essa análise de requisitos resulta numa árdua tarefa, pois demandam uma série de considerações sobre a geometria, materiais de propagação e características da fonte, acarretando num aumento significativo de cálculos.

Em se tratando da qualidade acústica de ambientes, é importante que os métodos de modelagem acústica empregados possibilitem uma leitura fiel dos sinais acústicos captados em cada receptor. Deste modo, é possível extrair as mais diversas características do sistema, tais como os níveis quadráticos da energia sonora e as frequências predominantes em cada ponto, Moura (2005),

Com o uso de ferramentas computacionais é possível prever a característica do ruído dentro do ambiente e evitar o gasto com equipamentos desnecessários. Sem sombra de dúvidas, tais ferramentas são bastante úteis a idealização de projetos mais detalhados, pois além de representarem um grande atrativo quanto à flexibilidade e eficiência na resolução dos mais diversos tipos de problemas, pode-se dizer que possuem um custo de utilização praticamente desprezível, se comparada às demais soluções de controle de ruído.

Dentre as inúmeras técnicas disponíveis na literatura, as guias digitais de ondas que são baseadas no comportamento da onda, foram escolhidas em detrimento às demais, porque se mostram eficientes, seja pela simplicidade do algoritmo assim como pelos resultados obtidos Savioja (2000), uma vez que fazem uma leitura fiel dos sinais captados em cada receptor.

Neste sentido, este trabalho busca o desenvolvimento de uma metodologia numérica, Guias Digitais de Ondas, empregada na simulação acústica que possa atender aos diversos tipos de sistemas físicos, de modo a representar os

fenômenos básicos de interação das ondas, e seus efeitos na superfície dos obstáculos contidos na análise. Dessa forma, essa ferramenta computacional será destinada à simulação da propagação multifrequencial e interação de ondas sonoras com as superfícies inseridas na análise, chegando a representar o caso de salas reverberantes. As iterações serão representações da impedância característica da onda, dentre os quais serão analisadas as parcelas, separadas em função das frequências de ondas que serão refletidas, transmitidas e absorvidas.

## 2. METODOLOGIA DE GUIAS DIGITAIS DE ONDAS

Como supracitado, as Guias Digitais de Ondas tratam-se de uma metodologia baseada no comportamento da onda. Os modelos assim rotulados visam à resolução numérica de um conjunto de equações governantes que regem cada fenômeno físico analisado Bilbao (2001). A maioria dos métodos, assim classificados, é baseada na integração numérica da equação da onda em cada ponto da malha e requer que a distância entre os nodos da malha seja no mínimo igual à metade do comprimento de onda da maior frequência do sinal, conseqüentemente, aumento do custo computacional Smith (1992).

Matematicamente, se classifica como um caso particular dos Métodos de Diferenças Finitas, porém se distingue no que diz respeito à derivação das equações, condições de contorno, dentre outras características, Barret L.C and Wylie C. R (1995).

A grande vantagem reside em sua formulação simples e eficiente, pois é baseada na solução da equação da onda proposta por d'Alembert, que trabalha em regime unidimensional. As geometrias analisadas são formadas por juntas de dispersão (ponto em que as guias se cruzam para formar a malha) e simuladas usando apenas o delay, atraso temporal para que a informação que estava no ponto anterior chegue ao ponto atual. Além disso, cada junta comunica-se com os nós vizinhos, realizando assim, a propagação do sinal através da malha. Boaventura(2009).

### 2.1. Impedância Acústica

Antes de definir as Guias Digitais de Ondas, um importante conceito a ser discutido e que serve de base para a metodologia são as impedâncias acústicas. O movimento de propagação da onda acústica é caracterizado pela impedância ( $z_a$ ), que relaciona a pressão sonora ( $P$ ) com a velocidade de propagação( $v$ ).

$$z_a = \frac{P}{v} \quad (1)$$

A impedância acústica é responsável por caracterizar os diferentes meios de propagação, quando se relaciona a densidade  $\rho_0$  do meio e a velocidade, tem-se:

$$z_a = \rho_0 c \quad (2)$$

As iterações das ondas com os obstáculos são analisadas através de coeficientes que relacionam a pressão com os valores de impedância para caracterizar os fenômenos de reflexão, transmissão e absorção de ondas sonoras. Considerando a incidência normal de ondas planas em uma interface que separa dois meios elásticos (ideais), respectivamente  $Z_1$  e  $Z_2$ . Os sinais da pressão sonora incidente, refletidas e transmitidas serão representados, respectivamente, por  $p^+$ ,  $p^-$  e  $p^r$ . O sistema de coordenadas foi escolhido de forma a coincidir na origem, ou seja,  $x=0$

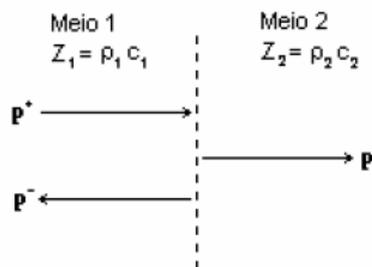


Figura 1. Reflexão e transmissão do som com incidência normal.

Os valores dos coeficientes  $\eta$  e  $\tau$  são encontrados aplicando as seguintes condições de contorno.

$$p^+ + p^- = p^r \quad (3)$$

$$v^+ + v^- = v^{tr} \quad (4)$$

Com relação à pressão acústica, os coeficientes de reflexão e transmissão são representados respectivamente, por:

$$\eta = \frac{p^-}{p^+} \quad (5)$$

$$\tau = \frac{p^{tr}}{p^+} \quad (6)$$

Fazendo algumas manipulações algébricas, de acordo com Blackstock (2000), encontram-se os seguintes resultados em termos da impedância

$$\eta = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (9)$$

$$\tau = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (10)$$

## 2.2. Guias Digitais de Ondas

As Guias Digitais de Ondas caracterizam o meio de propagação, e como o próprio nome sugere, são dispositivos que guiam o movimento da onda. Elas partem da solução unidimensional da equação da onda para simular a propagação sonora, tal com ilustra a figura abaixo:

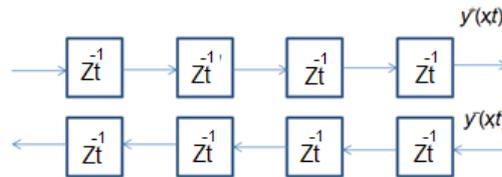


Figura 2. Representação de uma Guia Digital de Onda.

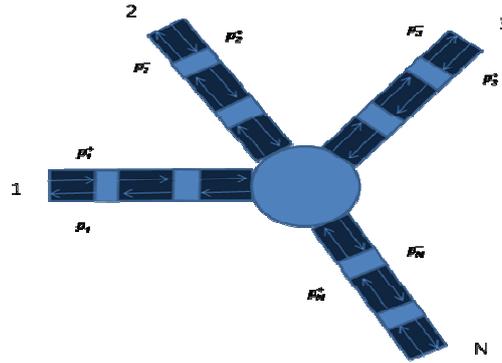
Como se pode notar, uma guia é formada por atrasos temporais, com ondas cuja direção de propagação é oposta, Murphy, D. T. and Howard, D.M (2000). A letra  $Zt$  simboliza uma função transferência, referente ao transporte das propriedades da onda de uma extremidade a outra da guia. A potência (-1) simboliza o atraso temporal necessário para que as informações trafeguem de uma extremidade a outra. As setas indicam o duplo sentido do movimento. A soma das duas componentes representa a solução geral do problema na posição  $x$  e no tempo  $t$ , tal como propõem a solução de d'Alembert, que está escrita na Eq. (11).

$$u = h(x - ct) + g(x + ct) \quad (11)$$

Dessa forma, a essência de sua modelagem numérica consiste do somatório entre duas parcelas, que correspondem às ondas que se movimentam na mesma direção, porém em sentidos contrários e é simulado usando um atraso temporal bidirecional.

## 2.3. Malha de Guias Digitais de Ondas

Os pontos em que as guias se conectam e as pressões sonoras são captadas são conhecidos como Juntas de Dispersão e elas são conectadas por guias de ondas bidirecionais. A Fig.(3) mostra o caso geral de uma junta de dispersão com  $N$  vizinhos,  $i=1,2,\dots,N$ .



**Figura 3. Junta de dispersão genérica com N guias digitais de ondas interconectadas, sendo  $i=1, 2, \dots, N$ . Os sinais '+' e '-' correspondem às componentes de ondas viajantes para dentro e para fora da junção, representada pelo círculo azul. Figura modificada de Campos (2003).**

Os pontos em que as guias se interconectam, são conhecidos como juntas de dispersão. Para as juntas de dispersão com N guias ideais, seguem as seguintes condições:

- A soma das velocidades de entrada é igual à soma das velocidades de saída:

$$\sum_{i=1}^{2N} v_i^+ = \sum_{i=1}^{2N} v_i^- \quad (12)$$

- A pressão sonora dos nós vizinhos é igual à pressão sonora na junta de dispersão:

$$p_{j,i}^+(n) = p_{i,j}^-(n) \quad (13)$$

- Assim, a pressão em cada junta j, pode ser expressa em termos dos nós vizinhos, i, para cada passo de tempo n, da seguinte forma:

$$p_j = \sum_{i=1}^{2N} P_i^+ \Psi_i \quad (14)$$

Onde  $\Psi_i$ , representa toda a vizinhança nas juntas de dispersão i. Esses valores são relacionados como a impedância característica da onda,  $R_j$  nas junções.

$$\Psi_i = \frac{2R_i}{R_j + \sum_{i=1}^{2N} R_i} \quad (15)$$

Substituindo Eq.(15) em Eq.(14), obtém:

$$p_j = \frac{2 \sum_{i=1}^N \frac{p_i^+}{R_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}} \quad (16)$$

Como o meio adotado é homogêneo, logo todas as impedâncias de Guias Digitais de Ondas são iguais, dessa formas, a Eq. (16) pode ser simplificada para a Eq. (17), Campos (2003), que representa a pressão sonora numa junta de dispersão.

$$p_j = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N p_i^+ \quad (17)$$

## 2.4. Caracterização das Malhas de Guias Digitais de Ondas Bidimensionais.

Para a geração da malha bi-dimensional existem vários modelos disponíveis na literatura, baseados nas mais diferentes geometrias. A malha SWG (Square Waveguide), ou malha quadrada foi adotada para a análise multifrequencial, devido a sua simplicidade e ter custo computacional menor. Na SWG, cada junta é conectada por quatro juntas adjacentes, por meio de quatro guias digitais de ondas, assim como ilustra a figura abaixo:

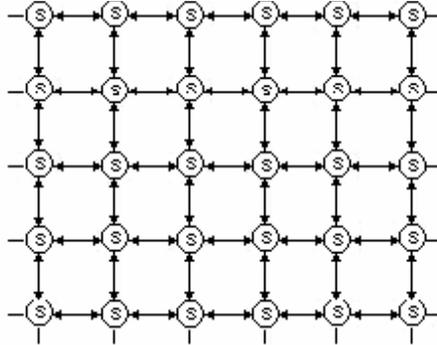


Figura 4. Malha SWG

Quando observada de próximo, unidade de célula da malha pode ser representada como segue:

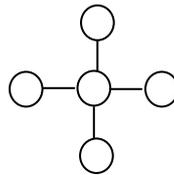


Figura 5. Representação da unidade de célula da junta de dispersão para a malha SWG, que se comunica com as juntas vizinhas do norte, sul, leste e oeste.

O modelo matemático aplicado à junta de dispersão é expresso pela seguinte equação:

$$P_j(n) = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^4 P_i(n-1) \right] - P_j(n-2) \quad (17)$$

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Considerações da Modelagem Acústica

Para a modelagem de fontes sonoras usando guias digitais de ondas, uma excitação é gerada na malha para reproduzir a injeção de energia sonora Smith, (1992). Na modelagem das salas acústicas deste trabalho, uma fonte sonora é simulada por injeção de um sinal, geralmente senoidal, em um único nó, caracterizando assim, uma fonte pontual, cuja diretividade é homogênea.

A modelagem do comportamento físico de sistemas governados por equações diferenciais parciais requerer um método genérico para solucioná-los, sendo ele analítico ou numérico, e também condições de contorno apropriadas, descrevendo o que acontece na região que delimita o sistema físico em consideração. Na modelagem da malha de guias digitais de ondas, esses pontos são tratados como os nós de contorno e as suas posições definem os limites do domínio modelado, que geralmente, coincide com a transição entre os diferentes meios de propagação. Porém, devido a discretização espacial dos nós, podem ocorrer erros, porque o contorno físico real não coincide exatamente com os nós de contorno, e essas superfícies costumam ser representadas por aproximações. Intuitivamente, com o aumento da densidade da malha, problema pode ser reduzido, porém, não eliminado, Campos, (2003). Nesse caso, os nós de contorno são posicionados de tal forma que consigam representar a descontinuidade de impedância. A modelagem das condições de contorno é baseada na Eq. 18.

$$p_1^+ = rp_1^- \quad (18)$$

Enfatizando que o índice de reflexão é dependente da frequência, em outras palavras, a impedância acústica dos materiais assume valores diferenciados de acordo com frequência.

No contexto de modelagem de salas acústicas, a absorção das paredes é a principal causa de dissipação de energia, mas na prática, há uma parcela significativa de absorção do ar, sendo que esta aumenta proporcionalmente com a frequência. A absorção do som pelo meio de transmissão depende de uma série de fatores, tais como a distância, temperatura, umidade, entre outros, sendo que na prática o fator que mais interfere é a variação de temperatura, Savioja (2000). Porém, só faz sentido incorporar a absorção do ar em ambientes relativamente grandes e quando se trabalha com frequências muito altas, que não condizem com o objetivo desse trabalho. Por essa razão, em todas as simulações feitas o efeito de absorção do meio está sendo negligenciado.

### 3.2. Batimento

Numa tentativa inicial de analisar a eficiência da metodologia em simulações multifrequências foi testar o batimento de ondas sonoras. Esse tipo de fenômeno é resultado da superposição de duas ondas que se propagam numa mesma direção com frequências ligeiramente diferentes. Em decorrência da superposição simultânea desses sinais, o receptor ouvirá o acoplamento das duas ondas sonoras que periodicamente entram em fase e saem de fase, em decorrência da alternância no tempo entre ondas construtivas e destrutivas, sendo que esse fenômeno pode ser caracterizado como uma interferência temporal, Chiquinho e Ramos (2005).

Para simular esse fenômeno dois sinais senoidais de 400 e 416 Hz e amplitude de 1 Pa foram gerados numa barra de 10 cm, com uma duração de 0.1s. A fonte foi posicionada na extremidade esquerda da barra e a propagação ocorreu através de toda a superfície, assim como é possível observar no esquema mostrado na Fig. 6:



Figura 6. Protótipo do modelo físico simulado para o caso do batimento.

No extremo oposto da barra, o nó foi configurado a fim de simular reflexão total. Além disso, o valor de frequência de atualização da malha foi ajustada em  $f_s=3200\text{Hz}$ . O resultado obtido está representado na Fig. 7.

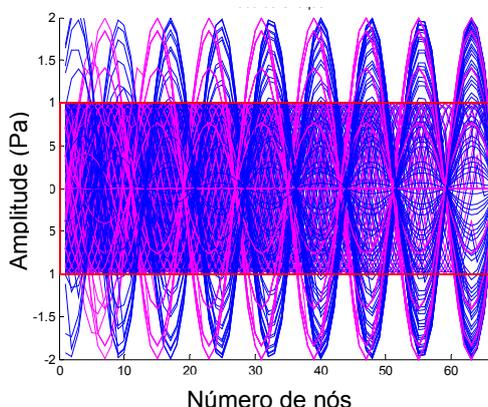


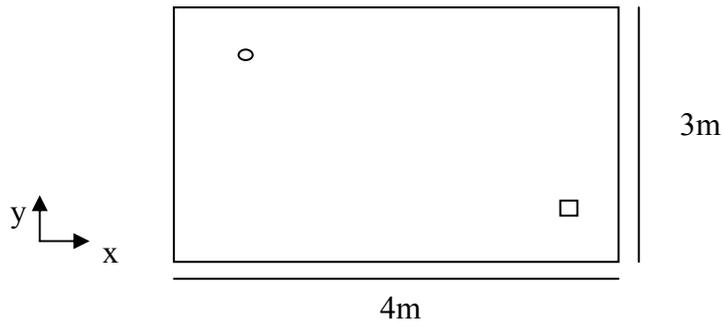
Figure 7. Batimento de duas ondas sonoras usando guias digitais de ondas. As cores rosa e azul representam as frequências de 400 e 416Hz, respectivamente.

Como é possível observar, no lado direito da figura, as ondas ficam sobrepostas de uma maneira mais comportada, sendo que no lado esquerdo as componentes de ondas ficam mais esparsas. Nesse ponto, cabe salientar que vários testes foram feitos anteriormente, seja configurando o nó totalmente sem reflexão, seja simulando um campo aberto, porém, não obtiveram sucesso, uma vez que na simulação de guias digitais de ondas é imprescindível a caracterização de todos os vizinhos, porque a metodologia busca informações contidas neles.

### 3.3. Tratamento Multifrequencial

Com o intuito de obter resultados mais condizentes com a realidade, uma membrana 4(m) x 3 (m), foi submetida a uma reposta impulsiva, proveniente de um sinal senoidal de amplitude 1Pa. Como mostra a figura a seguir, a fonte, representada pelo círculo inserido na membrana, foi posicionada no canto esquerdo superior, referente ao ponto ( $x=1\text{m}$ ,  $y=2.5\text{m}$ ), já o ponto receptor, posicionado no ponto ( $x=3.5\text{m}$ ,  $y=1\text{m}$ ). O tempo total de simulação foi de 0.02s e o tempo

de funcionamento da fonte de 0.008s, tempo suficiente para captar o período de um ciclo da frequência mais baixa, ou seja, para conseguir o maior comprimento de onda. A frequência de atualização da malha foi ajustada em 12 kHz.



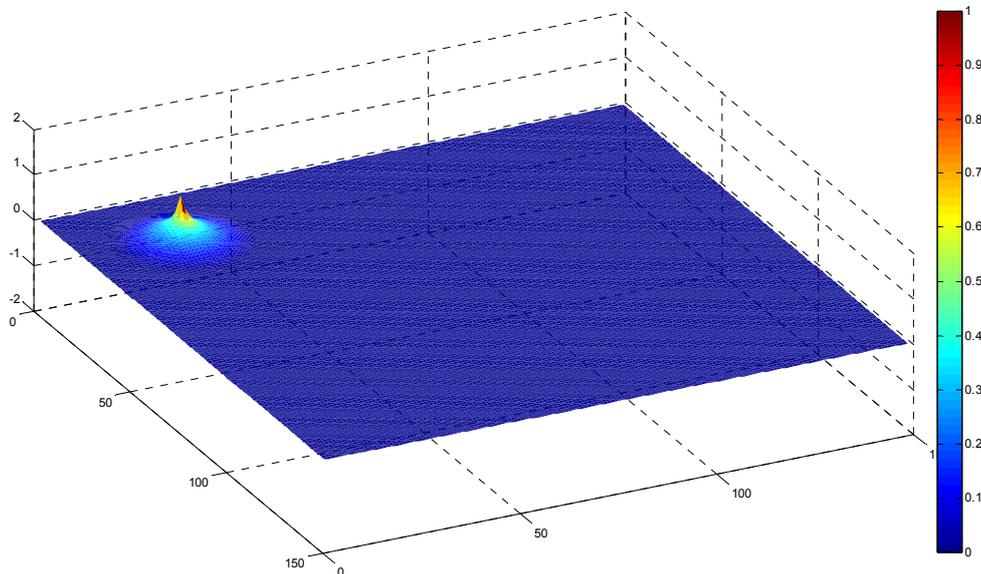
**Figura 8. Representação da membrana a ser simulada com a fonte posicionada no ponto (1,2.5).**

As paredes que simulam tijolos como obstáculos, foram configuradas com os coeficientes de absorção variáveis com as bandas de frequências, cujos valores encontram-se na Tab.(1).

**Tabela 1. Valores em bandas de frequência para os coeficientes de absorção acústica do tijolo, material usado na análise .**

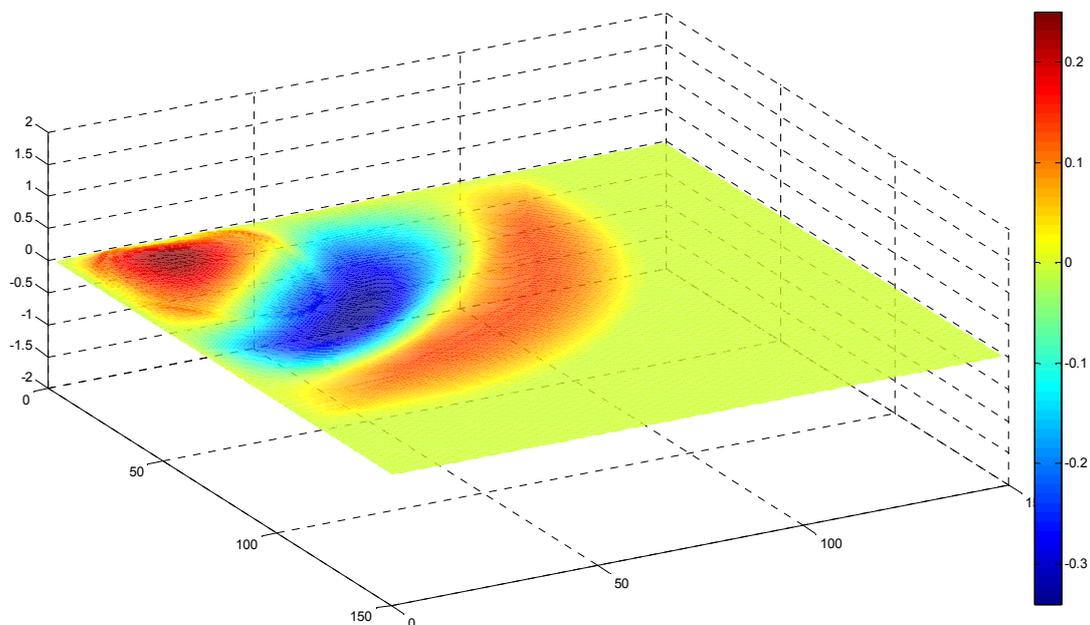
Material	Coeficiente de absorção Acústica (%) com relação às bandas de Frequências.					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Tijolo	3	3	3	4	5	7

A Figura 9 mostra o momento de funcionamento de pico da fonte. Nesse instante, a informação ainda não alcançou o receptor.



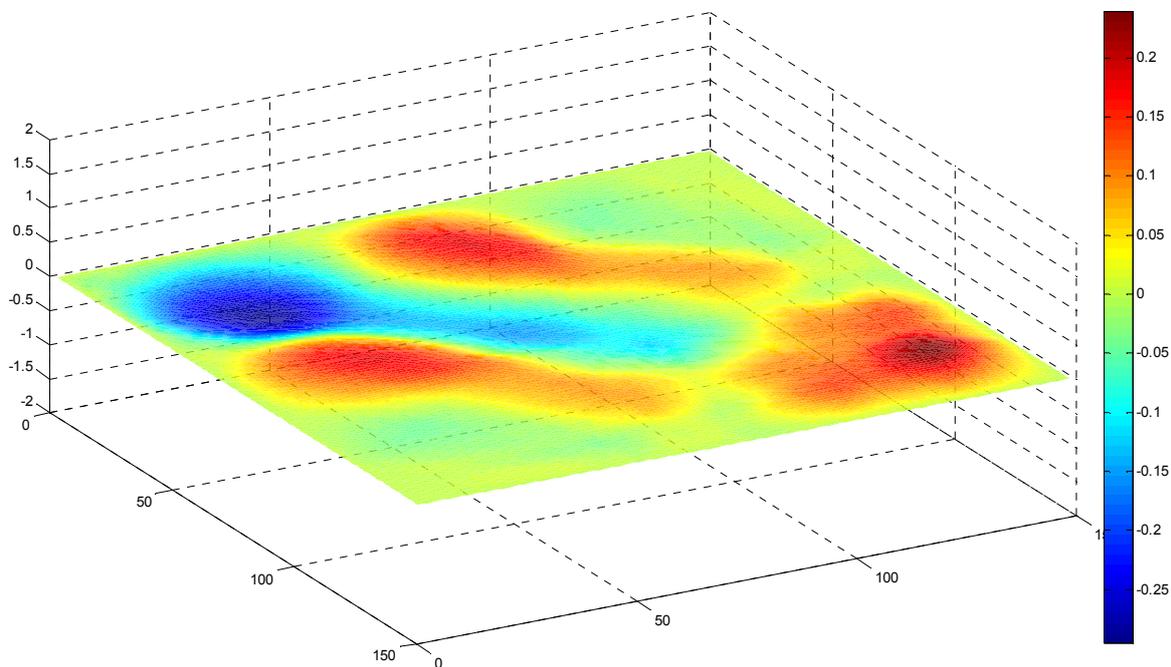
**Figura 9. Intervalo de funcionamento da fonte.**

Como é possível observar, o ambiente encontra-se inicialmente em repouso e a energia incidida pela fonte perturba o meio, causando a propagação de energia sonora. Na fig. 10 mostra o momento em que a fonte está desativada.



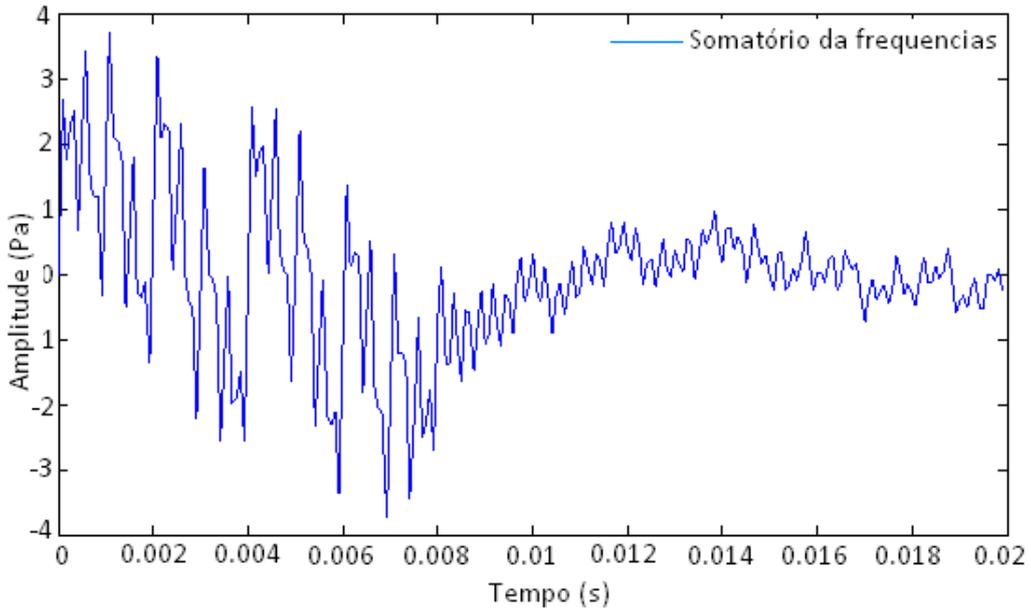
**Figura 10. Intervalo em que a fonte é desativada.**

Após cessar o funcionamento da fonte, a única energia presente no local é referente às reflexões das paredes, caracterizando um espaço reverberante. É importante salientar que o tempo de funcionamento da fonte não foi suficiente para que os raios diretos chegassem a outra extremidade da fonte, sendo que apenas os raios refletidos o alcançarão. Além disso, uma vez que não está sendo mais aplicada energia no sistema, os valores de pressão sonora estão reduzidos com relação ao da Fig. 9. A figura abaixo mostra a atuação das reflexões no comportamento do campo sonoro, no tempo  $t=0.1s$ .



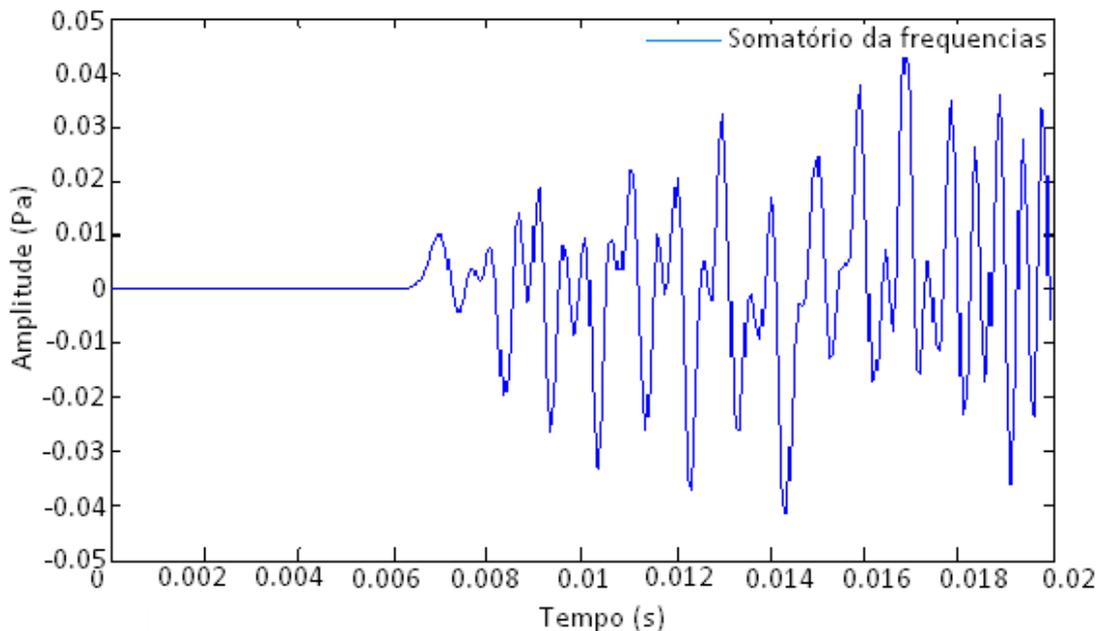
**Figura 11. Espalhamento dos raios sonoros**

Os gráficos a seguir mostram a resposta impulsiva do sensor posicionado na fonte.



**Figura 12. Resultado do sensor posicionado sobre a fonte.**

O gráfico apresentou uma grande interferência, pois ele representa o somatório de todas as frequências provenientes da fonte. O tempo de funcionamento da fonte é de 0.008s, como supracitado para dar tempo de captar o maior comprimento de onda. Nesse ponto, cabe ressaltar que após o desligamento da fonte, a energia tende a se dissipar, devido à presença dos obstáculos. A Fig.13 mostra a informação que está chegando ao receptor, nota-se que diferentemente do que acontece na Fig. 12, a energia sonora alcança o receptor apenas no instante 0.006s, sendo esse o tempo necessário para que a informação viaje da fonte até esse ponto. Além disso, a informação alcança o receptor de forma atenuada.



**Figura 13. Resultado do sensor posicionado sobre o receptor.**

A metodologia de Guias Digitais de Ondas apresentou bons resultados para a simulação de ambientes reverberantes. Dentre as vantagens atribuídas a essa metodologia, destacam: a simplicidade de sua modelagem, uma vez que as informações são captadas de acordo com a impedância do meio, é possível simular geometrias mais complexas. Além disso, seus resultados são obtidos de maneira eficiente e apresentam uma boa precisão.

Os resultados obtidos na simulação foram satisfatórios, pois como a própria literatura sugere, as técnicas de modelagens computacionais estão suscetíveis a erros, que no caso das Malhas de Guias Digitais de Ondas, se referem ao erro de dispersão. O tipo de malha adotada também influenciou nos resultados, uma vez que a informação é captada,

apenas em quatro direções, não conseguindo representar com tanta lealdade os sinais acústicos. Porém esse problema pode ser contornado aumentando a densidade nodal da malha, o que acarretaria um custo computacional maior. Além disso, é possível o uso de malhas de geometrias diferenciadas, como as triangulares, hexagonais ou outras, que apresentam maior número de direções.

Em linhas gerais, esse trabalho apresentou uma ferramenta computacional voltada para a modelagem de sistemas acústicos. Um detalhe dessa ferramenta é que foi construída com os olhos voltados para a representação de sistemas físicos mais realísticos, fazendo um tratamento multifrequencial e tratando cada frequência individualmente.

#### 4. AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao amparo financeiro provido pela CAPES.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Barret L. C. e Wylie C.R., *Advanced Engineering Mathematics* Ed. Mc Graw Hill, 1995.
- Bilbao, S., *Wave and Scattering Methods for the Numerical Integration of Partial Differential Equations*, PHD Thesis University of Stanford, 2001.
- Blackstock, David T., 2000, “*Fundamentals of acoustics*”, J. Wiley, USA.
- Boaventura, A.P.F.V, 2009, “*Modelagem Computacional da Propagação Acústica Proveniente de Fontes Multifrequenciais Usando Malhas de Guias Digitais de Ondas*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil.
- Campos, G. *Three-Dimensional Digital Waveguide Mesh Modelling for Acoustic Simulation*. PHD Thesis - York, 2003.
- Chiquito S.J e Ramos A.C.A. *Batimentos e Ressonância de diapasões analisados usando um osciloscópio*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.27 n.2. - [s.l.] : *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2005. - 2 : Vol. 27. - pp. 219-223. - p.219-223.
- Damian T. Murphy, Chris J. C. Newton and David M. Howard, “*Digital Waveguide Mesh Modelling of room acoustics: surround-sound, boundaries and plugin implementation*”. *Proceedings of the COST G-6 Conference on Digital Audio Effects (DAFX-01)*, Limerick, Ireland, December 6-8, 2001.
- Gerges, S. N.Y., 2000, “*Ruído: Fundamentos e Controle*”, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil;
- Lawrence E. Kinsler; Austin R. Frey; Alan B. Coppens and James V. Sanders, 1999, *Fundamentals of Acoustics*”, 3ed., J. Wiley, USA.
- Moura, H.G., 2005, “*Simulação da Propagação de Ondas Acústicas Através de Guias Digitais de Ondas*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil.
- Murphy, D.T AND Howard, D. M., “*2-D Digital waveguide mesh topologies in room acoustics modeling*”. *Proceedings of the COST G-6 Conference on Digital Audio Effects (DAFS-00)*, Verona, Italy, December 7-9, 2000.
- S. Sport e R. Rabestein, “*Acoustic by Numerical Simulation*”, 46° Internatinal Scientific Colloquium Ilmenau Technical University. September 24-27, 2001 .
- Savioja L. *Modeling Techniques for Virtual Acoustics*. PHD Tesis.- 2000.
- Smith J.O. *Physical Modeling with Digital Waveguides*. Center of Computer Research in Music and Acoustics (CCRMA) - 1992.
- Vilela, A.P.F, e Miranda, R. F. 2007, “*Simulação da Propagação Bidimensional de Ondas Acústicas Através de uma Malha de Guias Digitais de Ondas*”, 17° POSMEC – Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia.

#### 6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
**August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil**

## **ANALISYS OF MULTIFREQUENCY PROPAGATION USING DIGITAL WAVEGUIDE SQUARED MESH**

**VILELA, Ana Paula Freitas, [apfvilela@mecanica.ufu.br](mailto:apfvilela@mecanica.ufu.br)<sup>1</sup>**  
**MIRANDA, Ricardo Fortes, [rfmiranda@mecanica.ufu.br](mailto:rfmiranda@mecanica.ufu.br)<sup>1</sup>**  
**DUARTE, Marcus Antônio Viana, [mvduarte@mecanica.ufu.br](mailto:mvduarte@mecanica.ufu.br)<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121. Santa Monica, Bloco M.

**Abstract.** *The previsional acoustic is a promising area of research in acoustic science. With the help it is possible during the project, design different environments, such as churches, auditoriums and classrooms. With the use of computational tools, it is possible to preview the sound characteristics of environment with a relatively easy way and avoid later expenses with noise control equipments. Among the technique used for sound propagations simulation, the Digital Waveguide seems an efficient tool, because the simplicity of the algorithm and the quality of the results. This method is based on the behavior of acoustical waves. A set of equations that governs the phenomenon through sampling points called scattering junctions are solved numerically. The characterizations of the source, the environment and the obstacles are made through the impedance of these materials and transfer of information is obtained through a delay, allowing the spread of the wave. In a attempt to simulate an environment whose characteristics are close to the real world geometries were simulated in 2-D obstacles, submitted to the sound source multifrequency. Furthermore, care was taken to quantify rates of absorption differ for each frequency band, verifying the ability of the technique to simulate, absorption, reflection, transmission and diffraction. The results are satisfactory, managing to represent the physical phenomenon successfully*

**Keywords:** *previsional acoustic, digital waveguide, scattering junctions, impedance, frequency bands*