

SIMULAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS ACÚSTICAS EM DIFERENTES FREQUÊNCIAS ATRAVÉS DE UMA MALHA DE GUIAS DIGITAIS DE ONDAS

Ana Paula Freitas Vilela Boaventura

Universidade Federal de Uberlândia

Avenida João Naves de Ávila, S/N, Campus Santa Mônica - Bloco M – 38400-902 Uberlândia – MG.

ana04nte@hotmail.com

Ricardo Fortes de Miranda

Universidade Federal de Uberlândia

Avenida João Naves de Ávila, S/N, Campus Santa Mônica - Bloco M – 38400-902 Uberlândia – MG.

rfmiranda@mecanica.ufu.br

Resumo: *Um dos maiores desafios para os projetistas de ambientes acústicos é evitar o princípio de reverberação, que compromete a qualidade do som. O objetivo desse trabalho é dar continuidade ao trabalho de elaboração de um método numérico, desenvolvendo uma ferramenta computacional, capaz de simular a propagação de ondas acústicas e principalmente suas interações com as superfícies inseridas na análise. Sendo as interações representações da impedância característica da onda, dentre os quais serão analisadas as parcelas das frequências de ondas que serão refletidas, transmitidas e absorvidas. Para o desenvolvimento do algoritmo proposto, será adotada a metodologia de Malha de Guias Digitais de Ondas. As Guias Digitais de Ondas tratam de sistemas baseados na solução de d'Alembert para a Equação Geral da Onda. Nessa metodologia, é encontrada uma solução unidimensional e nos pontos em que as guias se interconectam - juntas de dispersão, serão expressos os valores associados com o fenômeno analisado, encontrando a solução para o problema.*

Palavras Chaves: *Ferramenta Computacional, Modelagem Acústica, Guias de Ondas, Dispersão.*

1. INTRODUÇÃO

A acústica é a ciência que lida com os fenômenos sonoros, abrangendo a geração, a transmissão e os efeitos causados e tal assunto desperta interesse nas mais diversas áreas do conhecimento. No caso específico da Engenharia Mecânica, o projeto de ambientes acústicos é uma tarefa muito árdua, pois demanda muitos cálculos e considerações sobre os materiais, geometrias e características funcionais das fontes sonoras.

O presente trabalho propõe a construção de uma ferramenta computacional para modelar ambiente acústicos, visando atenuar os problemas de reverberação, que poderá no futuro auxiliar no projeto de salas, auditórios e demais áreas submetidas à exposição de fontes sonoras. Nesse sentido, é necessário usar uma metodologia numérica para simular os fenômenos de propagação das ondas e suas interações com os obstáculos, para obter uma ferramenta computacional capaz de prever as intensidades e frequências do ruído no ambiente.

A técnica computacional adotada está baseada no comportamento da onda acústica e visa a resolução numérica de um conjunto de equações governantes que regem o problema físico. O Finite Difference Time Domain - (FDTD) e Guias Digitais de Ondas – (Digital Waveguide) são as técnicas que mais favorecem a solução do algoritmo. No FDTD, o princípio básico reside na substituição das derivadas de primeira e segunda ordem das equações por aproximações numéricas, as diferenças

finitas. Além disso, mesmo possuindo uma implementação mais simples, consegue alcançar resultados excelentes para as respostas impulsivas das fontes nos receptores.[1]

As Guias Digitais de Ondas se caracterizam por ser uma formulação simples, porque adotam regime unidimensional, ponto a ponto, ao longo do espaço analisado. Matematicamente, a Malha de Guias de Ondas Digitais é um caso particular do FDTD, porém ambos os métodos se diferem quanto à derivação das equações e das condições de contorno.

No ponto em que as guias se cruzam, surgem as juntas de dispersão, pontos em que será feita toda a amostragem temporal do fenômeno de distúrbio analisado. No caso específico do trabalho, as juntas de dispersão estão associadas com os valores da pressão acústica e das partículas do meio.

2. MÉTODO NUMÉRICO

2.1 PROBLEMA FÍSICO

Num ambiente acústico é necessário aferir a qualidade e quantidade de ruído. Assim, é necessário calcular as respostas impulsivas associadas aos caminhos compreendidos entre a fonte e o receptor.

O enfoque principal do trabalho se concentra na modelagem computacional da propriedade de impedância da onda, em são ilustradas nas figuras abaixo:

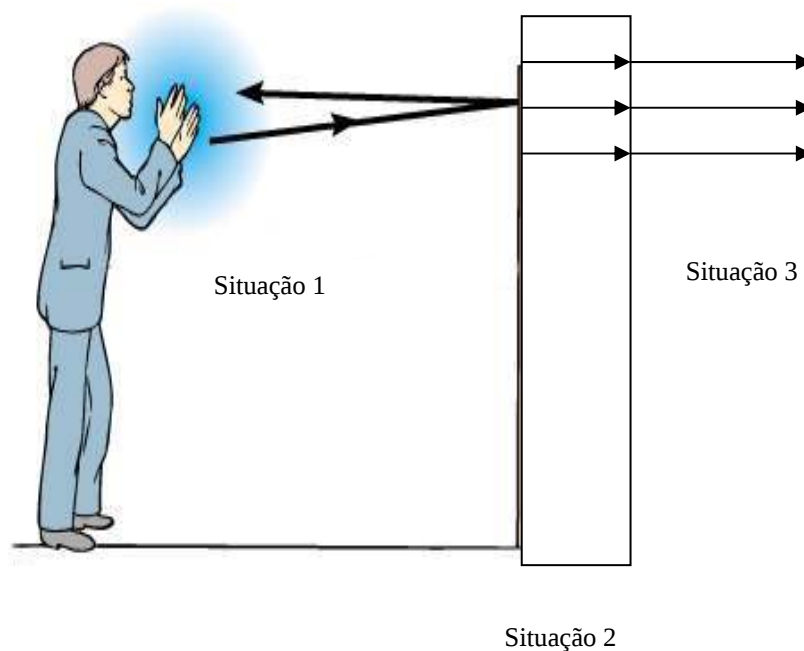


Figura 1: Propriedade da Impedância Acústica: Reflexão, Absorção e Transmissão.

2.2 GUIAS DIGITAIS DE ONDAS

As técnicas de modelagem de ambientes acústicos podem ser classificadas em modelos baseados no transporte de energia, modelos estatísticos e modelos baseados no comportamento da onda acústica, sendo o último, base para o trabalho. Dentre vários sistemas numéricos presentes na literatura, a Guia Digital de Onda, surgiu como o melhor representante devido a sua eficiência e baixo custo computacional.

A técnica numérica caracteriza o meio ou o dispositivo que guia o movimento da onda e a partir do princípio de d'Alembert para a solução da equação geral da onda, é possível obter uma solução unidimensional (ponto a ponto). A malha é gerada, quando as guias são interconectadas em suas extremidades, favorecendo a implementação das mais variadas geometrias.

A solução unidimensional da Equação Geral da Onda pode ser representada pela soma de duas parcelas, correspondentes a ondas que se movimentam na mesma direção, porém em sentidos opostos.

$$u = h(x - ct) + g(x + ct) \quad (1)$$

Em que x é a variável espacial, c é a velocidade do som e t , variável do tempo. A figura abaixo representa o esquema de propagação unidimensional, sendo que os sinais '+' e '-', representam os sinais de entrada e sinais de saída dos nós. A transferência é representada por Z_f , sendo m o atraso temporal e P a pressão sonora proveniente dos nós.

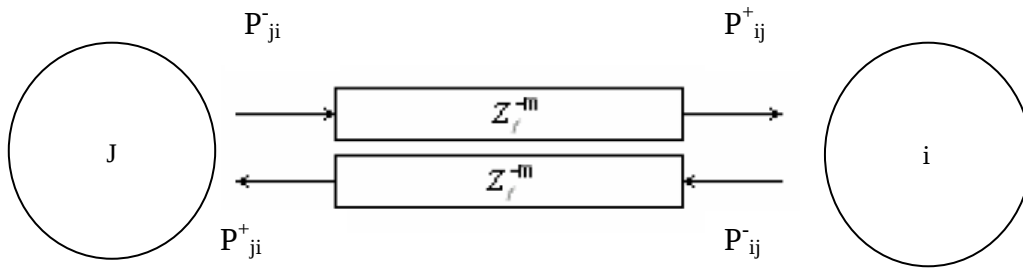


Figura 2: Representação do esquema de guias digitais de ondas.

2.3 JUNTAS DE DISPERSÃO

Os pontos em que as guias se interconectam, são conhecidos como juntas de dispersão. Para efeitos do estudo desse trabalho, temos que a impedância relaciona a pressão e a velocidade.

$$P_j = P_i^+ + P_i^- \quad (2)$$

Para as juntas de dispersão com N waveguides ideais, devemos seguir as seguintes condições:

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

$$\sum_{i=1}^{2N} v_i^+ = \sum_{i=1}^{2N} v_i^- \quad (3)$$

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

$$P_{j,i}^+(n) = P_{i,j}^-(n) \quad (4)$$

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:

$$P_J = \sum_{i=1}^{2N} P_i^+ \psi_i \quad (5)$$

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

$$\psi_i = \frac{2R_i}{R_j + \sum_{i=1}^{2N} l} \quad (6)$$

2.3 A MALHA BI-DIMENSIONAL DE GUIA DE ONDAS.

A modelagem de malha bi-dimensional será muito abordada pelo trabalho e dois modelos serão adotados: SWG, ou *Square Waveguide* e a TWG, ou *Triangle Waveguide*. Na SWG, cada junta é conectada por quatro juntas adjacentes, por meio de quatro guias digitais de ondas, assim como ilustra a figura abaixo:

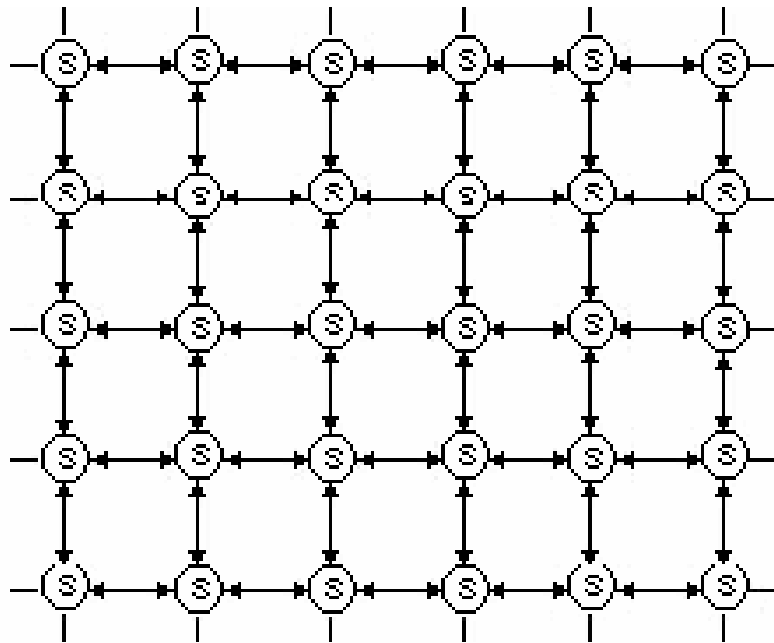


Figura 3: Malha SWG

Cada célula, junta de dispersão, pode ser representada como ilustra a figura abaixo:

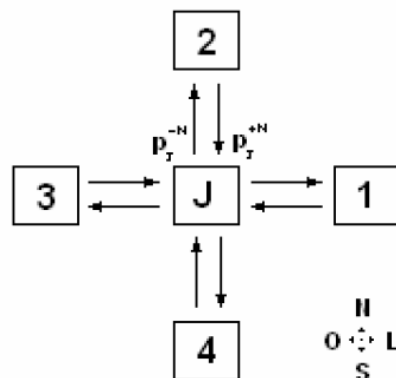


Figura 4: Desenho esquemático das juntas de dispersão na malha SWG.

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

$$p_J(n) = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^4 p_i(n-1) \right] - p_J(n-2) \quad (7)$$

Porém, esse modelo apresenta restrições quanto a discretização dos caminhos de propagação da onda em apenas duas direções. Na malha TWG, as juntas de dispersão se comunicam através de três direções, formando um arranjo de sete juntas de dispersão, assim como é possível visualizar na figura abaixo. Com isso aumenta a capacidade de capturar o fenômeno de propagação das ondas. Assim, os resultados encontrados, serão mais uniformes e preciso. Porém, quando comparado à malha SGW, o TWG, tem um custo computacional maior, porque possui uma solução mais sofisticada e requer uma implementação mais criteriosa.

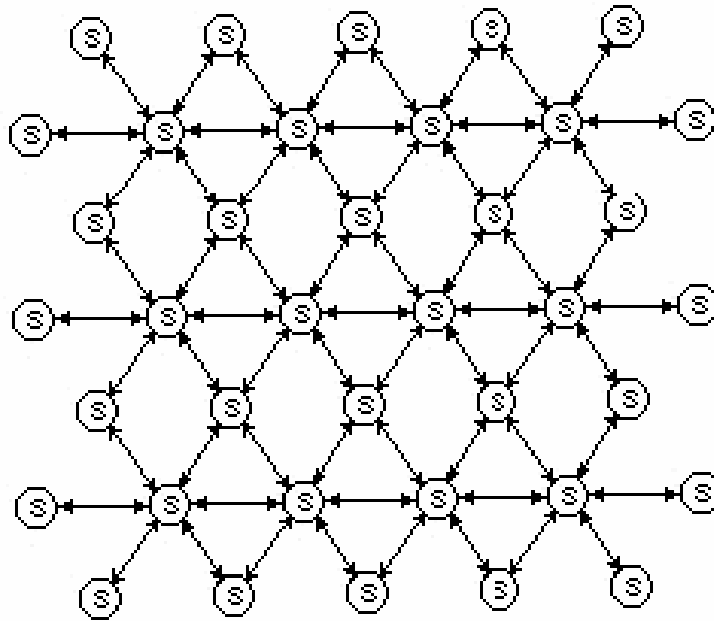


Figura 5: Malha TWG

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

$$p_J(n) = \frac{1}{3} \left[\sum_{i=1}^6 p_i(n-1) \right] - p_J(n-2) \quad (8)$$

3. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao amparo financeiro provido pela CAPES.

4. REFERÊNCIAS

- 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.
- Lawrence E. Kinsler; Austin R. Frey; Alan B. Coppens and James V. Sanders, 1999, Fundamentals of Acoustics”, 3ed., J. Wiley, USA.

SIMULATION OF ACOUSTICS WAVE PROPAGATION WITH DIFFERENT FREQUENCY THROUGH WAVEGUIDE

Ana Paula Freitas Vilela Boaventura

Federal University of Uberlandia

João Naves de Ávila Avenue, no number, Campus Santa Mônica - Block M – 38400-902 Uberlândia – MG / Brazil.

ana04nte@hotmail.com

Ricardo Fortes de Miranda

Federal University of Uberlandia

João Naves de Ávila Avenue, no number, Campus Santa Mônica - Block M – 38400-902 Uberlândia – MG / Brazil.

rfmiranda@mecanica.ufu.br

Abstract: *This work aims the construction of a computation tool, based on the digital wave-guide technique, in order to modeling acoustic reverberation. This model is able to simulate the acoustic iteration with obstacles, based the impedance proprieties. The algorithm is base on numerical solution Digital Wave guide, which use principle of d'Alembert solution.*

Keywords: *acoustics modeling, wave guide, finites differences, dispersion.*