



PROPAGAÇÃO DE UM PULSO ACÚSTICO 2D USANDO AS EQUAÇÕES DE EULER LINEARIZADAS

Tiago de Assis Silva; Aristeu da Silveira Neto

O objetivo deste trabalho é apresentar os aspectos fundamentais do desenvolvimento de um código computacional para propagação acústica 2-D utilizando as equações de Euler linearizadas e os resultados obtidos a partir da propagação de um pulso acústico bidimensional.

Existem basicamente duas abordagens para se lidar com problemas de aeroacústica computacional (CAA): direta e híbrida.

A abordagem direta consiste na resolução das equações de Navier-Stokes, na sua formulação compressível, de forma a obter simultaneamente o campo aerodinâmico e o campo acústico na mesma simulação computacional. Os resultados obtidos por meio desta abordagem proporcionam uma melhor compreensão da física que envolve a intrigada interação entre as escalas do escoamento e as do campo acústico. Embora a riqueza de detalhes conseguida por meio desta abordagem seja impressionante, o custo computacional inerente ainda é bastante elevado, limitando-a a problemas relativamente simples.

Por outro lado, na abordagem híbrida, o cálculo do escoamento e do campo acústico são realizados em etapas distintas. O custo computacional é bastante reduzido quando comparado à abordagem direta, entretanto, a interação do campo acústico sobre o escoamento não pode ser capturada. Por isso, esta abordagem tem sido limitada a situações em que os efeitos de compressibilidade do escoamento são pequenos, ou seja, a baixos números de Mach ($Mach < 0,3$).

Considerando a abordagem híbrida, a etapa de propagação do ruído acústico pode ser modelada utilizando as equações de Euler linearizadas (LEE). As LEE tem sido bastante utilizadas como modelo para propagação acústica porque são naturalmente eficientes para transportar perturbações de pequena amplitude. Além disso, fornecem resultados detalhados da interação de ondas acústicas com superfícies sólidas e dos efeitos de refração causados pela presença do escoamento.

A correta descrição do campo acústico por meio das LEE só é possível se esquemas numéricos de alta ordem e otimizados forem utilizados, Tam e Webb (1993), Bogey e Bailly (2004), Hu *et al.* (1996) e Berland *et al.* (2006). Além disso, condições de contorno apropriadas devem ser utilizadas no domínio computacional para evitar que ondas acústicas espúrias sofram reflexão para o interior do domínio de cálculo, sejam amplificadas, e possam degradar toda a solução numérica desejada. Neste trabalho as condições de contorno não-reflexivas de Tam e Dong (1994) foram utilizadas.

As equações de Euler linearizadas, sem termos fonte, podem ser escritas na forma

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

em que

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \rho \\ u \\ v \\ p \end{bmatrix}, \quad \mathbf{E} = \begin{bmatrix} \rho_{\infty} u + u_{\infty} \rho \\ u_{\infty} u + p / \rho_{\infty} \\ u_{\infty} v \\ u_{\infty} p + \gamma p_{\infty} u \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} v_{\infty} \rho \\ 0 \\ p / \rho_{\infty} \\ \gamma p_{\infty} v \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Com o objetivo de verificar a capacidade do código desenvolvido em simular corretamente a propagação de ondas acústicas, vários testes foram conduzidos e os resultados são apresentados a seguir. Todos os casos são resultados de simulações obtidas a partir da propagação de um pulso acústico 2-D sobre diferentes obstáculos retangulares.

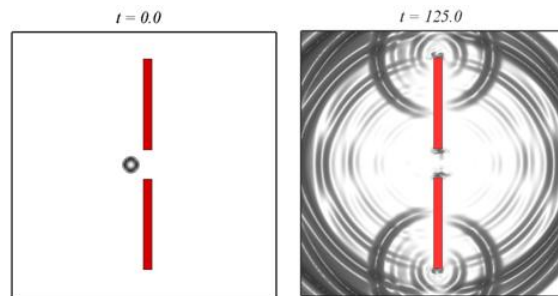


Figura 1: Propagação de um pulso acústico 2-D sobre uma fenda.

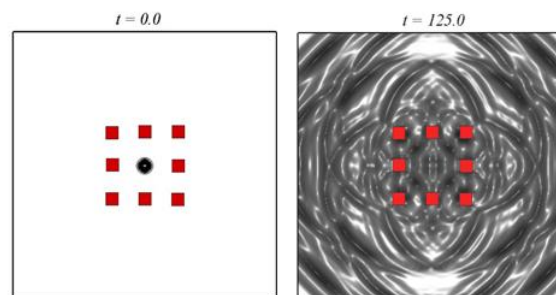


Figura 2: Propagação de um pulso acústico 2-D sobre vários objetos imersos.

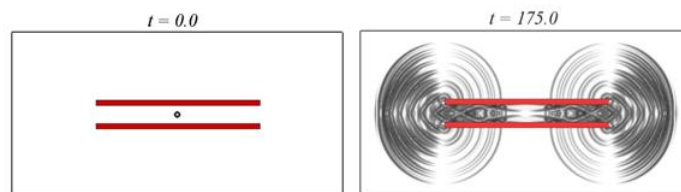


Figura 3: Propagação de um pulso acústico 2-D confinado entre duas placas planas.

Os resultados mostram que o código desenvolvido é capaz de bem a propagação de um pulso acústico 2-D sobre diferentes obstáculos, com detalhado padrão de reflexão e difração. Este código será acoplado a um código de CFD para modelar a propagação acústica de um escoamento incompressível usando a abordagem híbrida.

É importante registrar aqui que este trabalho é um dos capítulos da tese de doutorado em andamento intitulada **“Uma Contribuição à Previsão Numérica do Ruído Acústico Gerado por Escoamento Incompressíveis sobre Cavidades Abertas e Corpos Imersos”**.

REFERÊNCIAS

- C. Bogey and C. Bailly, “A family of low dispersive and low dissipative explicit schemes for flow and noise computations”, J. Comput. Phys., 194, pp. 194-214, 2004.
- C. K. W. Tam and J. C. Webb, “Dispersion-relation-preserving finite difference schemes for computational acoustics”, J. Comput. Phys., 107, pp. 262-281, 1993.
- F. Q. Hu, M. Y. Hussaini and J. L. Manthey, “Low-dissipation and low-dispersion Runge-Kutta schemes for computational acoustics”. J. Comput. Phys., 124, first page 177, 1996.
- J. Berland, C. Bogey and C. Bailly, “Low-dissipation and low-dispersion fourth-order Runge-Kutta algorithm”. Comput. Fluids, 35, pp. 1459-1463, 2006.
- C. K. W. Tam and Z. Dong, “Radiation and outflow boundary conditions for direct computation of acoustic and flow disturbances in a nonuniform mean flow”. J. Comput. Acoust., 4, pp. 175-201.