

Aplicação de Métodos Numéricos de Alta Resolução Para a Solução de Escoamentos Compressíveis com Interação Choque-Turbulência

Brener L. O. Ramos*, William R. Wolf

Resumo

Métodos numéricos compactos que fazem uso de uma viscosidade artificial e métodos designados para captura de choque mesclados com interpolações WENO foram implementados e aplicados em problemas de escoamentos compressíveis. Tais problemas envolvem tanto gradientes elevados de propriedades, apresentados na forma de ondas de choque e superfícies de contato, quanto em estruturas suaves com diversas escalas espaciais e de frequência, comuns em escoamentos turbulentos.

Palavras-chave:

interação choque-turbulência, weno, hyperviscosity

Introdução

Escoamentos compressíveis de alta velocidade apresentam gradientes elevados de propriedades que surgem na forma de ondas de choque e superfícies de contato. Ao mesmo tempo, esses escoamentos são usualmente turbulentos e, portanto, ocorre a interação entre estruturas turbulentas e ondas de choque. Esse problema é comum em problemas de camadas-limite supersônicas que se desenvolvem sobre asas de aeronaves ou em bocais de foguetes.

Dessa maneira, o presente projeto de pesquisa aborda o estudo de métodos numéricos de alta resolução e suas aplicações em problemas que representam os mecanismos físicos descritos anteriormente. As equações de Euler, as quais representam conservação de massa, quantidade de movimento e energia, foram resolvidas com condições iniciais e de contorno representativas de problemas com interação choque-turbulência. Os métodos numéricos implementados foram um método compacto com viscosidade artificial ($O(\Delta x^{10})$) e um método de separação de diferenças de fluxos de Roe com uma interpolação WENO ($O(\Delta x^5)$), todos a partir de diferenças finitas. A marcha no tempo foi realizada com um esquema Runge-Kutta TVD de terceira ordem.

Resultados e Discussão

Abaixo se encontram as soluções para o tubo de choque de Sod. É possível perceber que o método Compacto não captura tão bem a região no final da zona de expansão nem a superfície de contato. Já o choque é bem capturado por ambos os métodos.

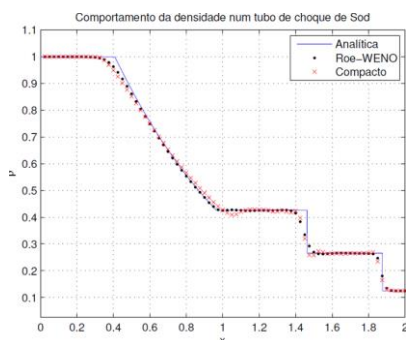


Figura 1: Resultados para o tubo de choque de Sod.

Já para o problema de Shu-Osher, os resultados foram semelhantes, com exceção que no método

Compacto existe um “startup error” que contamina uma pequena parte da solução.

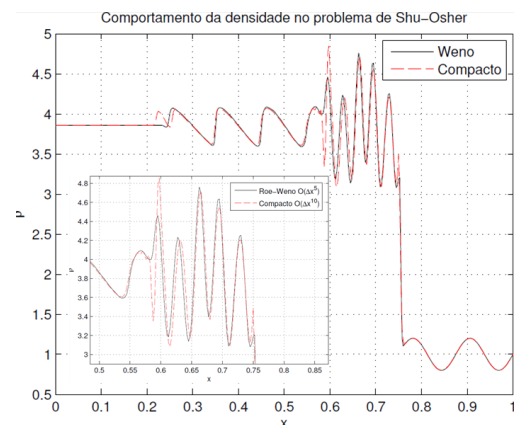


Figura 2. Resultados para o problema de Shu-Osher.

Conclusões

O método compacto com viscosidade artificial se mostrou mais barato computacionalmente, além de conseguir capturar oscilações em malhas menos refinadas devido a sua alta ordem. No entanto, em descontinuidades como superfícies de contato, é possível observar oscilações não-físicas. O mesmo ocorre numa pequena região para o problema de Shu-Osher e ambos são causados pela falta de um termo dissipativo no fluxo da quantidade de movimento. Já o Roe-Weno se mostra um procedimento de custo computacional maior e apresenta bons resultados em todas as condições iniciais usadas desde que houvesse um refinamento mínimo de malha. Além disso o critério de CFL para o método Compacto se mostrou mais sensível do que para o Roe-Weno.

Agradecimentos

Agradeço ao PIBIC pela bolsa concedida e ao meu orientador William. R. Wolf. Também agradeço ao suporte de todos do CFD Lab e da minha família.

¹ Cook, A. W.; Cabot, W. H., Hyperviscosity for shock-turbulence interactions, *J. Comput. Phys.* **2005**, 203.

² S.K. Lele, Compact finite difference schemes with spectral-like resolution, *J. Comput. Phys.* **1992**, 103.

³ Shu, C. W.; Osher, S. J., Efficient implementation of essentially nonoscillatory shock capturing schemes, *J. comput. Phys.* **1996**, 126.