

Desenvolvimento de um Código Euler para Escoamento Compressível em Regimes Sônico e Supersônico

Henrique L. Gonçalves¹ ; Sávio S. V. Vianna²

¹Aluno de Graduação da Faculdade de Engenharia Química - Unicamp - henri.luizgoncalves@gmail.com

²Docente da Faculdade de Engenharia Química - Unicamp - savio@feq.unicamp.br

Palavras-chave: escoamento compressível, CFD, detonação.

Introdução

A simulação de escoamentos é uma área de estudo de enorme relevância na Engenharia Química, e a segurança de processos químicos sempre é um aspecto de preocupação, principalmente no que diz respeito a incêndios e explosões. Em ambos os casos, a correta modelagem do fenômeno depende fortemente do escoamento turbulento e da taxa de mistura em nível molecular. Dentro deste contexto, o presente trabalho apresenta os resultados de uma ferramenta computacional desenvolvida para modelagem de escoamentos em velocidades supersônicas.

O programa é baseado na equação de Euler, no qual são resolvidas conjuntamente as equações da continuidade e energia, utilizando o método de Lax Friedrichs e amortecendo as instabilidades devido às diferenças centrais através da técnica de viscosidade artificial. O método dos volumes finitos é aplicado em uma modelagem bidimensional e as equações são integradas via Runge Kutta de quarta ordem, com o processo de geração de malha tendo sido desenvolvido de forma automatizada, produzindo uma malha retangular.

Objetivo

Desenvolver uma ferramenta computacional, utilizando linguagem Fortran, para estudos de explosão em regime de detonação.

- Software gratuito.
- Geração de tecnologia nacional.
- Ferramenta que pode ser utilizada em cursos de graduação, pós-graduação e treinamento em mecânica dos fluidos computacional.

Metodologia

- Escoamento isentálpico com variação de massa específica.
- Programa explícito no tempo, realizando iterações
- Utilizou-se o programa ParaView para visualizar os resultados, que foram escritos no formato vtk (Visualisation ToolKit).
- Discretização das equações utilizando um método de diferenças centrais.

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) u + \nabla p = \rho g$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot (u(E + p)) = \rho g$$

Figura 1 – Modelagem do problema

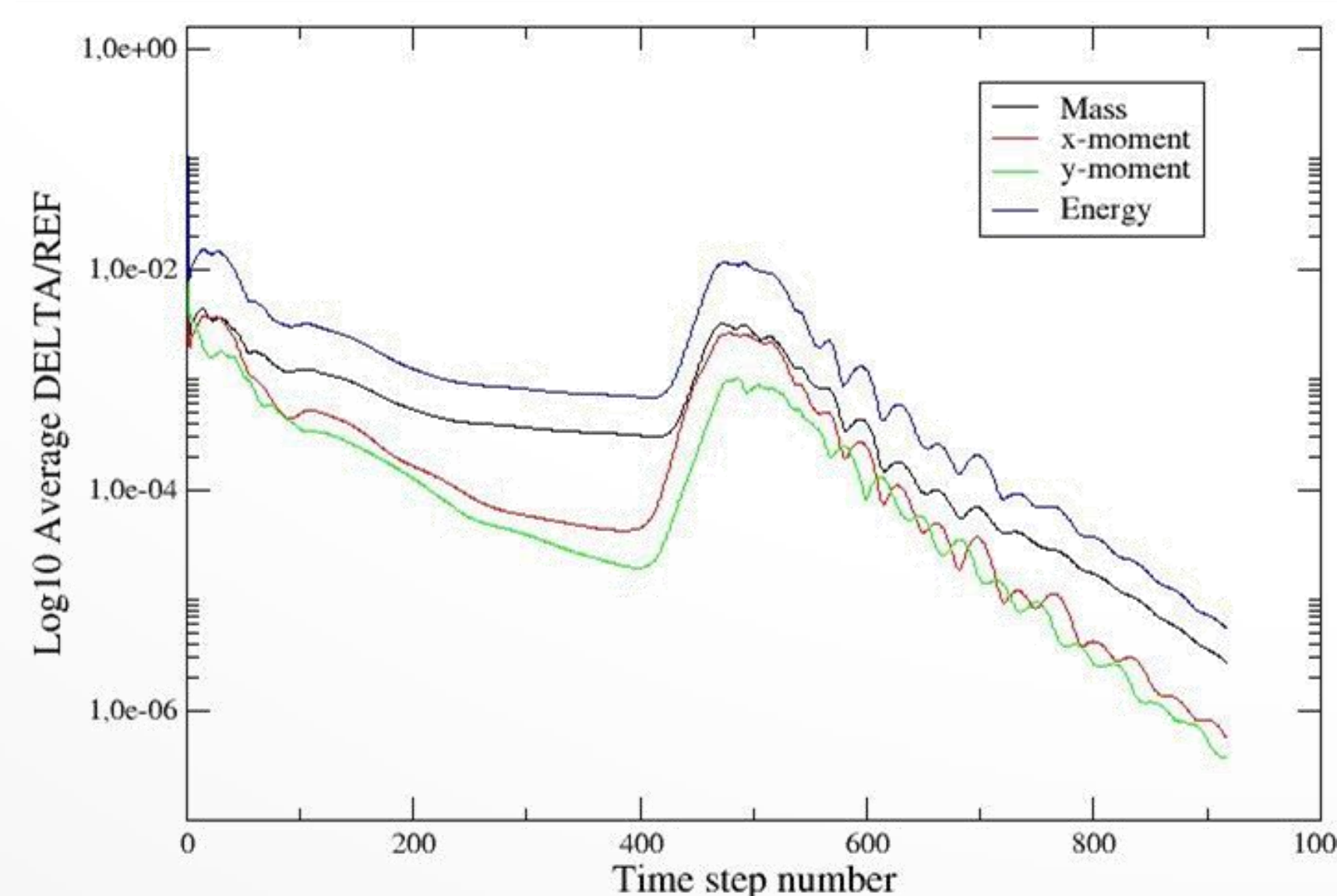


Figura 2 – Gráfico relacionando as iterações com seu respectivo erro

Resultados e Discussão

Geometria com estrangulamento na zona central do duto

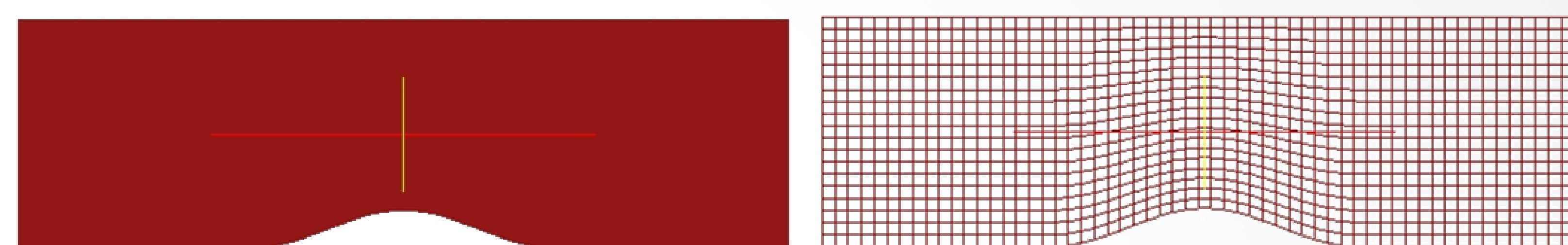


Figura 3 – Geometria e malha

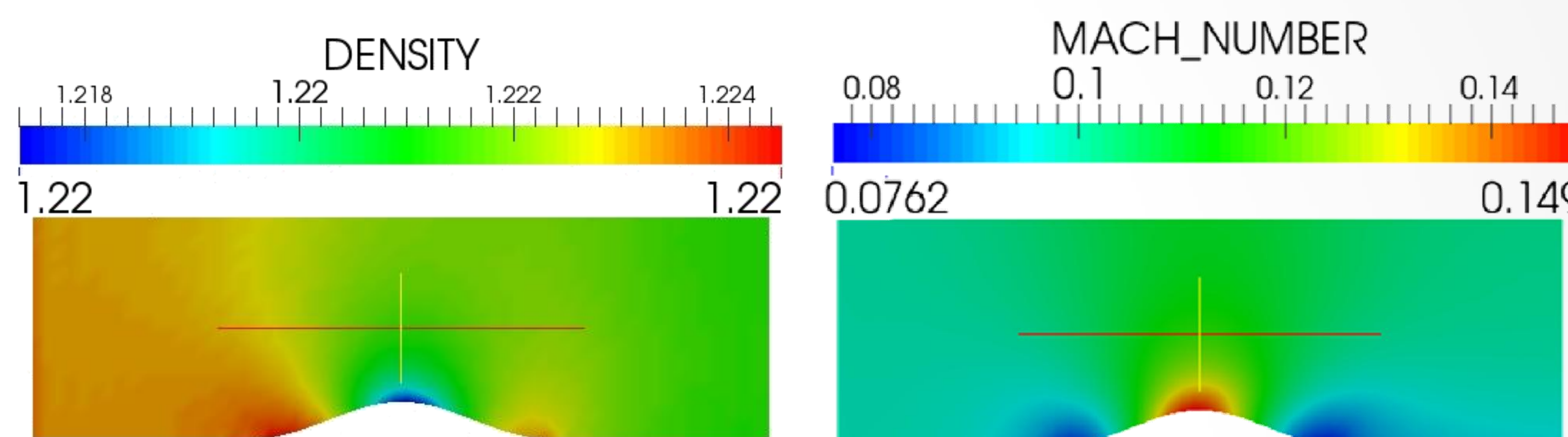


Figura 4 – Caso subsônico. A variação da densidade é desprezível, como esperado de escoamentos que podem ser considerados incompressíveis

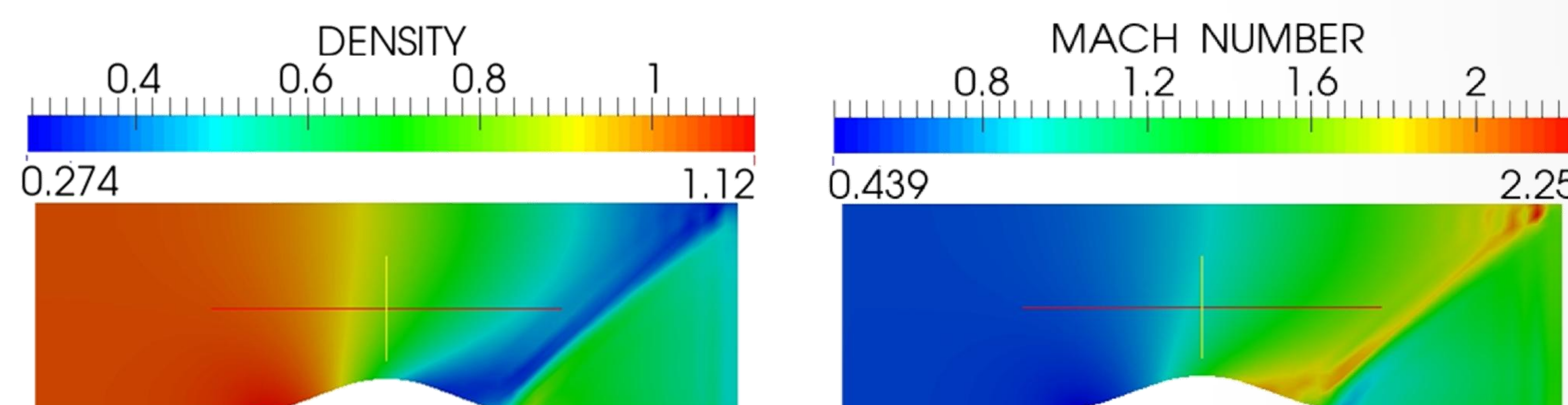


Figura 5 – Caso supersônico, observa-se zonas de descontinuidade

Ondas de choque

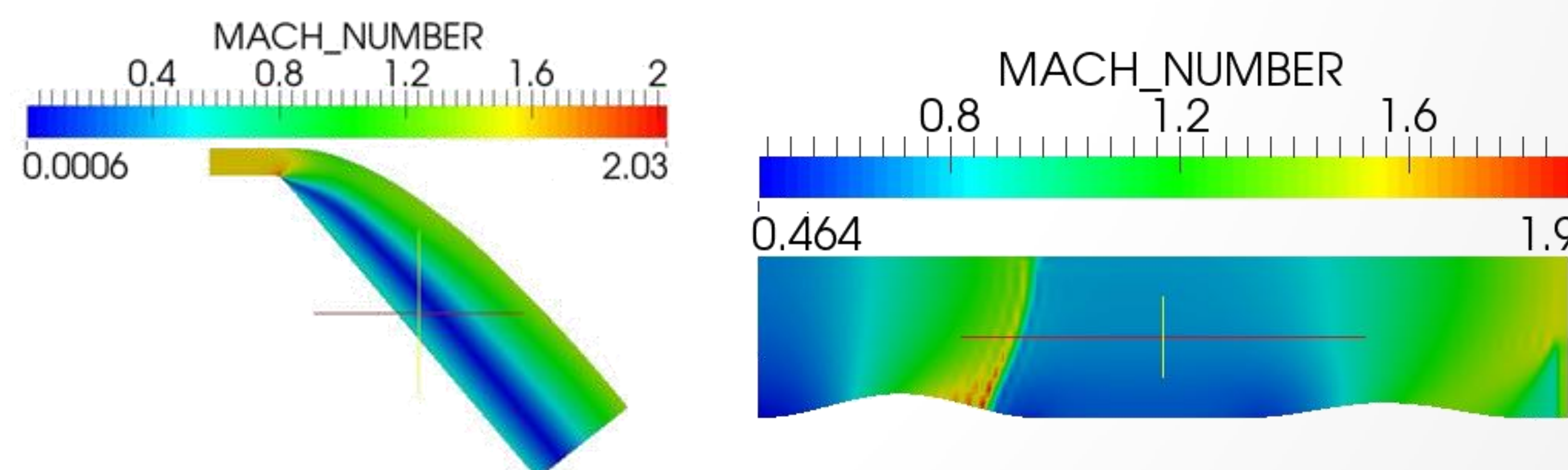


Figura 6 – Casos em que a onda de choque foi observada

Conclusão e Comentários finais

Até o momento foi desenvolvida uma ferramenta nacional aberta para escoamento de fluidos em regimes sônico e supersônico, com todo seu pós-processamento no formato vtk. Em seu atual estado pode ser utilizada para estudos aerodinâmicos, como em carros de corrida e asas de avião, ou em aplicações de CFD, como em equipamentos, tubulações, medidores e operações unitárias.

A próxima etapa do trabalho será contemplar reações de combustão, para modelar os casos de detonação, bem como a adição da terceira dimensão às geometrias.