

**Título em Português:** ESTUDO DE FLUXO DE FLUIDOS EM MEIOS POROSOS DIGITAIS UTILIZANDO TÉCNICAS FÍSICO-COMPUTACIONAIS

**Título em Inglês:** FLUID FLOW STUDY IN DIGITAL POROUS MEDIA USING COMPUTATIONAL-PHYSICS TECHNIQUES

**Autor:** Davi Gonçalves Sellin

**Instituição:** Universidade de São Paulo

**Unidade:** Instituto de Física de São Carlos

**Orientador:** Arthur Gustavo de Araujo Ferreira

**Área de Pesquisa / SubÁrea:** Física da Matéria Condensada

**Agência Financiadora:** CNPq - PIBIC

## ESTUDO DE FLUXO DE FLUIDOS EM MEIOS POROSOS DIGITAIS UTILIZANDO TÉCNICAS FÍSICO-COMPUTACIONAIS

**Davi Gonçalves Sellin**

**Dr. Arthur Gustavo de Araujo Ferreira**

Instituto de Física de São Carlos/Universidade de São Paulo

sellin\_ifsc@usp.br

### Objetivos

O projeto de iniciação científica descrito neste documento tem como intuito de aliar os estudos desempenhados no âmbito da fluidodinâmica a ferramentas de cunho computacional, explorando os limites do conhecimento no campo da dinâmica de fluidos computacional. Pretende-se expor resultados de escoamentos estudados e também evidenciar como as conclusões associadas possuem significativa importância no estudo de fluxo de fluidos simulados em meios porosos digitais, influenciando direta ou indiretamente no desenvolvimento de possíveis novas técnicas de recuperação de recursos naturais armazenados em rochas das mais diversas natureza, tais como petróleo e gás natural.

### Métodos e Procedimentos

Visando a consolidação da temática proposta pelo projeto, além de toda base teórica em fluidodinâmica direcionada não somente ao entendimento da natureza de um fluido e os estados da matéria os quais esse é passível de assumir, mas também à compreensão dos tipos de comportamento que um escoamento pode assumir [1], lançou-se mão de algoritmos computacionais oferecidos pelo software open-source OpenFOAM. Este consiste em um programa escrito na linguagem C++ operado no terminal do Ubuntu/Linux projetado para lidar com problemas de qualquer natureza que envolvam a solução de equações de campo, expandindo seu escopo para além da dinâmica de fluidos computacional, como por exemplo

eletromagnetismo e até mesmo casos que envolvam a modelagem de eventos relacionados ao mercado financeiro. Essencialmente, empregou-se dois tipos de algoritmos em todos os casos estudados: SnappyHexMesh e simpleFoam [2]. O primeiro foi utilizado para a geração do ambiente virtual no qual o escoamento em questão seria simulado, enquanto o propósito do segundo foi, efetivamente, realizar a simulação do fluxo analisado resolvendo a forma geral da equação de conservação para cada um dos pontos contidos na malha associada, contanto que o fluido tratado seja incompressível e esteja em regime estacionário. Por fim, em virtude da ausência de uma interface gráfica vinculada ao OpenFOAM, a visualização dos fluxos estudados se deu através do software open-source Paraview.



Figura 1: Logos dos softwares utilizados ao longo deste projeto. À esquerda, *OpenFOAM*; à direita, *Paraview*.

### Resultados

Como o foco do projeto foi simular escoamentos que se aproximassem das condições físico-químicas proporcionadas por meios porosos, foram geradas uma série de resultados com uma mesma temática em comum: analisar como um determinado

escoamento se comporta quando o meio pelo qual escoa possui um objeto de natureza obstrutiva. Dentre os principais resultados obtidos, é válido ressaltar e discutir dois exemplos: primeiro, quando o escoamento em questão é obstruído por um objeto de seção transversal **quadrada** constante e, segundo, quando, sob as mesmas condições anteriores, a seção transversal possui geometria alterada para **circular** constante.

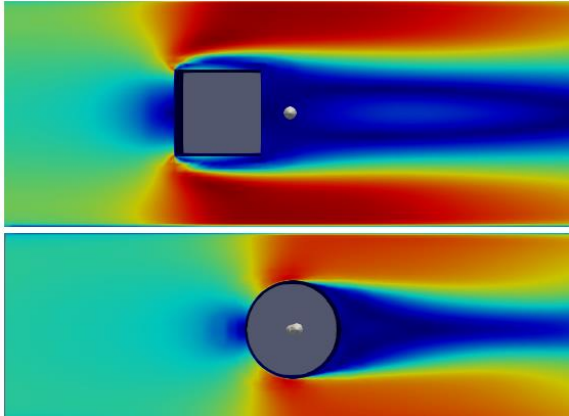


Figura 2: Ilustração do comportamento esboçado pelo módulo da velocidade assumida pelo fluido ao longo da malha dos casos estudados; cores quentes indicam velocidades mais elevadas ao passo que quanto mais fria a cor, mais próximo de zero é a velocidade.

Discutindo os resultados obtidos, é possível observar que o modelo de seção transversal circular constante implica menos arrasto do que aquele contendo seção transversal quadrada constante, reduzindo o surgimento de vórtices na região posterior aos modelos, fenômeno que caracteriza comportamento turbulento.

Em adição, visando explorar a extensão das análises oferecidas pela aplicação dos algoritmos computacionais empregados, confeccionou-se, semelhantemente aos casos acima, análises de escoamentos ao redor de modelos geométricos mais complexos, como visto na Figura 3.

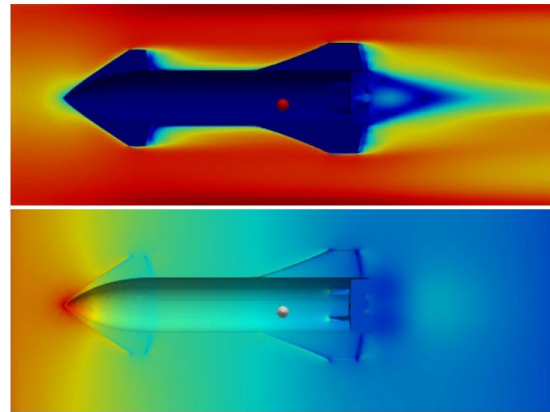


Figura 3: Ilustração do comportamento esboçado pelo módulo tanto pelo módulo da velocidade quanto pela pressão ao longo do ambiente virtual simulado. Como modelo geométrico de interesse, foi selecionado uma réplica da espaçonave *Starship* projetada pela empresa privada norte-americana atuante no setor aeroespacial *SpaceX*.

## Conclusões

Em suma, é possível afirmar que todos os resultados obtidos estão em concomitância com os fundamentos teóricos abordados pelo autor deste projeto. As ferramentas computacionais empregadas atuaram de maneira excepcional, confeccionando imagens que permitiram um entendimento mais interativo dos efeitos da fluidodinâmica na vida cotidiana. Além disso será possível gerar malhas que correspondem a espaços porosos comumente estudados experimentalmente, como aqueles criados pelo empacotamento de esferas de vidro e comparar experimento e simulação.

## Referências Bibliográficas

- [1] SEARS, F.; YOUNG, H. D.; ZEMANSKY, . W. Física II. 12. Ed.; São Paulo: PEARSON, 1976.
- [2] OpenFOAM; OpenFOAM: Manual Pages; Disponível em: <<https://www.openfoam.com/documentation/guides/latest/man/index.html>>; Acesso em: 7 de set. de 2022.

# FLUID FLOW STUDY IN DIGITAL POROUS MEDIA USING COMPUTATIONAL-PHYSICS TECHNIQUES

**Davi Gonçalves Sellin**

**Dr. Arthur Gustavo de Araujo Ferreira**

São Carlos Institute of Physics/University of São Paulo

sellin\_ifsc@usp.br

## Objectives

The scientific initiation project described in this document aims to combine studies carried out in fluid dynamics with computational tools, exploring the frontiers of knowledge in the field of computational fluid dynamics. It is intended to expose the results of the flows studied and also to show how the associated conclusions have significant importance in the study of simulated fluid flow in digital porous media, directly or indirectly influencing the development of possible new techniques for recovering natural resources stored in rocks, such as oil and natural gas.

## Materials and Methods

Aiming at consolidating the theme proposed by the project, in addition to all theoretical basis in fluid dynamics directed not only to understanding the nature of a fluid and the states of matter which it is likely to assume but also the types of behaviors of its flow [1], we used computational algorithms offered by the open-source software OpenFOAM. It consists of a program written in the C++ language operated in the Ubuntu/Linux terminal developed to deal with problems of any nature that involve the solution of field equations, expanding its scope beyond computational fluid dynamics, such as electromagnetism and even cases involving the modeling of events related to the financial market. Essentially, two algorithms were used in all cases studied: SnappyHexMesh and simpleFoam [2]. The first was used to generate the virtual environment in which the flow in question would be simulated. The purpose of the second one was to

effectively perform the analyzed flow simulation by solving the general form of the conservation equation for each of the points contained in the associated mesh, as long as the treated fluid is incompressible and in a steady state. Finally, due to the absence of a graphical interface linked to OpenFOAM, the visualization of the studied flows took place through the open-source software Paraview.



Figure 1: Logos of the software used throughout this project. On the left, OpenFOAM; on the right, Paraview.

## Results

As the project's focus was to simulate flows that approached the physical-chemical conditions in porous media, a series of results were generated with a common theme: to analyze how a given flow behaves when flowing through media with obstructions. Among the main results obtained, it is worth mentioning and discussing two examples: first, when the flow in question is obstructed by an object of square cross-section and, second, when, under the same previous conditions, the cross-section is changed to a circle.

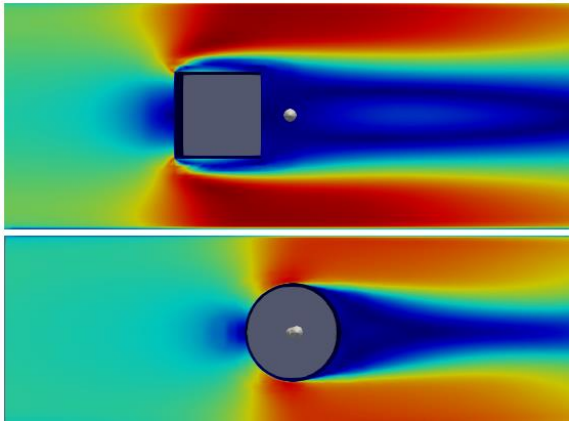


Figure 2: Illustration of the behavior outlined by the velocity module assumed by the fluid along the mesh of the cases studied; Warmer colors indicate higher speeds whereas the cooler the color, the closer the speed is to zero.

By analyzing the results obtained, it is possible to observe that the model with a constant circular cross-section implies less drag than the one with a constant square cross-section, reducing the appearance of vortices in the region posterior to the obstruction, a phenomenon that characterizes turbulent behavior.

In addition, to explore the extent of the analysis offered by the application of the computational algorithms, studies of flows around more complex geometric models were made, similarly to the cases above, as seen in Figure 3.

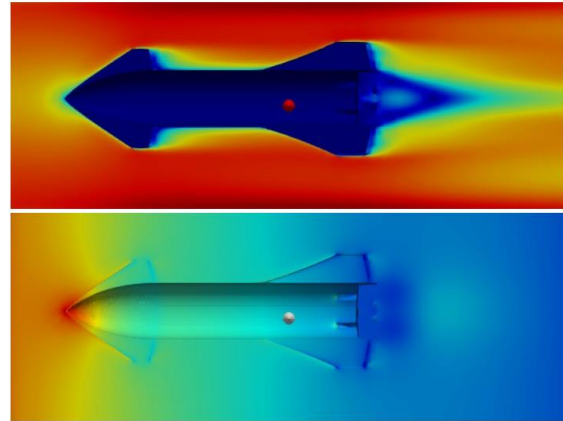


Figure 3: Illustration of the behavior outlined by the velocity and pressure module along the simulated virtual environment. As a geometric model of interest, a replica of the Starship spacecraft was selected, designed by the US private company operating in the aerospace sector SpaceX.

## Conclusions

In short, it is possible to affirm that all the results obtained are in concomitance with the theoretical foundations addressed by the author of this project. Furthermore, the computational tools employed performed exceptionally, creating images that allowed a more interactive understanding of the effects of fluid dynamics in everyday life. Furthermore, it will be possible to generate meshes corresponding to porous spaces commonly studied experimentally, such as those created by packing glass spheres, and compare experiment and simulation.

## References

- [1] SEARS, F.; YOUNG, H. D.; ZEMANSKY, . W. Física II. 12. Ed.; São Paulo: PEARSON, 1976.
- [2] OpenFOAM; OpenFOAM: Manual Pages; Available in: <<https://www.openfoam.com/documentation/guides/latest/man/index.html>>; Access in: September, 7, 2022.