

# Tópicos Especiais em Animação de Fluidos e Visualização Científica (GB 500)

Gilson Antonio Giraldi - gilson@lncc.br

Laboratório Nacional de Computação Científica-LNCC/MCTI

Mar 13th, 2019



# Tópicos do Curso

- 1 Introdução
- 2 Visualização Científica versus Animação de Fluidos
- 3 Aplicações
- 4 Fluxo de Dados
  - 1 Modelo da Cena
  - 2 Simulação de Fluidos
  - 3 Técnicas de Rendering
- 5 Representação de dados
  - 1 Representação Baseada em Malhas
  - 2 Representação Baseada em Pontos
- 6 Técnicas em Visualização Científica
  - 1 Visualização de Campos Escalares
    - 1 Extração de superfícies
    - 2 Volume Rendering
  - 2 Visualização de Campos Vetoriais e Tensoriais
    - 1 Linhas de Campo
    - 2 Topologias de Campo

## 7 Rendering foto-realista de fluidos

## 8 Animação Computacional de Fluidos

### 1 Modelagem do Ambiente (Cena)

### 2 Simulação de Fluidos via Equações de Navier-Stokes e SPH

### 3 Simulação de Fluidos via Método de Lattice Boltzmann

## 9 Avaliação

# Objetivo e Motivação

Visualização de dados científicos e geração de efeitos visuais via para animação de fluidos.

**Motivação: Onde queremos chegar?**



**Figura:** Gerada na Universidade de Freiburg. Ver Video01.

## Motivação: Onde estamos?

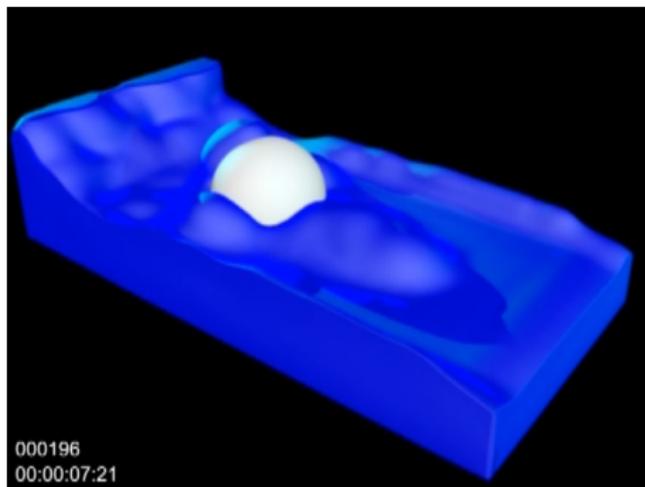
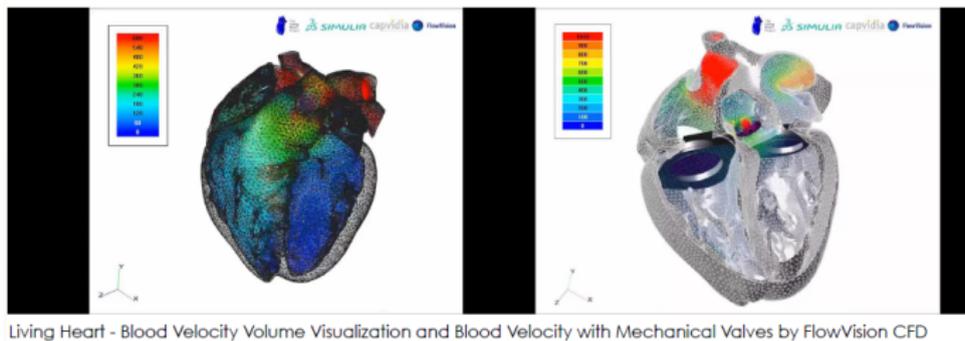


Figura: Web site: <http://visfluid.lncc.br/videos.html>. Ver Video02.

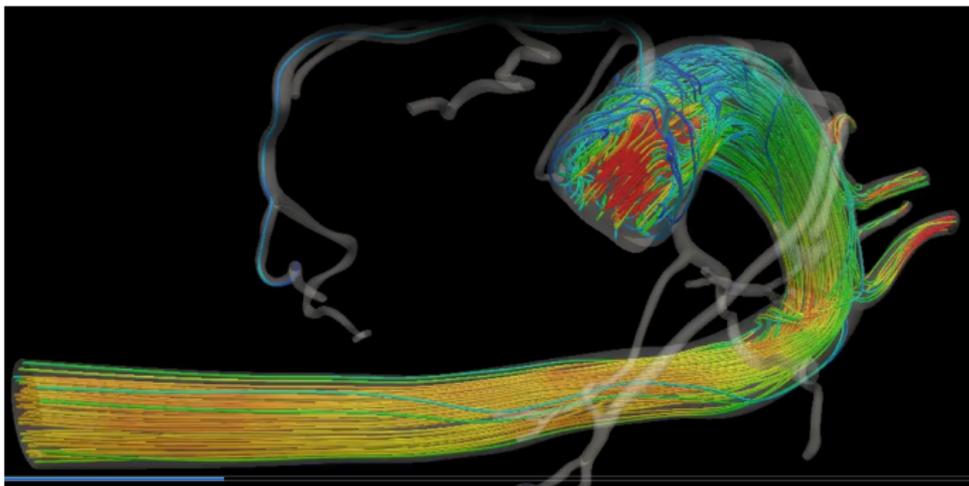
**Aplicações:** Análise e dados científicos, efeitos visuais para cinema, televisão, indústria de jogos eletrônicos, visualização científica e simuladores [Siggraph, 2015, Pixar, 2016]

## Aplicações: Visualização Científica em Medicina



**Figura:** Animação de campos escalares/vetoriais em hemodinâmica computacional. Ver Video03.

## Aplicações: Visualização Científica em Medicina



**Figura:** Animação de campos escalares/vetoriais em hemodinâmica para simuladores.

## Aplicações: Visualização Científica em Engenharia

- Engenharia



Computational Fluid Dynamics (CFD) lets engineers understand how fluids flow and interact with their surroundings.

Visualization Comparing Turbulent Vortex Shedding Between a Sphere and Golf Ball by BATTELLE CFD

Figura: Animação de campos escalares/vetoriais em engenharia.

## Aplicações: Efeitos visuais para Propagandas

- Comerciais



This is Fluid Viewing™ advertisement by Sky Q

**Figura:** Geração de efeitos visuais, via animação de fluidos, para propagandas e Cinema.

## Aplicações: Efeitos visuais para Jogos

- Jogos



water physics in games 4 by cr4zyw3ld3r

**Figura:** Geração de efeitos visuais, para jogos via animação de fluidos.

# Animação: Conferencias, Web Sites e Livros

- Siggraph 2016 [ACM, 2016]
- Sibgrapi 2016 [SBC, 2016]
- Pixar [Pixar, 2016]
- ACM Trans. on Graphics [Siggraph, 2015]
  - Livros:
    - The Art of Fluid Animation [Stam, 2015]
    - Fluid simulation for computer graphics [Bridson, 2008]
    - Fluid Frames: Experimental Animation with Sand, Clay, Paint, and Pixels [Parks, 2015]
    - Foundations of Physically Based Modeling and Animation [House and Keyser, 2016]
    - Physics-based Animation [Erleben et al., 2005]
    - Physically Based Rendering: From Theory To Implementation [Pharr and Humphreys, 2010]

## Animação: Softwares e Bibliotecas

- RenderMan [Pixar, 2017]
- POV-Ray [POV-Ray, 2017]
- Physics for Rendering [PBRT, 2016]
- Blender [Fundation, 2017, Motion, 2015]
- RealFlow [Limit, 2016]

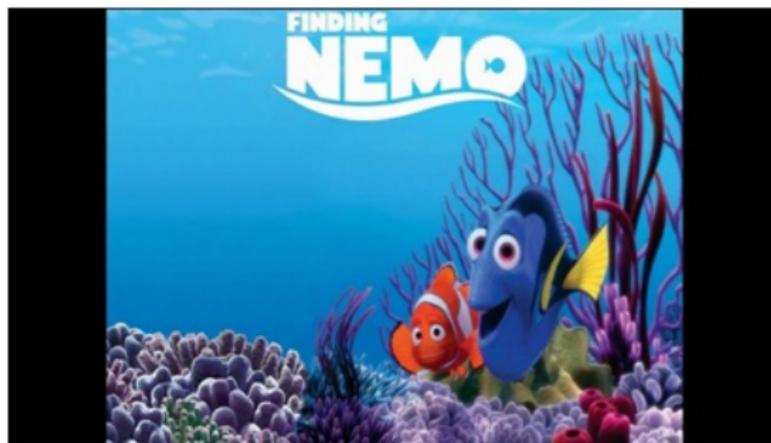


Figura: Pixar's PhotoRealistic RenderMan and 'Finding Nemo'.

(LNCC)

# Animação de Fluídos

## Fluxo de Dados em Animação de Fluídos

- Modelo Geométrico da Cena
- Modelo Físico de Fluidos
  - Equações de Navier-Stokes e Diferenças/Elementos Finitos
  - Método *Lattice-Boltzmann* (LBM)
  - Método *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH)
  - Outros.
- Modelos de iluminação (rendering)

# Modelagem da Cena

## Representação da geometria dos objetos

- Malhas poligonais e subdivisão espacial

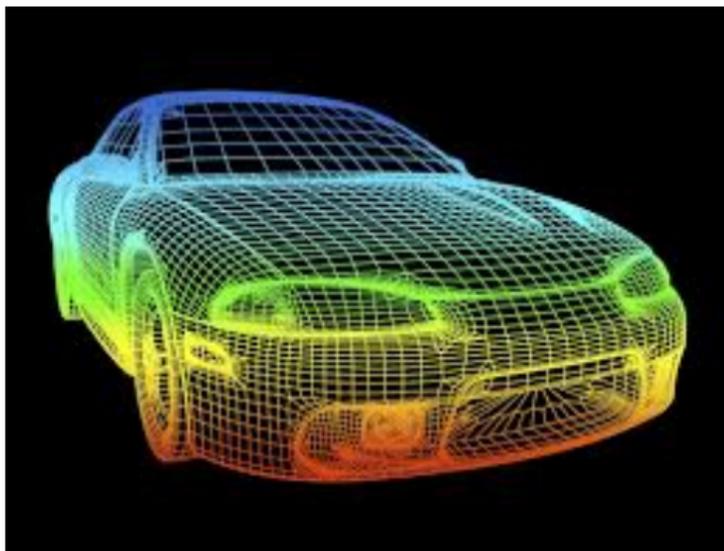


Figura: From <https://www.lifewire.com/>

## Representação da geometria dos objetos

- Nuvens de Pontos

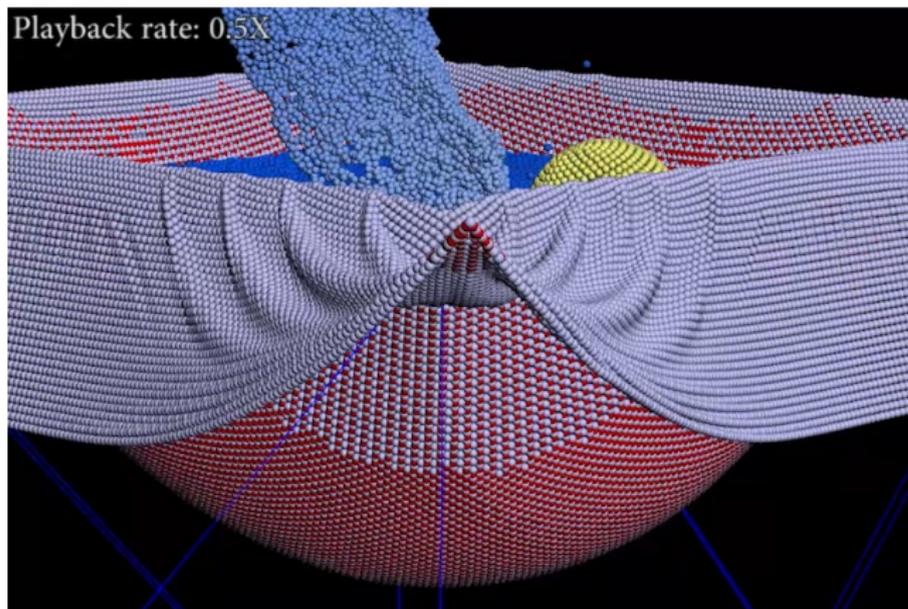


Figura: From Freiburg University. Ver Video01.

## Representação da geometria dos objetos

- Superfícies NURBS



Figura: From <https://www.behance.net/>.

# Modelos Físicos e Simulação de Fluidos

- Definição de domínio
- Interação com fronteira do dominio
- Interação com objetos da cena
- Modelo de fluido
- Inicialização do fluido
- Simulação do sistema
- Resultado: Campos escalares e/ou vetoriais



Figura: <https://youtu.be/6hiyYoKSXQ0>. Ver Video04.

# Convertendo dados em Imagens

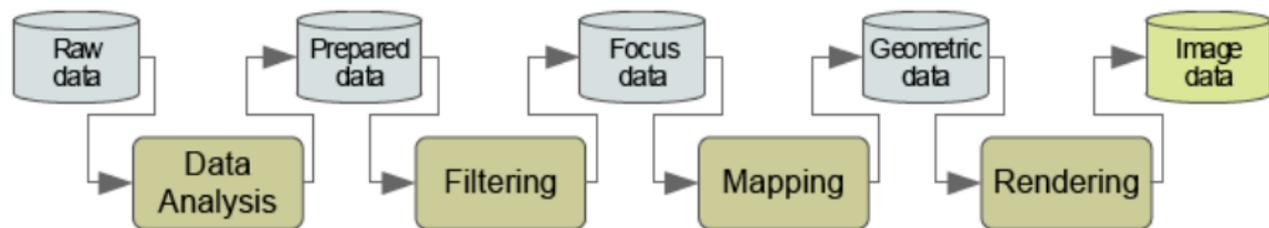


Figura: Pipeline genérico para geração de imagens a partir de dados numéricos.

## Breve Histórico

- Um trabalho pioneiro na área de animação de fluidos via DFC foi o de Foster-Metaxas (1997), usando diferenças finitas.
- Em 1999 Jos Stam propõe uma solução para o custo computacional elevado do método de Foster e Metaxas
- Patrick Witting considerou um modelo mais completo que os anteriores, onde o fluido (gás) é compressível e o modelo matemático envolve equações termodinâmicas.
- Trabalho de Müller et al. (2003) que usou o SPH com métodos com interação entre líquidos e sólidos.
- LBM para simulação de sistemas complexos [Chopard et al., 1998]

# Animação de Fluidos Baseada em Física

- Consiste em aplicar técnicas de dinâmica de fluidos computacional (DFC) computação gráfica na geração de efeitos visuais.
- O nível de realismo depende do tipo de animação.
- Área interdisciplinar.
- Envolve conceitos em Dinâmica de Fluidos, Rendering e Modelagem Geométrica.
- Desenvolvimento de aplicativos com interfaces gráficas convenientes, permitindo o uso dos recursos desenvolvidos por animadores e *designers*.
- Aplicações para simuladores em medicina

# Campos Escalares

$$s = f(x, y, z); \quad x, y, z \in \mathbb{R}$$

- Volume discretizado
  - voxels
- Amostragem
- Reconstrução

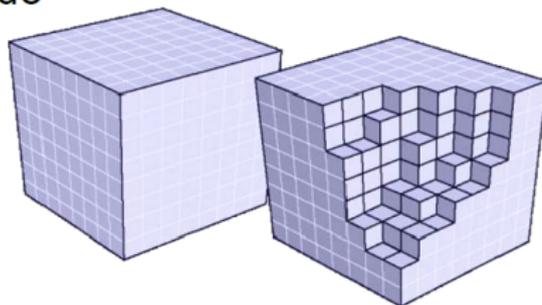


Figura: Conceitos fundamentais em campos escalares.

# Campos Vetoriais

- Campo Vetorial

$$X: I \times \Delta \rightarrow \mathfrak{R}^3$$

- Caso Estacionário

$$X: \Delta \rightarrow \mathfrak{R}^3$$

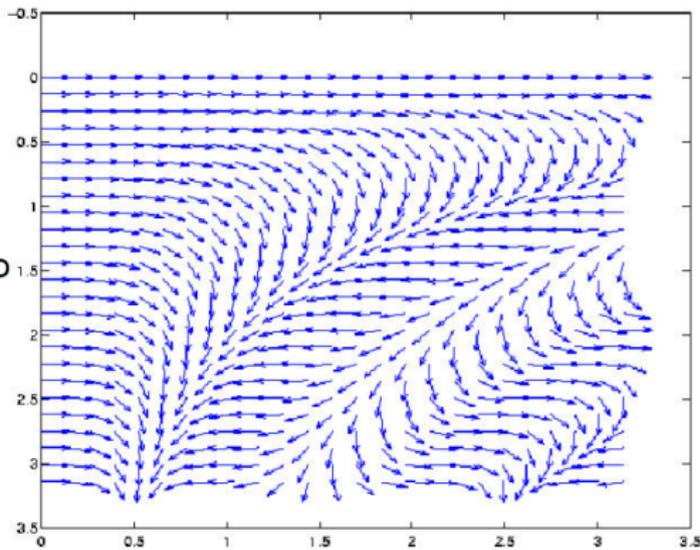
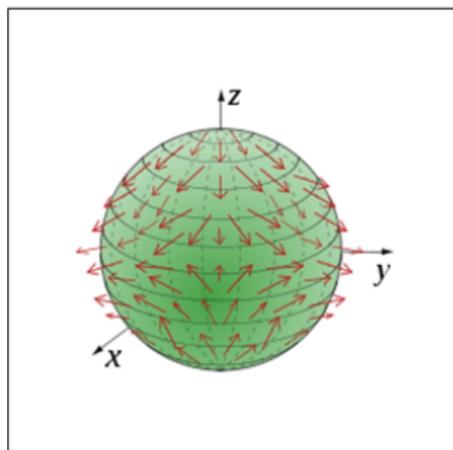


Figura: Conceitos fundamentais em campos vetoriais.

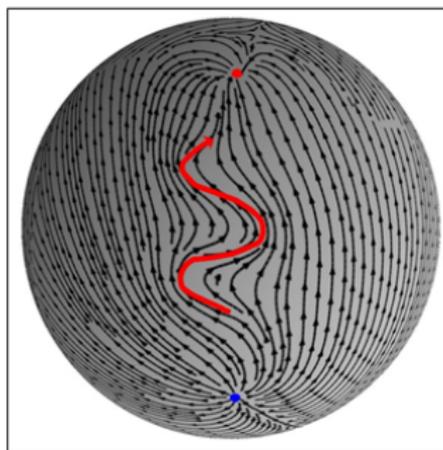
# Visualização de Campos Vetoriais

Vector Field



[en.wikipedia.org/wiki/Vector\\_field](http://en.wikipedia.org/wiki/Vector_field)

Integral Lines



[graphics.stanford.edu/wikis/cs348b-08/fisherfinal](http://graphics.stanford.edu/wikis/cs348b-08/fisherfinal)

Figura: Visualização de campos vetoriais [Rosenblum et al., 1994].

# Equações da Dinâmica de Fluidos

**Equações de Navier-Stokes:** Caso Escoamento incompressível:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta \mathbf{u} + \mathbf{f} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2)$$

**Onde:**

- $-\nabla p$  é o fluxo oriundo de regiões de alta pressão em direção à região de baixa pressão.
- $\nu \Delta \mathbf{u}$  é um termo dissipativo, com  $\nu = \mu/\rho$  sendo a viscosidade cinemática.

# Equações da Dinâmica de Fluidos

## Condições Iniciais e de contorno

$$\mathbf{v}(x, y, z, 0) = \mathbf{v}_0(x, y, z), \quad (3)$$

$$\mathbf{v}_{\partial\Omega} = g, \quad (4)$$

onde  $\partial\Omega$  denota a fronteira do domínio  $\Omega$  do fluido e  $g$  é uma função definida em  $\partial\Omega$ .

# Equações de Navier-Stokes (Formulação Lagrangiana)

## Equação da Continuidade

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (5)$$

## Equação do Momento

$$\frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}(\nabla p + \mu \Delta \mathbf{v} + \mathbf{F}), \quad (6)$$

onde  $\frac{D(\cdot)}{Dt}$  é chamado derivada material.

Para fluidos incompressíveis, temos  $\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$

# Metodologia de Trabalho

- Cada aluno define um projeto de trabalho
  - Implementação do método proposto
  - Geração de resultados
  - Elaboração de texto científico em formato de artigo
- Apresentação de seminarios
  - Seminário sobre o projetp
  - Seminários de acompanhamento

## Avaliação Discente

- Duas Provas (P1 e P2): Notas de 0.0 a 10.0

0.0 – 2.9 (E)

7.0 – 8.9 (B)

3.0 – 4.9 (D)

5.0 – 6.9 (C)

9.0 – 10.0 (A)

- Listas para casa e listas para a sala
- Média dos trabalhos (Listas, implementações, Seminários): MT
- Média Final = MT

Figura: Faixas das notas e respectivos conceitos.

-  ACM (2016).  
*Siggraph*.  
<http://s2016.siggraph.org/programs>.
-  Bridson, R. (2008).  
*Fluid simulation for computer graphics*.  
CRC Press, New York.
-  Chopard, B., Luthi, P., and Masselot, A. (1998).  
Cellular automata and lattice boltzmann techniques: An approach to  
model and simulate complex systems.  
In *Advances in Physics*.
-  Erleben, K., Sporring, J., Henriksen, K., and Dohlman, K. (2005).  
*Physics-based Animation (Graphics Series)*.  
Charles River Media, Inc., Rockland, MA, USA.
-  Foundation, B. (2017).  
*Blender: Free and Open Software*.  
<https://www.blender.org/>.

-  House, D. and Keyser, J. (2016).  
*Foundations of Physically Based Modeling and Animation.*  
CRC Press.
-  Limit, N. (2016).  
*RealFlow.*  
<http://www.realflow.com/>.
-  Motion, M. (2015).  
*Most Realistic Fluid Settings in Blender.*  
[https://www.youtube.com/watch?v=m-kDn3ODtZM&list=PLE\\_CMDJXhPQ5tuhHNVTsMXOq9VmkctM8r](https://www.youtube.com/watch?v=m-kDn3ODtZM&list=PLE_CMDJXhPQ5tuhHNVTsMXOq9VmkctM8r).
-  Parks, C. (2015).  
*Fluid Frames: Experimental Animation with Sand, Clay, Paint, and Pixels.*  
Taylor & Francis.
-  PBRT (2016).  
*Physics Models for Rendering.*

<http://www.pbrt.org/>.



Pharr, M. and Humphreys, G. (2010).

*Physically Based Rendering, Second Edition: From Theory To Implementation.*

Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2nd edition.



Pixar (2016).

*Pixar On-Line Library.*

<http://graphics.pixar.com/library/>.



Pixar (2017).

*RenderMan.*

<https://rmanwiki.pixar.com/display/REN/RenderMan>.



POV-Ray (2017).

*Persistence of Vision Raytracer.*

<http://www.povray.org/>.

-  Rosenblum, L., Earnshaw, R., Encarnacao, J., Hagen, H., Kaufman, A., Klimenko, S., Nielson, G., Post, F., and Thalmann, D. (1994). *Scientific Visualization: Advances and Challenges*. Academic Press.
-  SBC (2016). *Sibgrapi 2016*. <http://gibis.unifesp.br/sibgrapi16/>.
-  Siggraph (2015). *ACM Trans. Graph.*, 34(4).
-  Stam, J. (2015). *The Art of Fluid Animation*. CRC Press.