



# *Visualização Científica*

Roberto de **Beauclair** Seixas

# *Visualização Científica*

---

- Introdução
- Estrutura dos dados
- Armazenamento
- Aplicações
- Modelos
- Técnicas

# Introdução

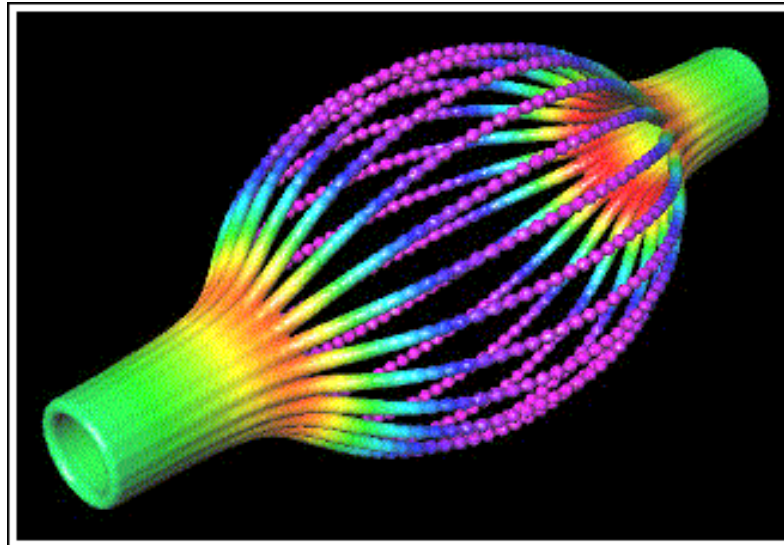
A primeira definição de Visualização Científica surgiu em 1987 no relatório “*Visualization in Scientific Computing*”, como uma forma de comunicação que transcende as aplicações e os limites tecnológicos.

Também nesta época, o termo foi usado para sensibilizar a *National Science Foundation* para a importância do uso de métodos de computação gráfica associado às simulações com supercomputadores.

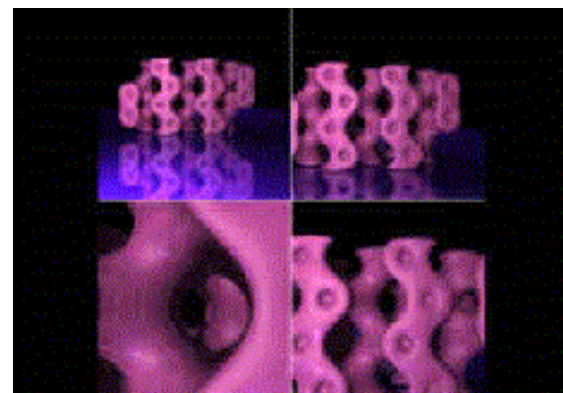
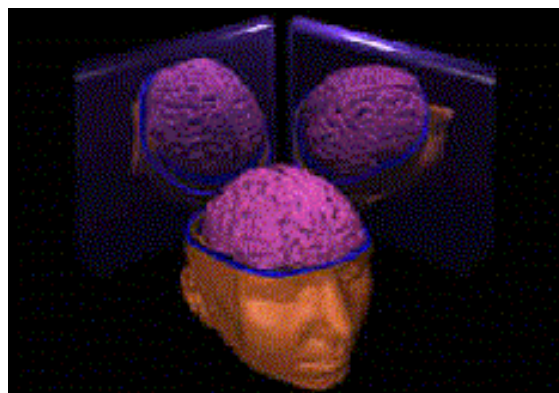
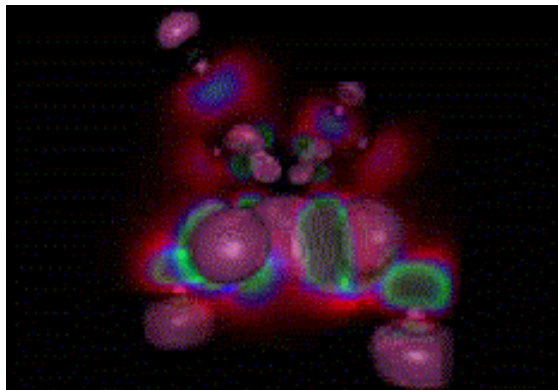
# *Visualização Volumétrica*

- É o conjunto de técnicas utilizadas na visualização de dados científicos associados a regiões de um volume, tendo como principal objetivo a exibição do interior de objetos volumétricos, a fim de explorar sua estrutura e facilitar sua compreensão.
- É o processo de projeção de um conjunto de dados multidimensionais em um plano de visualização bi-dimensional, com o objetivo de se obter um melhor entendimento da estrutura, ou falta de estrutura, contida nos dados volumétricos.

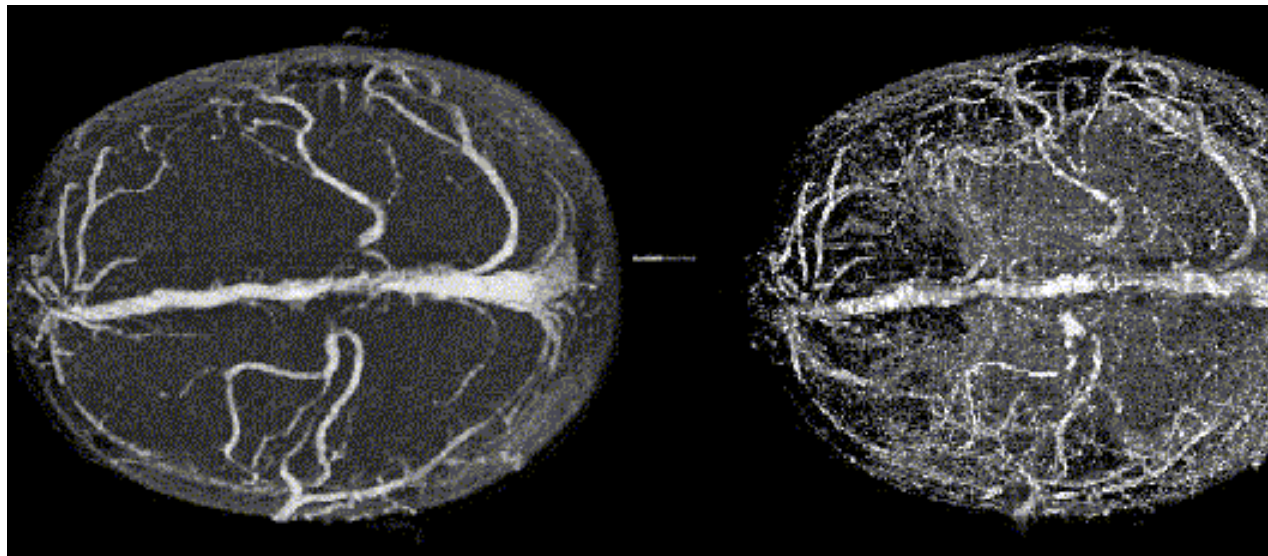
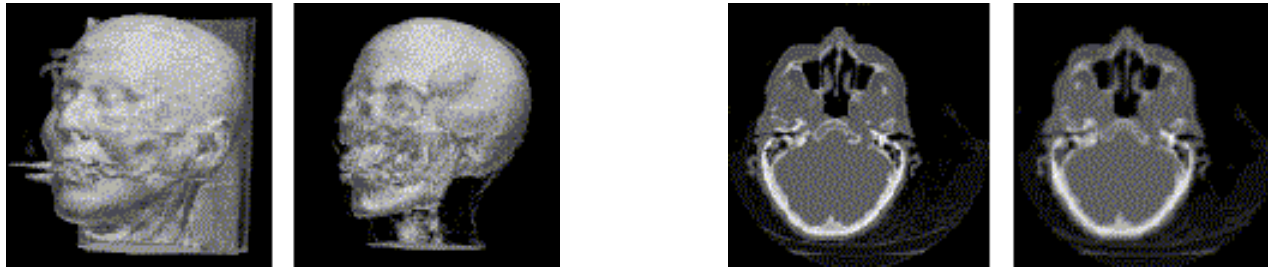
# *Visualização Volumétrica*



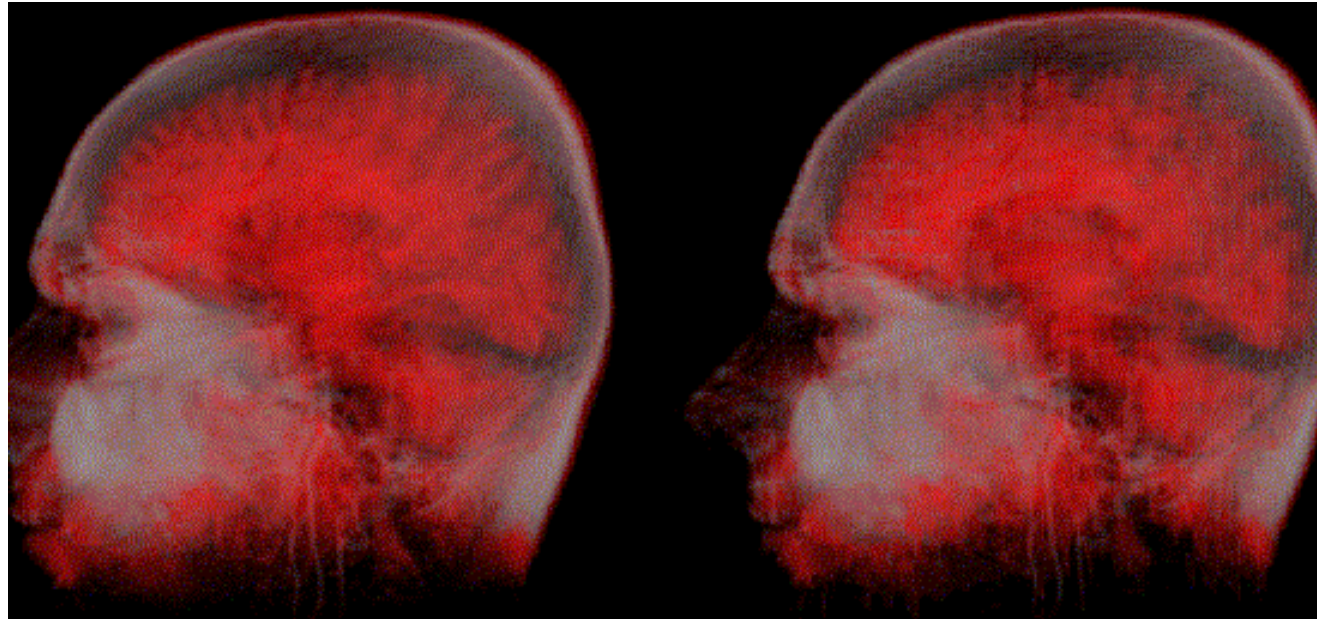
# *Visualização Volumétrica*



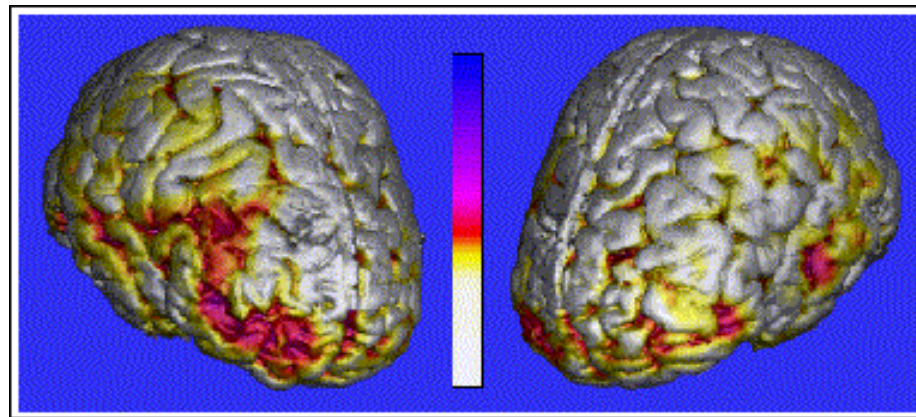
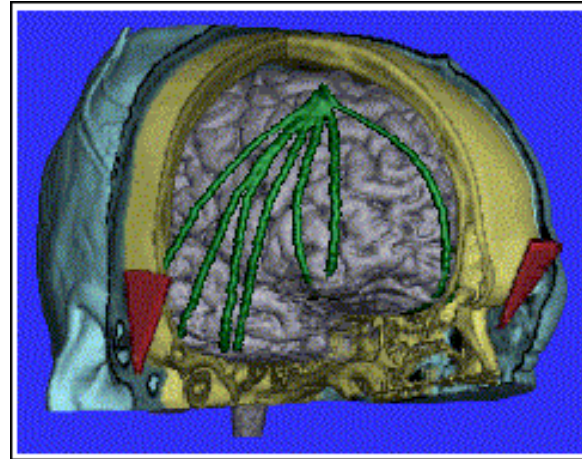
# *Visualização Volumétrica*



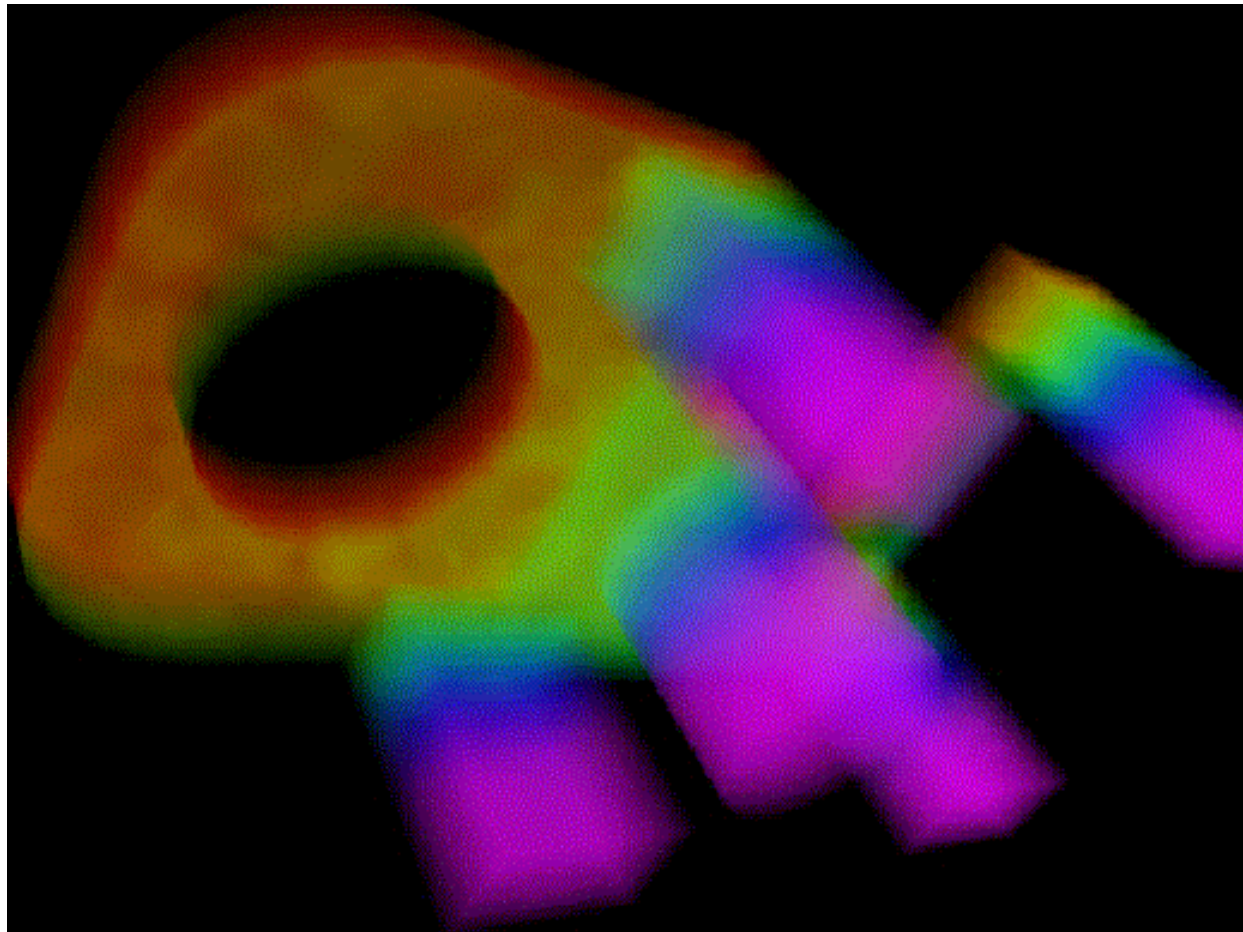
# *Visualização Volumétrica*



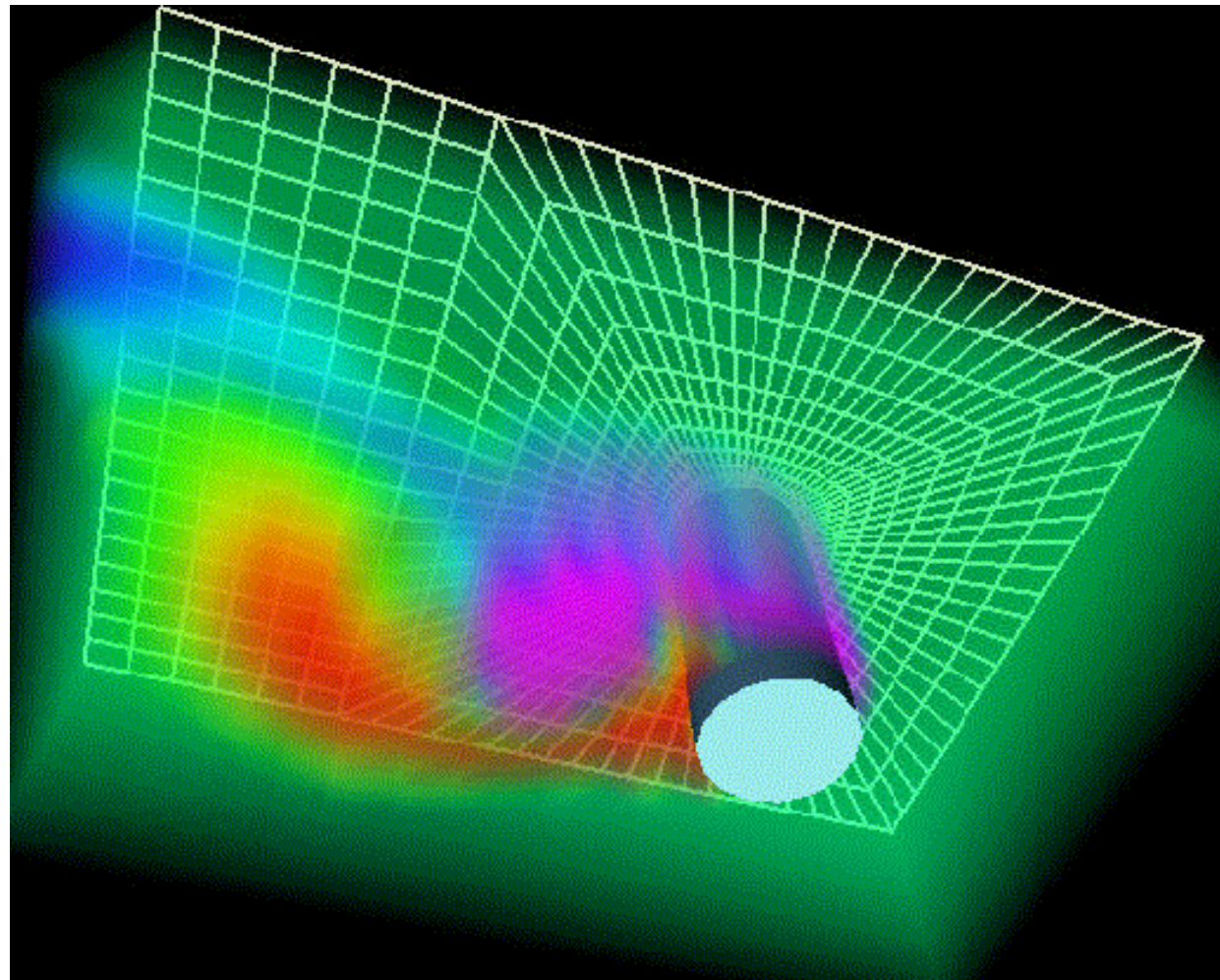
# *Visualização Volumétrica*



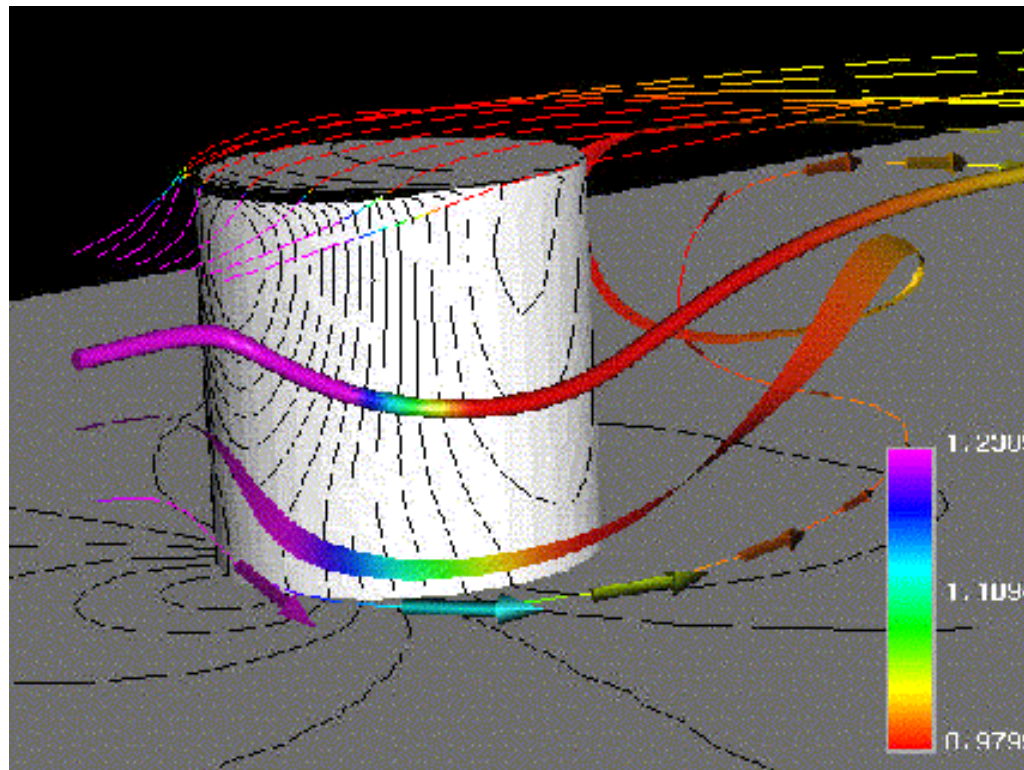
# *Visualização Volumétrica*



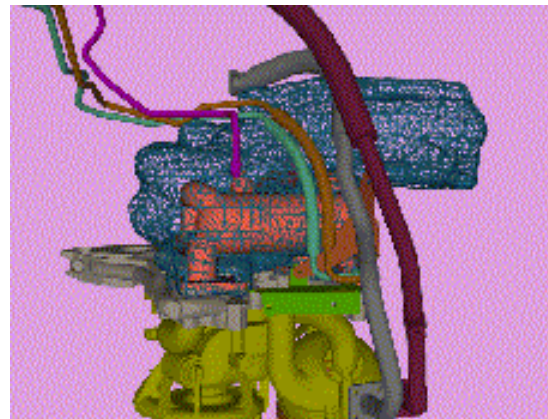
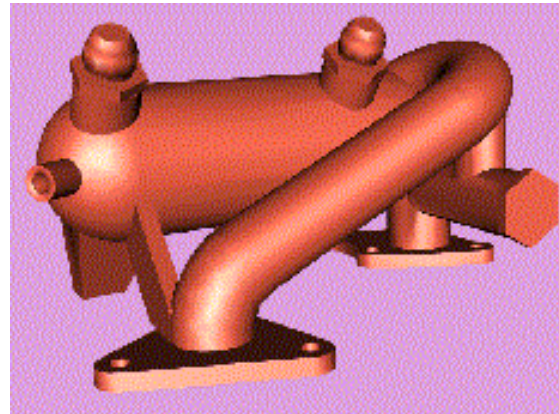
# *Visualização Volumétrica*



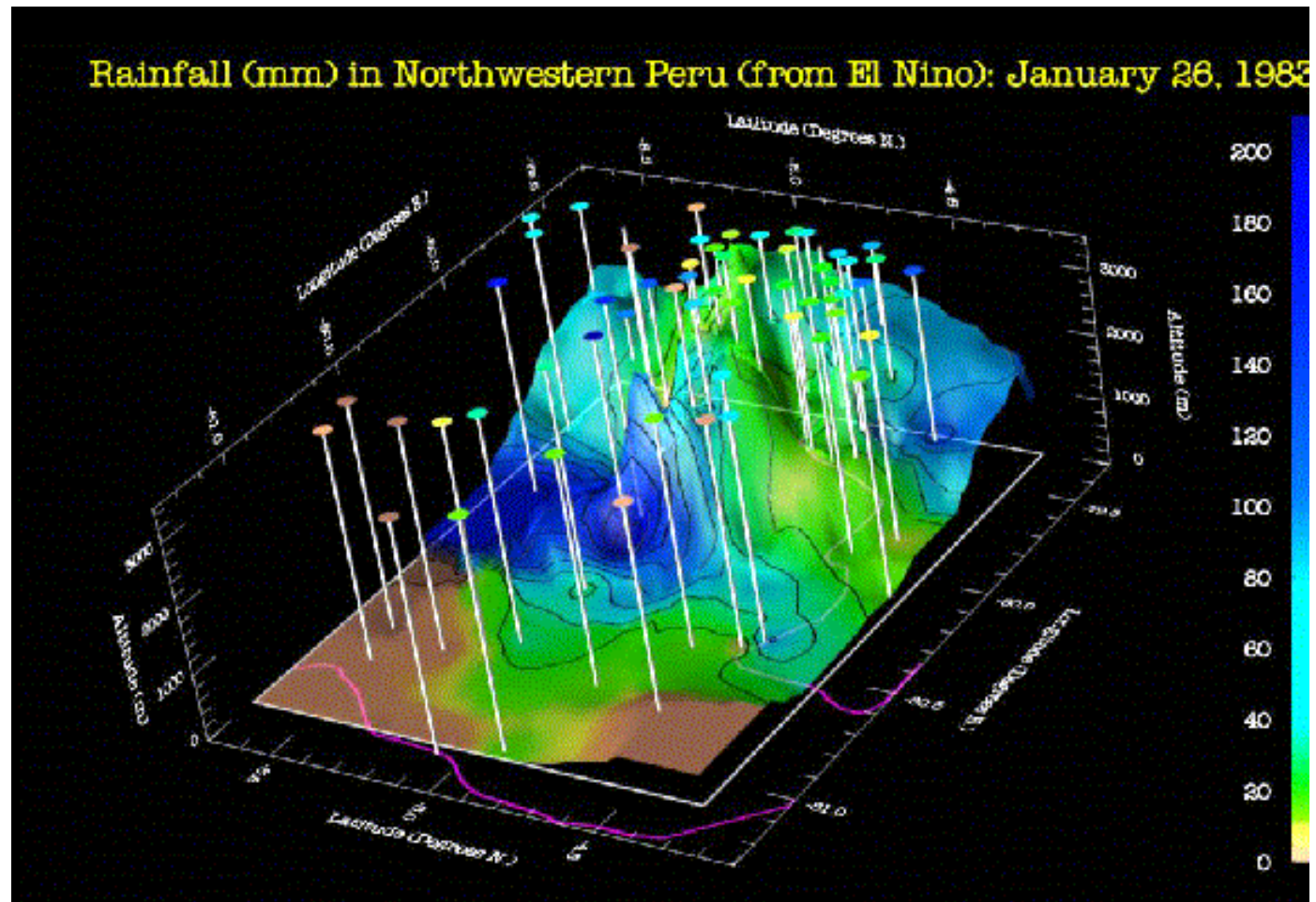
# *Visualização Volumétrica*



# *Visualização Volumétrica*



# Visualização Volumétrica





# *Estrutura dos Dados Volumétricos*

---

- Elementos de Volume (*voxels*)
- Matriz de Células
- *Aliasing*

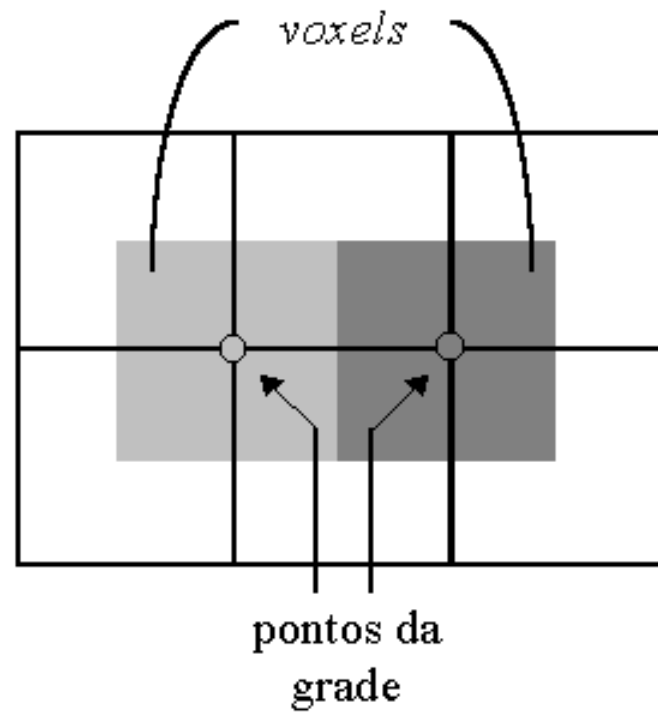
# *Estrutura dos Dados Volumétricos*

- Volumes de dados são usualmente tratados como uma matriz de elementos de volume (*voxels*) ou como uma matriz de células. Estas duas abordagens originam da necessidade de reamostrar o volume.
- Reamostragem implica em interpolação e é necessária em quase todos os algoritmos de visualização. É assumido que técnicas de interpolação são válidas para uma imagem ser considerada válida.

# *Elementos de Volume*

- A abordagem por *voxels* determina que o volume ao redor dos pontos da grade tem o mesmo valor que o ponto da grade. Um *voxel* é, então, uma área hexaédrica de valor constante ao redor do ponto da grade (*grid points*).
- Em alguns algoritmos a contribuição do *voxel* para a imagem cai tanto quanto a distância do centro da região de influência aumenta. Em outros, o *voxel* tem uma contribuição constante através de região de interesse.

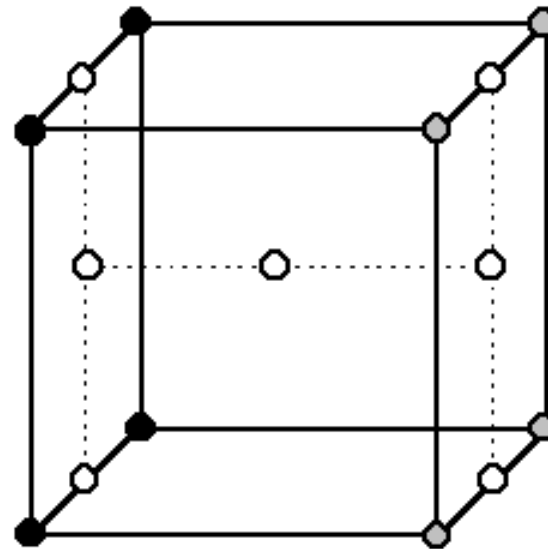
# *Elementos de Volume*



# *Matriz de Células*

- A abordagem por células considera o volume como uma coleção de hexaédros, cujos vértices são pontos da grade e cujo valor varia entre estes.
- Esta técnica estima valores dentro da célula pela interpolação dos valores dos vértices da célula. As funções de interpolação mais comuns são a interpolação tri-linear e a tri-cúbica.

# *Matriz de Células*



● ○ pontos da grade      ○ valores interpolados

# *Aliasing*

Todos os métodos de visualização envolvem reamostragem dos dados originais. Se os dados foram obtidos de um experimento físico, ou é um dado médico, então temos pouco, ou nenhum, controle sobre a frequência de amostragem original.

Além disso, os dados originais podem ser submetidos a uma transformação de rotação, para uma certa direção de visualização desejada. Assim, podemos concluir que apesar da possibilidade de não existir problemas de *aliasing* nos dados originais, podemos introduzi-lo no processo de visualização.

# *Armazenamento dos Dados Volumétricos*

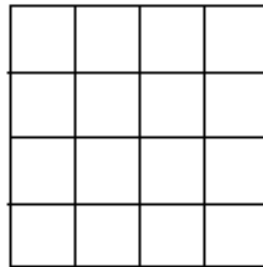
- Grade Cartesiana
- Grade Regular
- Grade Retilínea
- Grade Estruturada
- Grade Estruturada por Blocos
- Grade Não Estruturada
- Grade Híbrida

# *Armazenamento dos Dados Volumétricos*

- Infelizmente, nem todos os elementos são cubos e nem todos os volumes são definidos em grades cartesianas.
- A geometria mais comum é um volume regular constituído de *voxels* de mesmo tamanho. O segundo mais comum é constituído de *voxels* retangulares, onde o tamanho de cada um pode aumentar conforme as características das regiões. Por último, são as células de forma e tamanho arbitrários.

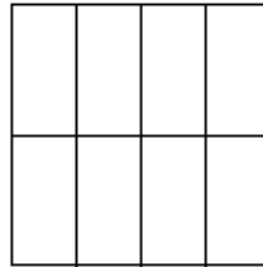
# *Grade Cartesiana*

Os elementos são cubos alinhados com os eixos. Este é o tipo preferido pelos algoritmos de visualização e é conhecida também como grade de *voxels* (*voxel grid*).



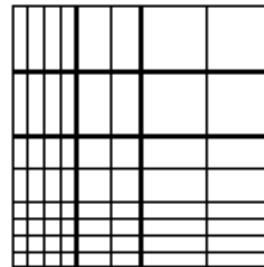
# *Grade Regular*

Os elementos são alinhados com os eixos mas não são cubos. Por exemplo, em tomografia por computador, a espessura das fatias (*slices*) é diferente da distância entre elas.



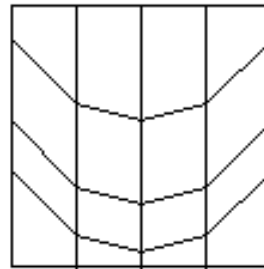
# *Grade Retilínea*

Tem como diferença da grade regular o fato da distância entre as células poder variar, ou seja, os elementos não são idênticos mas são alinhados aos eixos.



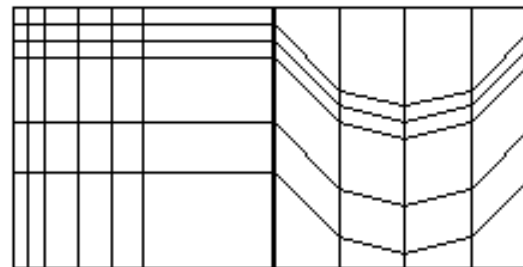
# *Grade Estruturada*

As células são hexaédros não alinhados aos eixos ou células deformadas para preencher um volume ou envolver um objeto.



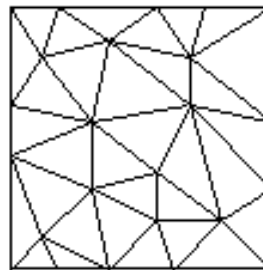
# *Grade Estruturada por Blocos*

É a utilização de várias grades estruturadas no mesmo volume de dados. Usado para superar qualquer limitação na topologia da grade estruturada.



# *Grade Não Estruturada*

Nenhuma geometria é definida. As células podem ser tetraedros, hexaedros, prismas, pirâmides, etc., não tendo que ter faces planas. São usadas na análise por elementos finitos.





## *Grade Híbrida*

---

É a combinação de grades estruturadas e não estruturadas, usadas conjuntamente para preencher o espaço do volume.



# *Aplicações da Visualização Volumétrica*

---

- Dinâmica dos Fluidos
- Medicina
- Precipitação Pluviométrica
- Geoprocessamento
- Meteorologia

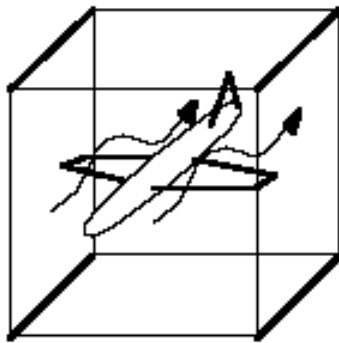
# *Aplicações da Visualização Volumétrica*

- Técnicas de visualização volumétrica tem sido desenvolvidas para obter uma melhor compreensão de conjuntos de dados tridimensionais, obtidos de amostragens (CT, MRI), simulações (elementos finitos, diferenças finitas) e técnicas de modelagem.
- Atualmente, a visualização volumétrica tem sido largamente utilizada em medicina, geo-ciências, sensoriamento remoto, meteorologia, astrofísica, química, microscopia, engenharia mecânica e em várias outras engenharias e áreas científicas. Os volumes de visualização incluem densidade, pressão, temperatura, velocidade, etc.

# *Dinâmica dos Fluidos*

- Apresentação visual da solução das equações de *Navier-Stokes* permitindo representar com acurácia o fluxo em torno de um corpo 3D.
- Os dados tem a forma  $(C(u, v); F)$ , onde  $C$  é a representação paramétrica do corpo 3D em uma grade regular.  $F$  representa a ação das forças externas.

# *Dinâmica dos Fluidos*

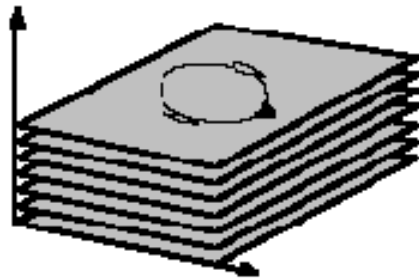


Location			Pressure
-132.1	38.5	6.1	0.164
-128.3	38.5	6.6	0.119
-116.8	38.6	7.5	0.067
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•

# Medicina

- Gerar e visualizar imagens tri-dimensionais a partir de *slices* bi-dimensionais oriundas de tomógrafos, ressonância magnética, etc.
- Em tomografias, cada amostra de dados  $(x,y,z; D)$  representa a medida da densidade  $D$  na posição  $(x,y,z)$  no espaço tridimensional. Tipicamente, os dados são estruturados numa grade regular.

# Medicina



$X_i$	$Y_j$	$Z_k$	Density
0.000	0.000	0.000	243
0.000	0.000	0.015	175
•	•	•	•
0.000	0.000	1.000	186
0.000	0.016	0.000	187
•	•	•	•

# *Prescipitação Pluviométrica*

- São realizadas, anualmente, medições em várias estações ao redor do mundo. Estas estações de medição localizam-se nas grandes cidades ou bem próximo.
- Para todos os efeitos, são consideradas pontos “aleatórios” ao redor de uma esfera. Assim, os dados tem a forma  $(x,y,z; R)$ , onde  $(x,y,z)$  são calculados pelas coordenadas esféricas, latitude e longitude.

$$(x,y,z) = (\sin * \cos, \sin * \sin, \cos)$$

# *Prescipitação Pluviométrica*

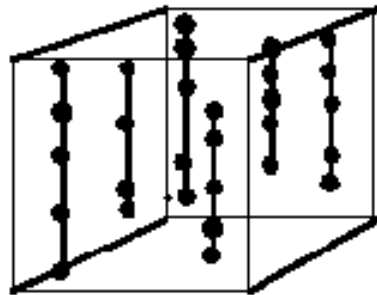


Longitude	Latitude	Rainfall
43 19' 34"	23 36' 13"	14.6"
21 35' 59"	45 09' 36"	23.6"
43 19' 34"	23 36' 13"	14.6"
•	•	•
•	•	•
•	•	•

# *Geoprocessamento*

- Combinação de imagens de satélites, dados temáticos (vetoriais) e modelos digitais de terreno para permitir ao especialista trabalhar com conjunto de dados relacionados mas de origens distintas.
- Em Geologia, é comum se coletar dados em várias profundidades, mas a partir de localizações fixas. Este tipo de medição é utilizada na identificação de minerais e pode ser representada na forma  $(x,y,z; M)$ .

# Geoprocessamento



Location			Mineral
5.50	1.00	0.00	11.0
5.50	1.00	10.00	10.0
5.50	1.00	20.00	12.0
•	•	•	•
•	•	•	•

# *Meteorologia*

- Animação de campos 2D e 3D permitindo uma análise da atmosfera mais próxima da realidade dinâmica.
- Pode-se também utilizar uma representação 2D dos dados e analisá-lo no tempo. Por exemplo, podemos ter uma medição da temperatura em diferentes localizações com intervalos fixos de tempo:  $(t, x, y; H)$ .

# *Meteorologia*



Time	Location		Temp.
Jan 2	2.16	-1.01	39.0
Jan 9	-1.74	2.50	62.0
Jan 16	-0.85	-1.46	65.0
•	•	•	•
•	•	•	•

# *Modelos de Visualização*

---

- *Pós-Processing*
- *Tracking*
- *Steering*
- *Interactive-Adaptative*

# *Modelos de Visualização*

---

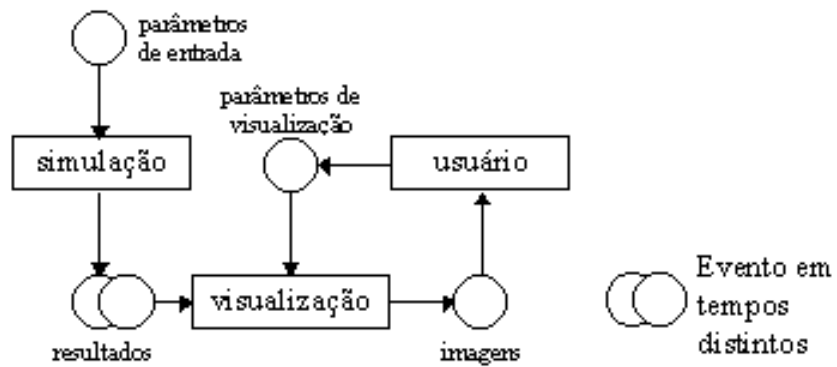
- Grandes centros de pesquisa tem tentado estabelecer ou expandir grupos designados ao desenvolvimento de metodologias e ferramentas integradas de visualização para grandes conjunto de dados.
- Existem quatro níveis de visualização de dados para simulações numéricas. Estes níveis referem-se ao grau de integração entre a execução da simulação (aquisição dos dados) e a visualização das imagens resultantes (resultados).

# *Pós-Processing*

---

- Este modelo permite ao usuário a visualização gráfica dos resultados somente após todos os dados terem sido calculados ou coletados, não permitindo nenhuma interação do usuário com a geração dos dados.
- Tem como vantagem, o fato do dado poder ser repetidamente examinado usando-se diferentes mapeamentos e métodos de visualização.

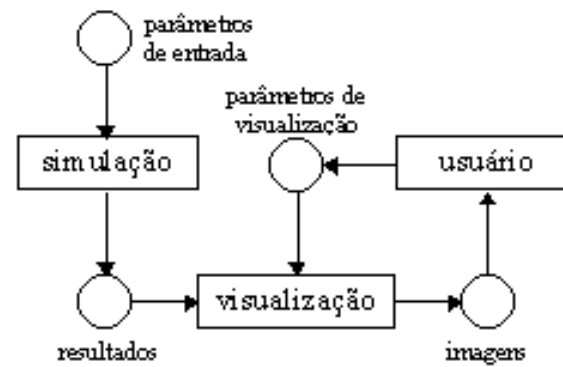
# *Pós-Processing*



# Tracking

- Neste método, as imagens são visualizadas a medida que a simulação prossegue e a única interação possível é a interrupção da simulação.
- Uma desvantagem desta técnica é que o dado estará disponível somente no tempo do cálculo. Para evitar este problema, sistemas utilizando *tracking* fornecem a possibilidade de salvar os dados para que o usuário examine os resultados *off-line*.

# Tracking

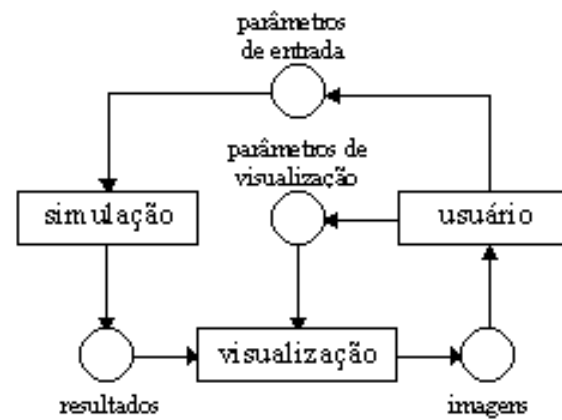


# *Steering*

---

- Este método deve permitir o controle direto da simulação durante a execução, permitindo ao usuário trocar parâmetros e imediatamente visualizar os efeitos desta ação.
- Este método é considerado uma meta na visualização científica. Porém, aplicações reais e integradas ainda são raras.

# Steering



# *Interactive-Adaptative*

- É uma formulação aprimorada do *steering*, incorporando novos conceitos:
  - síntese de resultados
  - controle do fluxo de simulação
  - simulações “paralelas”
  - “sequenciamento” de simulações
  - modificação do modelo
- Permite ao usuário controlar a simulação, intervir quando necessário, redefinir parâmetros e modificar a visualização.

# *Interactive-Adaptative*

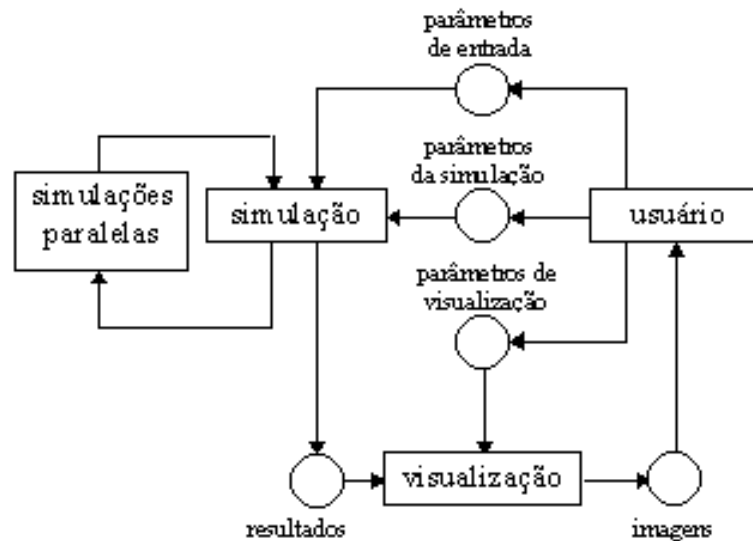
Simulações “paralelas”:

São aquelas feitas não diretamente para a geração de resultados mas para auxiliar na compreensão do comportamento dos dados e na seleção dos algoritmos e parâmetros da simulação.

“Sequenciamento” de simulações:

Característica de se encadear simulações que não são do mesmo tipo.

# *Interactive-Adaptative*



# *Técnicas de Visualização Volumétrica*

- Classificação
- Processo de visualização
- *Outline* dos algoritmos básicos
  - *Surface Fitting - SF*
  - *Direct Volume Rendering - DVR*
  - Iluminação, cor e transparência
- Detalhamento dos algoritmos

# *Classificação das Técnicas de Visualização Volumétrica*

Na visualização volumétrica está implícita a criação de alguma representação intermediária, de objetos visíveis ou fenômenos, que podem ser visualizados para produzir uma imagem. Esta representação intermediária pode ser qualquer coisa: pontos, linhas, superfícies, cubos, núvens etc.

Assim, as técnicas podem ser classificadas de acordo com a representação intermediária que empregam:

- *binary voxel*
- *surface based*
- *semi-transparent volume*

# Classificação das Técnicas de Visualização Volumétrica

<i>Volume Visualization Algorithms</i>		
<i>Surface-Fitting</i>	<i>Direct Volume Rendering</i>	
	<i>projection methods</i>	<i>image-order methods</i>
<i>Contour connecting</i>	<i>V-Buffer</i>	<i>Ray-Casting</i>
<i>Opaque cubes</i>	<i>Splatting</i>	<i>Cell integration</i>
<i>Marching / Dividing cubes</i>	<i>Slice shearing</i>	<i>Sabella method</i>
<i>Marching tetrahedra</i>		

		<i>intermediate representation</i>		
		<i>surfaces</i>	<i>opaque cubes</i>	<i>semi-transparent gel</i>
<i>processing order</i>	<i>object order</i>	[FUCH77]	[FRIE85] [GORD85]	[WEST90]
	<i>hybrid</i>	[LORE87] [GALL89]	[HERM79]	[DREB88] [UPSO88]
	<i>image order</i>		[TUY84]	[LEVO88] [UPSO88] [SABE88]

# Processo de Visualização

- **Aquisição de dados:** podem ser oriundos de imagens médicas, elementos finitos, funções matemáticas, etc.
- **Reconstrução do volume:** etapa de definição das dimensões dos *slices* e do seu mapeamento nas grades características.
- **Classificação:** é o processo de seleção de parte dos dados, segundo um critério quantitativo (*threshold*), definindo uma região do volume a qual se deseja explorar.
- **Deteção de superfícies:** é o mapeamento dos elementos em primitivas geométricas, com o objetivo de se formar uma superfície. (algoritmos de *surface fitting*)
- **Visualização:** é realizada a visualização com o auxílio de luz ou *depth-cue*, para dar o efeito de profundidade, realizando também operações de corte, rotação e projeção ortográfica ou perspectiva.

# Surface Fitting

A geração de iso-superfícies é a mais antiga e mais bem conhecida forma de se estudar o conteúdo dos dados volumétricos.

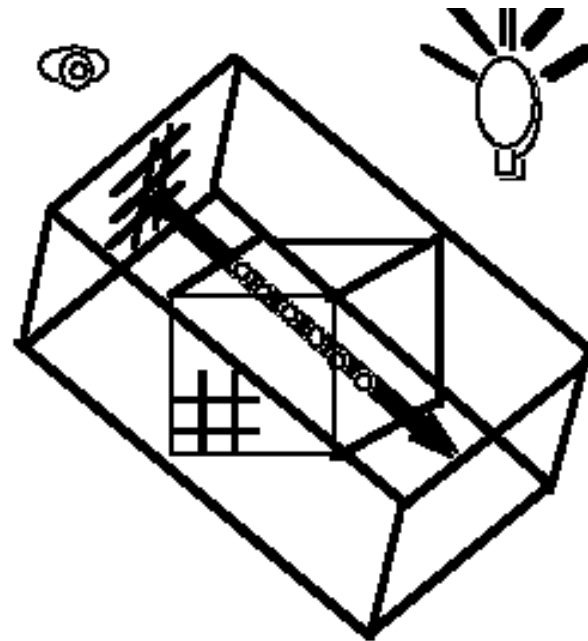
- Fuchs (1977): algoritmo para conexão de iso-linhas de planos adjacentes.
- Lorensen e Cline (1987): algoritmo denominado *marching-cubes*. (geração de triângulos)
- Lorensen e Cline (1988): algoritmo denominado *dividing-cubes*. (geração de pontos)
- Lorensen e Cline (1990): algoritmo denominado *marching-tetrahedra*. (geração de tetraedros)

# Direct Volume Rendering

Possui como algoritmo básico o *Ray-Casting*. O algoritmo lança raios do observador através de cada *pixel* da tela para o volume. Se o raio interseptar o volume, o conteúdo do volume ao longo do raio é amostrado, transformando-se o valor em cor e opacidade, resultando num valor final que é atribuído ao *pixel*.

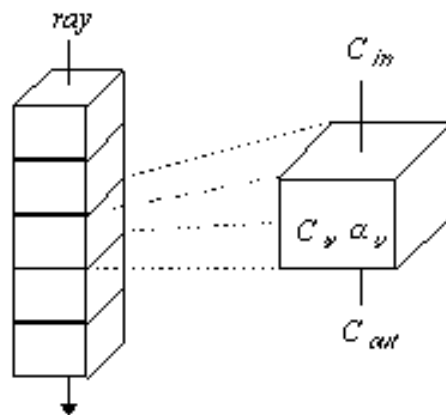
Uma variação deste algoritmo, denominado *Splatting*, projeta o objeto no espaço da tela, computando as superposições das contribuições. Este método necessita de uma pré-ordenação do volume de acordo com a posição do observador.

# *Ray Casting*



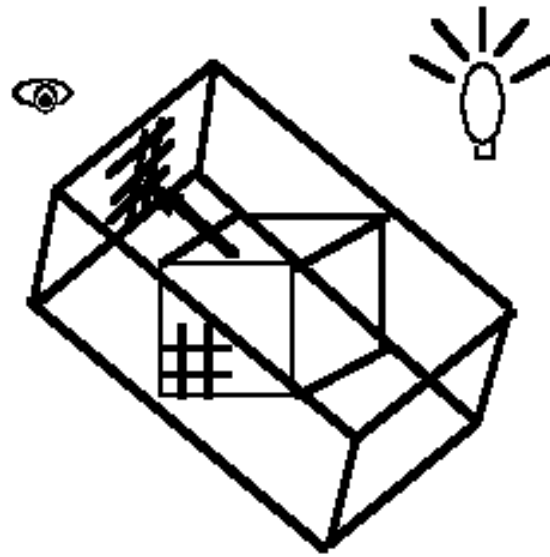
# Ray Casting

$$\alpha_j = \alpha_{j-1} + (1 - \alpha_{j-1}) * \alpha_{jter}$$
$$C_j = C_{j-1} + (1 - \alpha_{j-1}) * \alpha_{jter} * C_{jter}$$
$$C = C_j * \alpha_j$$



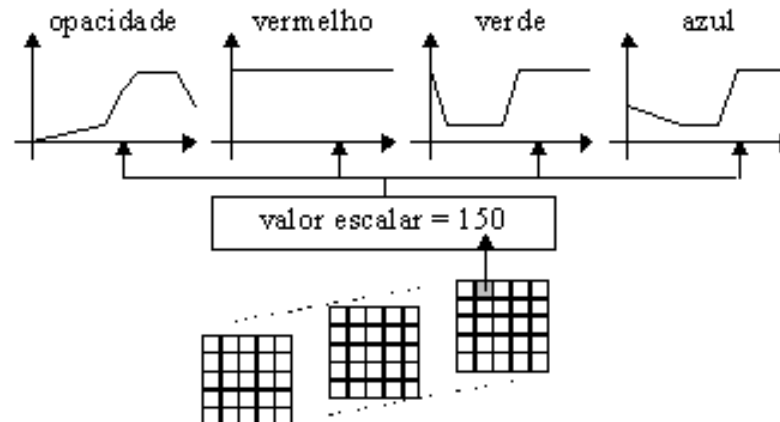
$$C_{out} = C_{in}(1 - \alpha_y) + C_y \alpha_y$$

# *Splatting*



# Cor e Transparência

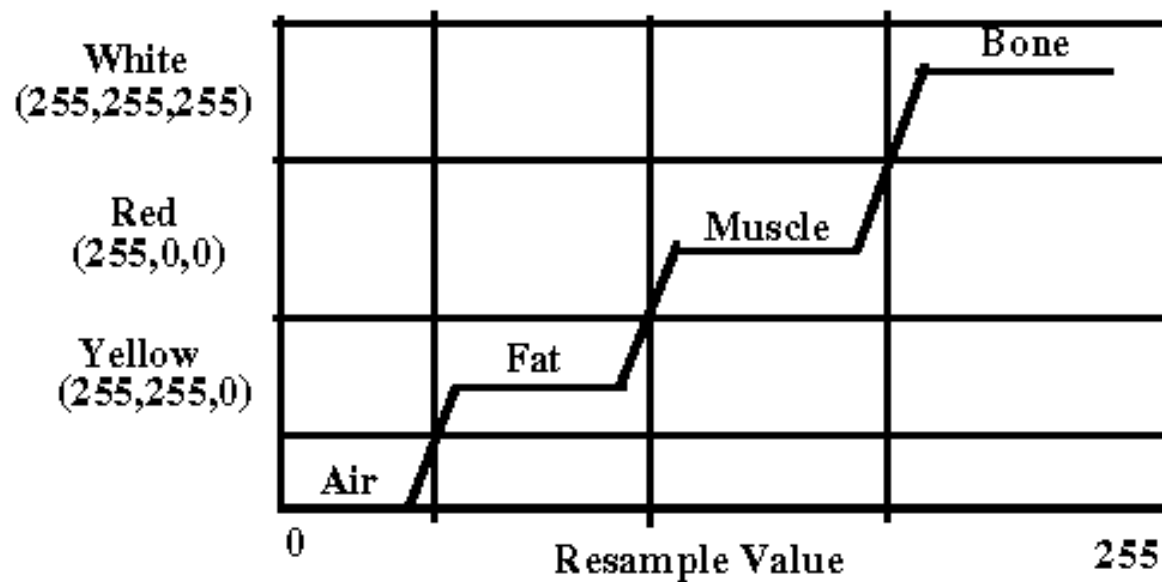
- O uso de transparência evita que se tenha que tomar decisões sobre uma superfície, fazendo com que “fiapos” do material, que geralmente são descartados nas técnicas de extração de superfícies, possam ser mantidos na visualização.



# Cor e Transparência

## Color Classification

Color Transfer Function  
 $C_{\text{air}}(f(i, j, k))$

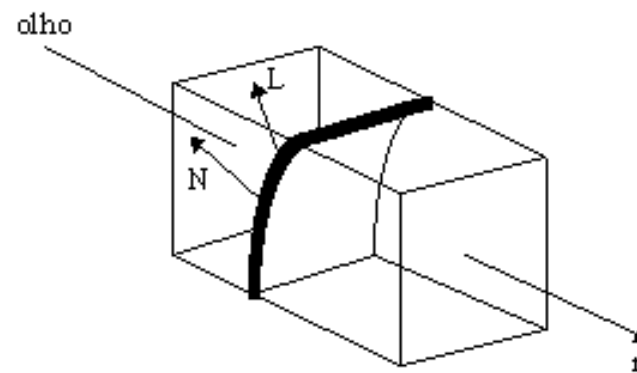
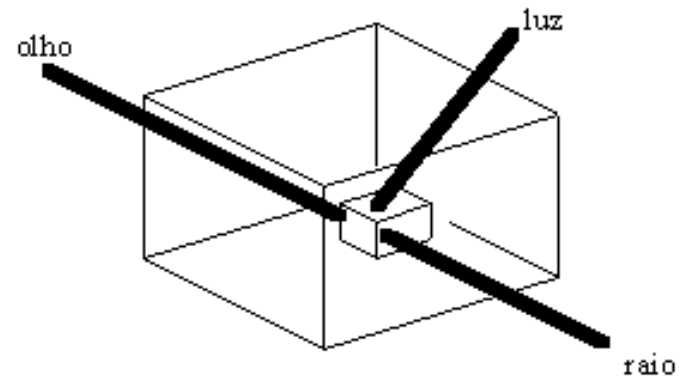


# Iluminação

Considera-se cada interação do *voxel* com cada fonte de luz independente de todos os outros *voxels*, para a inclusão no processo de acumulação das contribuições ao longo do raio. Isto significa que o raio da fonte de luz para o *voxel* não é afetado por outros *voxels* pelo qual o raio passa. Entretanto, a interação da luz com os *voxels* que ele encontra são considerados ao longo do raio, pelo próprio processo acumulativo.

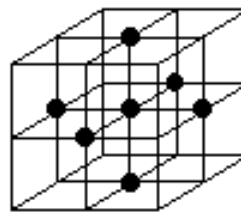
A utilização deste processo irá fornecer a cor devido a interação do *voxel* com a fonte de luz. A aplicação de um modelo de reflexão local à esta superfície, pode ser calculada pela fórmula  $C = f(N, L, r)$ , onde  $f$  é, por exemplo, o modelo de *Phong*,  $N$  a normal da superfície, determinada pelo gradiente,  $L$  a direção da luz e  $r$  o raio que atinge o *voxel*.

# Iluminação

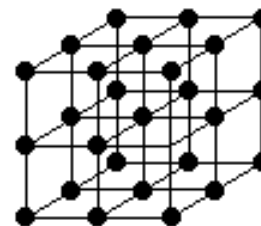


# Cálculo do Gradiente

$$\nabla V(X) = \left( \frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}, \frac{\partial V}{\partial z} \right)$$

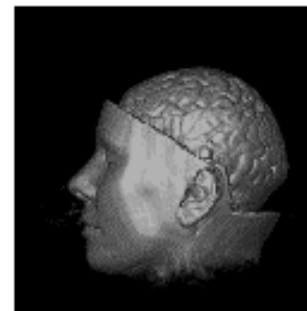
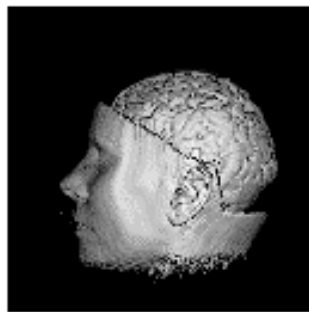
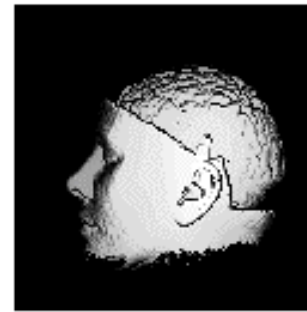
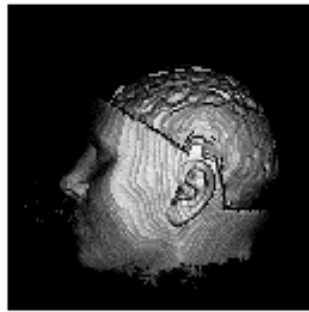


6 vizinhos



26 vizinhos

# *Cálculo do Gradiente*



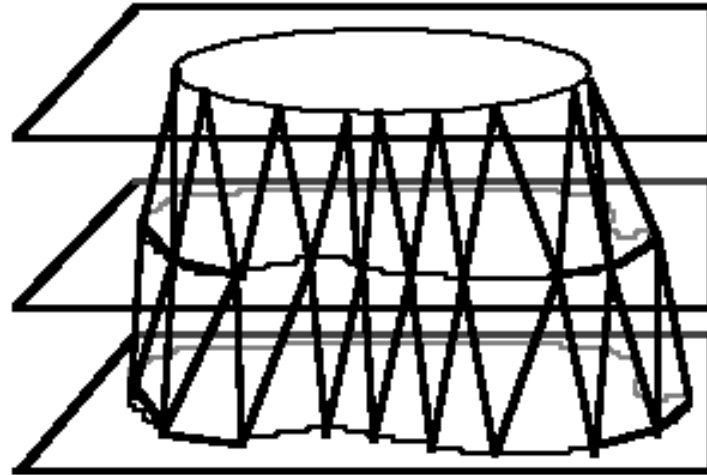


# *Detalhamento dos Algoritmos*

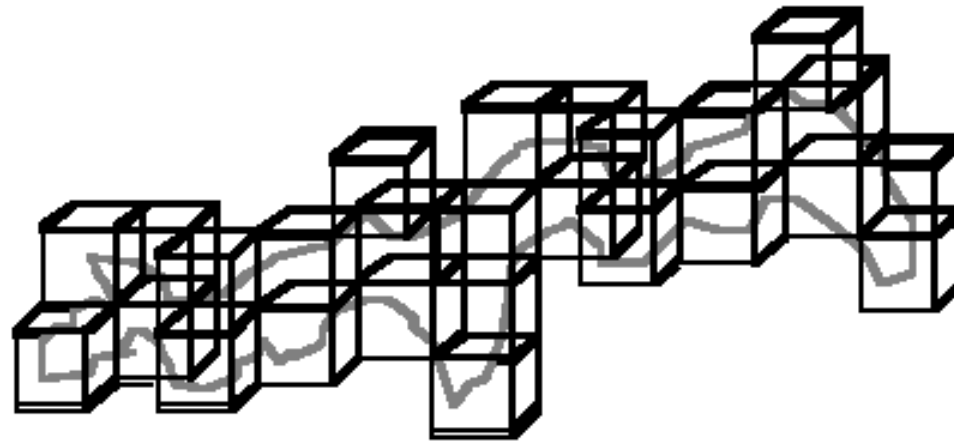
---

- *Contour connecting*
- *Opaque cube*
- *Marching cubes*
- *Dividing cubes*
- *Marching tetrahedra*
- *Ray casting*
- *Splatting*

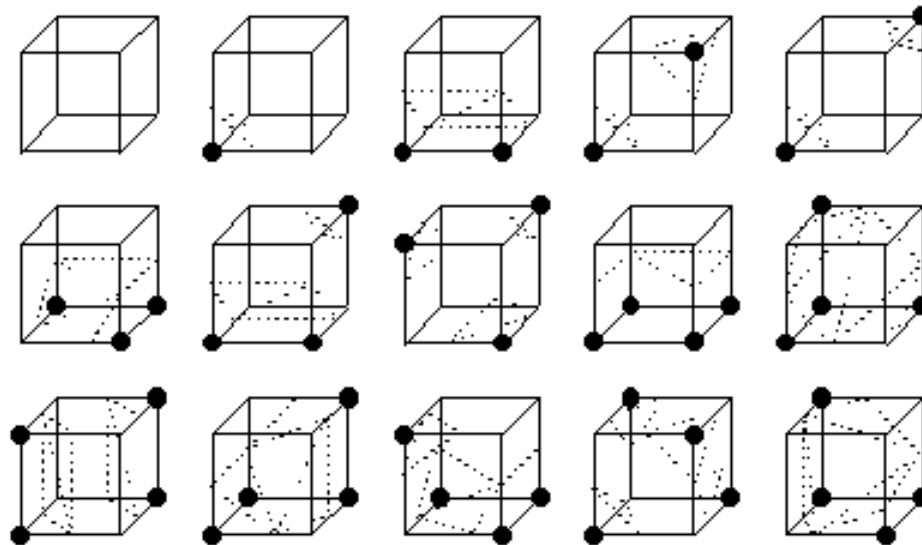
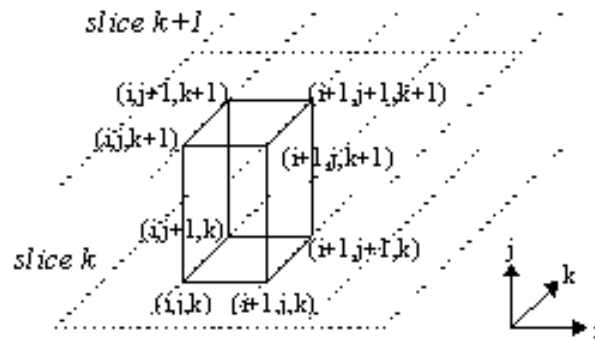
# *Contour Connecting*



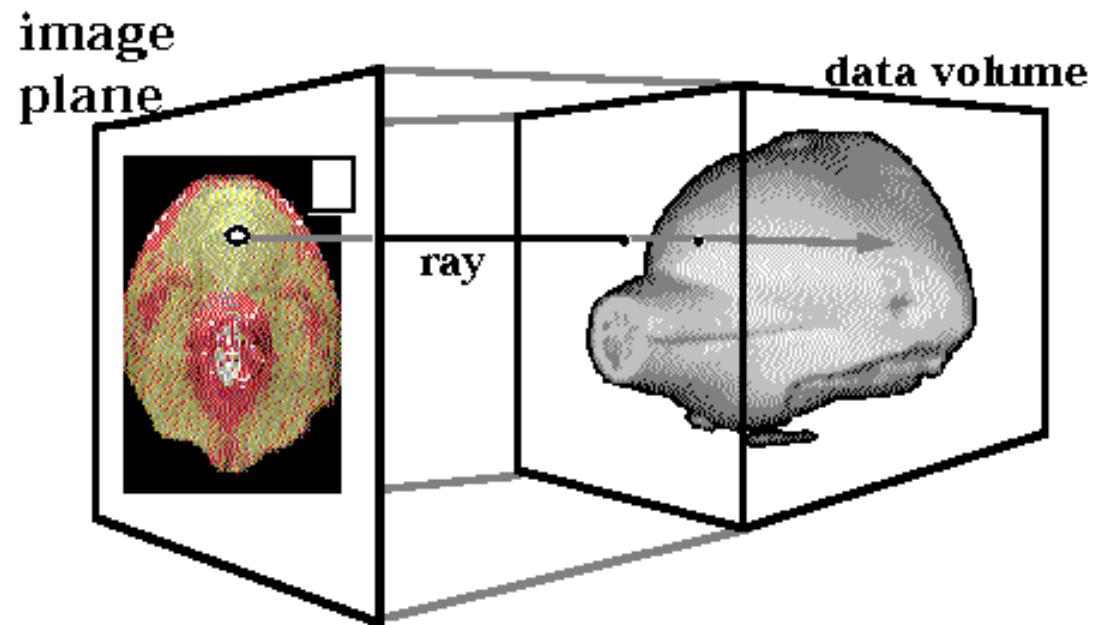
# *Opaque Cubes*



# Marching Cubes



# Ray Casting



# *Splatting*

