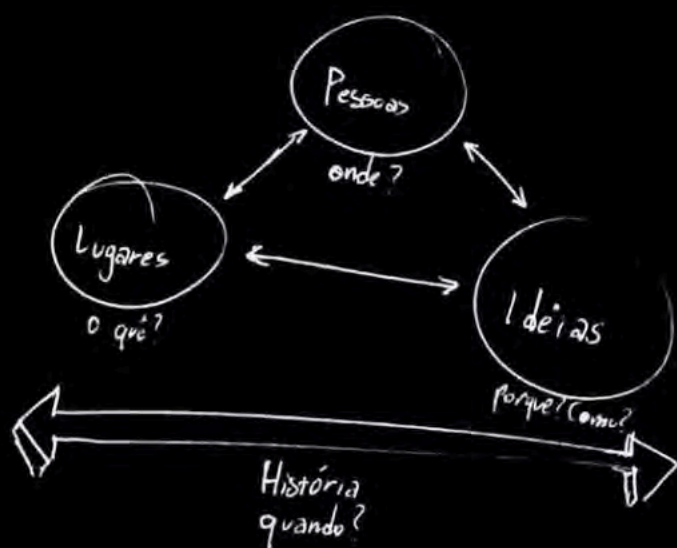


● 27/03

## □ Ic de Computação Gráfica

↳ Histórias da Computação Gráfica  
"Uma jornada pela imaginação"

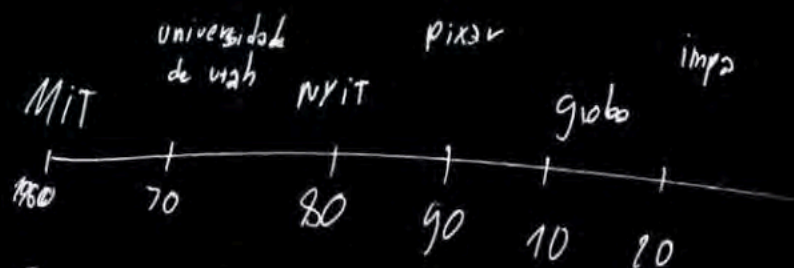
### • História



⇒ Ideias chave, manter simples, mas não simplório.

Contexto: ACM SIGGRAPH

Association For Computing Machine



• Pesquisar sobre as pessoas importantes?

- diário de sua jornada  
eg Charles Darwin - diário de bordo

→ curso dividido em 2 partes

⇒ O que é computação gráfica?

- The basics  
Modelagem  
Renderização

Animação  
Rendering

- Criação de Cenas  
Modeling  
Animação

- Renderização
  - Clipping
  - Rasterização
  - Visibilidade
  - Shading
  - Iluminação
  - Mapeamento

Sketchpad: a man-machine graphical communication system.

Renderman: software da PIXAR

# Ivan Sutherland -

①

## Sketchpad - A man-machine graphical communication system (1963)

Comunicação homem máquina era apenas escrita por meio da digitação.

Sketchpad mostra informações por retas rasterizadas  
↳ novo tipo de comunicação homem-máquina.

Uso de aparelhos mecânicos para a visualização:

- comandos por botões
- funções por interruptores
- desenhos por caneta de luz
- rotacionar por botões giratórios

### • Comando de desenho.

ponto inicial → ponto em que o comando "draw" foi utilizado:



→ construção de polígonos.

→ desenhar círculo: apontar centro do círculo c/ a caneta + fazer circunferência.



→ Comando "move": mexer nos vértices dos polígonos encaixando na circ.



apagar  
Círculo



hexágono regular.

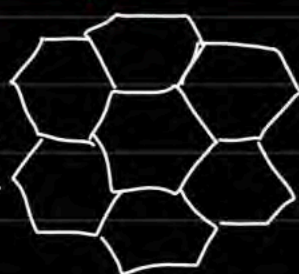
se utiliza da estrutura de dados toroidal

→ Capaz de deixar arestas do mesmo tamanho p/ comando - definição cópia

→ Criação de instâncias p/ padrões.

criar  
instância  
hex. reg.

criar  
G  
hex. reg's.





## → Adição de restrições → Relações

↳ fazer linhas paralelas, criar hexágono inscrito, etc.

## • Programação Orientada a Objetos.

Sketchpad capaz de armazenar relações do desenho.

↳ Instâncias do objeto mestre

## • Aplicações no armazenamento

atualização de desenhos

→ design

→ confecção de padrões.

→ Visualização.

## • Caneta de Luz

↳ Com base na posição inicial, faz o tracking da caneta, com a opção de parar o tracker.

## • Display

↳ Tubo de raios catódicos numa taxa de 100 KHz

- Movimento suave.

- Capacidade de magnitude das imagens

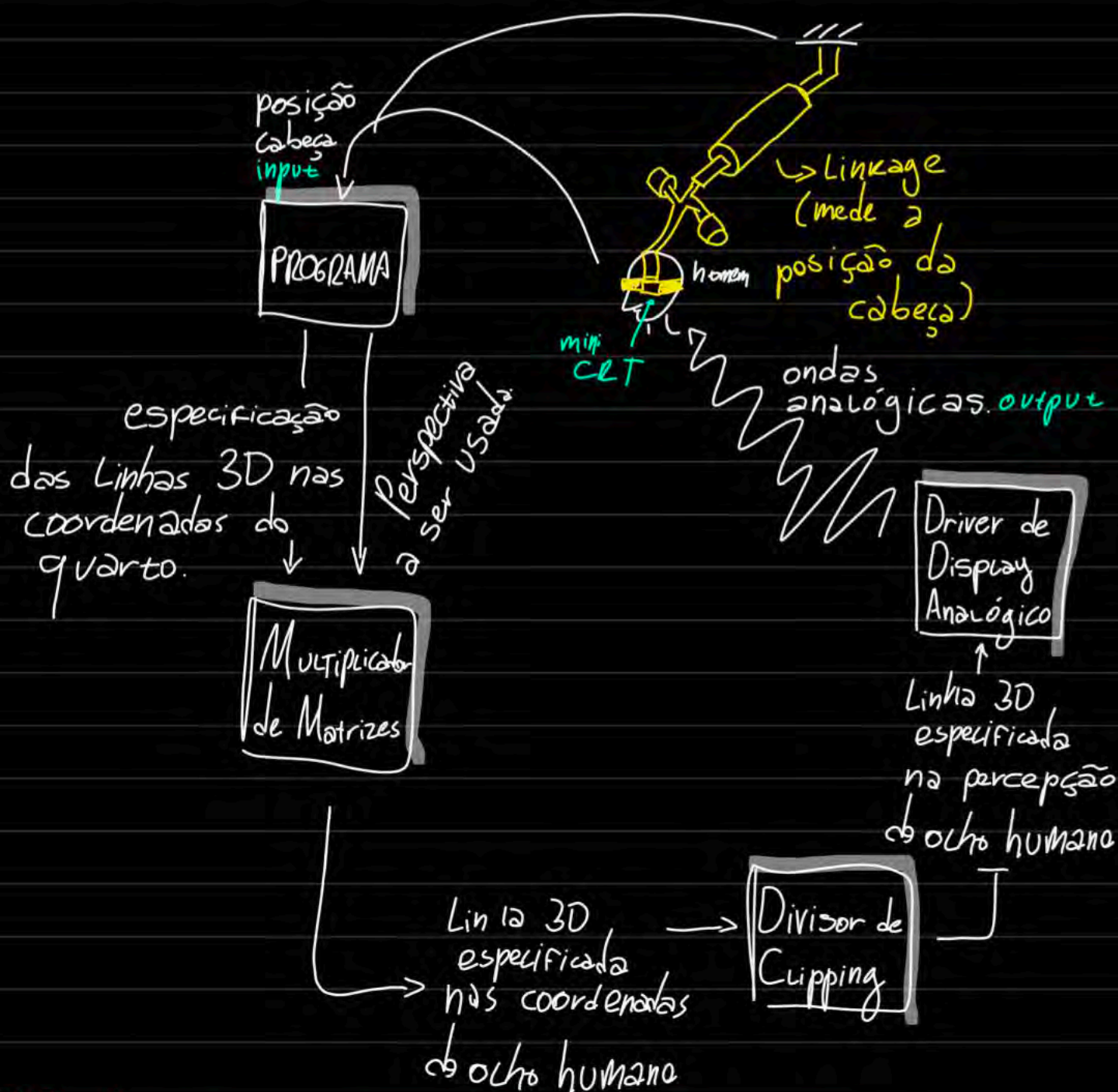
↳ "super zoom".

- Geração apenas das curvas no display

- 3/4 do tempo de custo é gasto no display.

## ② A Head Mounted Three Dimensional Display (1968)

- Projeto do que seria um headset de realidade virtual aumentada
- Perspectiva baseada no movimento e rotação.



"Don't think of that thing as a screen."

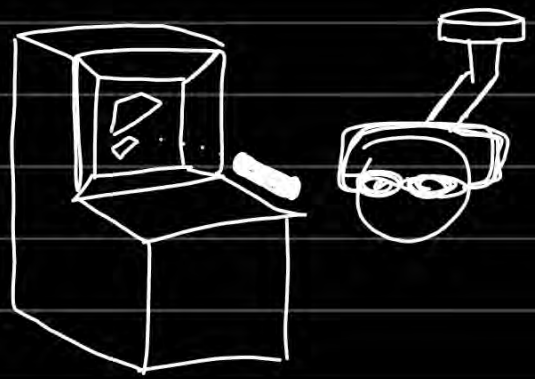
think of it as a window.  
Through that window,  
one looks into a virtual world."



## 2) MIT.

→ 1950 - desenhos  
raster  
WWII

projetos militares dos EUA.



→ 1963 - primeiro jogo feito

• Ivan Sutherland

↳ Sketchpad - 1962, como sua tese de mestrado.

↳ *be CAD. Foda!!*

↳ Virtual and Augmented Reality - 1965

↳ Criou a empresa de simuladores - 1968  
3D.

→ paralelo da prensa de Gutenberg  
↳ criação de ferramentas para se  
expressar.

→ Flicker da imagem.

---

• Head Mounted display

↳ A frente do seu tempo.

↳ Criação da R.A.

↳ desafios e limite técnico

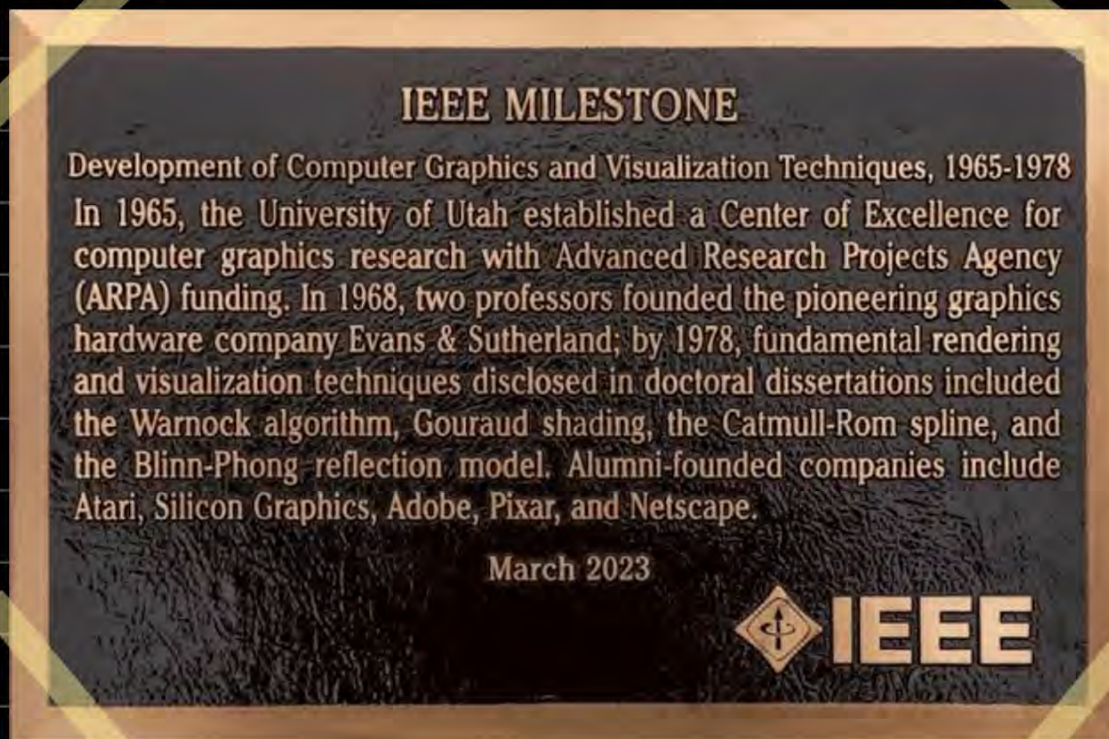
tecnológico na época.



→ Carne y Arena, experiência em P.V.

→ Após fazer o sketchpad, Ivan Sutherland se mudou p/ Utah a pedido de David Evans em 1968

↳ Grandes avanços tecnológicos vieram daqui.



→ IEEE -  
Instituto  
de Engenheiros  
Elétricos  
e Eletrônicos.

→ placa do IEEE sobre Utah  
ser centro de excelência para a  
computação gráfica.

↳ Empresas que vieram de Utah

- Silicon Graphics (Jim Clark)
- Adobe (Josh Warnock)
- Atari (Nolan Bushnell)
- Pixar (Edwin Catmull)
- Netscape (Jim Clark de novo)

↳ Maioria das pessoas importantes da C.G.  
dos anos 70/80 passaram por Utah.



- 1965 - Curso de C.G. foi criado
- 1968 - Ivan Sutherland se muda p/ Utah.  
(Mais pessoas interessadas do que em Boston).

Criação da empresa Evans & Sutherland

1978 - E&S Listada na bolsa de valores por Hambrecht & Quist inicialmente valendo U\$50 milhões.

↳ vendas aumentaram 10x em 10 anos.  
↳ preço das ações 10x

→ Hoje em dia, a empresa vale U\$9,5 milhões e pertence a Cosm Inc.

↳ empresa de realidade aumentada p/ esportes americanos.



Cosm com sua "realidade compartilhada"

→ display panorâmico gigante.



→ pessoas assistindo de forma imersiva

↳ Nasa: Bob Schmacker and

↳ Simulador de Foguete p/ testes

• Teapot (Bue), símbolo da computação gráfica

↳ Primeiramente modelado na universidade de Utah por Martin Newell

↳ Um dos 1ºs objetos modelados com curvas de Bezier.

↳ "Hello World!" da C.G.



O bule de referência  
no Museu da História  
da computação.



Desenho mal feito  
por mim :)



→ Um render  
3D do bule  
de Utah



NYIT - New York Institute of Technology

→ NY Siggraph 1986

L > conferência do estado da arte na época

→ 1974 - Alexandre Shure juntou pioneiros para formar o laboratório de computação gráfica no NYIT  
↳ Old Westbury

- Edwin Catmull (Utah) foi contratado p/ comandar o projeto.

- Dezenas de aberturas de jornais foram feitas utilizando C. Vis.

- Primeiros trabalhos focados em animação 2D e digitalização

11.1 has a  $\sim$

de desenhos à mão.



evoluiu para o Disney CAPS, bastante utilizado entre os anos 80-2000.



Imagens do Sistema de Produção em Computação Gráfica (CAPS), utilizado pela Disney

- Depois disso, começaram a mexer com 3D e tentaram fazer um filme chamado "The Works", o que acabou dando errado.

↳ Serviu mais para "dar casca" sobre como fazer um filme apenas com C.G.







Pôster feito em  
→ 2012 como tributo  
ao filme nunca lançado

1979 - Muitas pessoas saíram de LA para ir trabalhar no então criado departamento de CG da Industrial Light & Magic, empresa responsável pelos efeitos visuais de George Lucas.

Ed Catmull em especial

# Histórias da Computação Gráfica

↳ **PIXAR** - Qual foi a inovação que levou a mudança nos padrões?

→ "Fábrica de Sonhos" - levou a C.G. para as pessoas

- 1979 - George Lucas recruta Ed Catmull p/ o departamento de computadores da Lucasfilm.

- the road to computer animation (1982)

- 1984 - Pixar image computing

- 1986 - Steve Jobs comprou a divisão e renomeou p/ **PIXAR**.

- 1995 - Toy Story, 1º filme inteiramente feito em C.G.

- 2017 - Lançou o renderman para uso não comercial.

- 2019 - Ed Catmull se aposentou da presidência da Pixar.

---

Lucasfilm Renderman - **REYES** (Renders Everything you Ever Saw) 1981  
↳ incorporado no Render-Man



- Renderman "Shading Language"

- Sistema de Partículas

  - ↳ filme do Star Trek - Bill Reeves

- Ray-Tracing

  - ↳ melhora a visualização

  - ↳ paper: "distributed Ray-Tracing".

- Pool Table

Pixar Computer - ~~RGB~~ composição de Imagens RGB-A.

  - ↳ Composição Digital

---

Pixar Image Computing → Pixar Animation Studios

- John Lasseter

  - ↳ sabia dos princípios da animação e aplicou para o 3D.

- Luxo Jr.

# Modeling / Animation

## • Modelagem

- criando o ambiente

## • Animation

↳ simulação de mundo em movimento

## → Modelagem

↳ modelar o ambiente interno/externo

- objetos

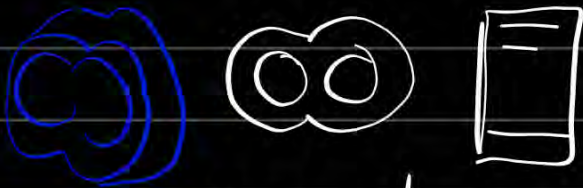
- construções

- urbano

- paisagens

## • Técnicas

↳ Modelagem Geométrica [CAD]  
(objetos - feitos pelo homem)



plano de  
um objeto

↳ Modelagem procedural  
(Fenômenos naturais)  
Mandelbrot

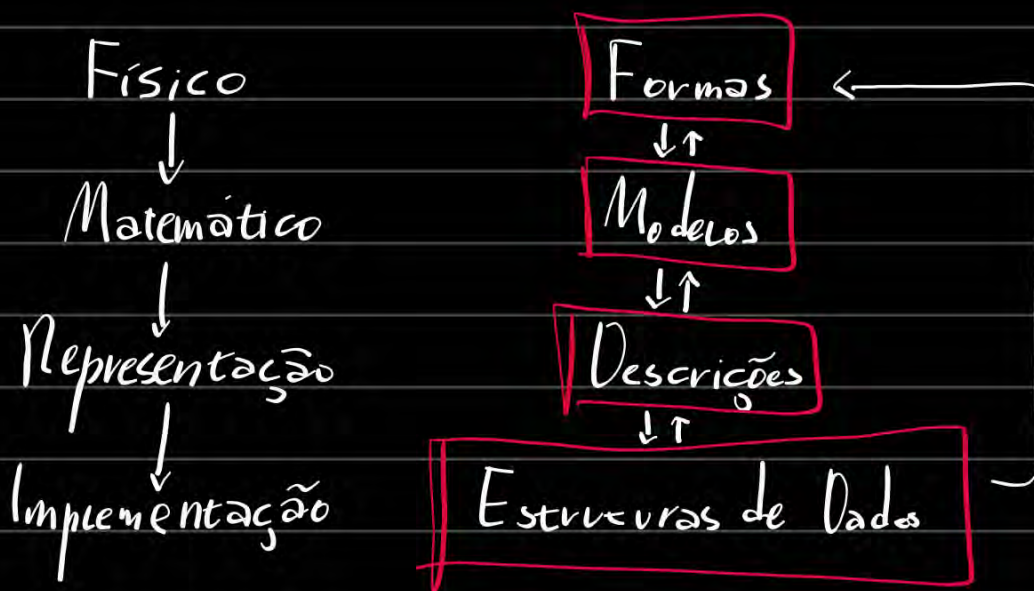
• Modelagem baseado em Imagens

↳ Fotogrametria 3D  
(reconstrução de objetos reais)

• Modelagem baseada em Inteligência Artificial

↳ Redes Neurais generativas.  
(Machine learning de cenas 3D)

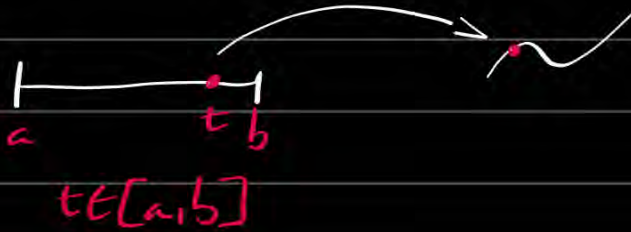
Framework Conceitual



• Modelos Matemáticos de Formas

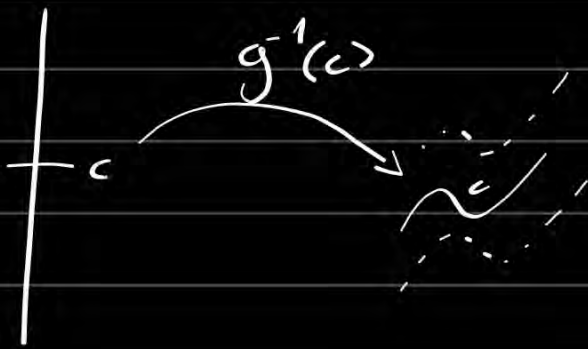
• paramétricos (enumeração dos pontos)

$$(x, y) = f(t)$$



• Implícito (classificação dos pontos)

$$g(x, y) = c$$



ex: Círculo Unitário



Paramétrico

$$\varphi(\theta) = (\cos \theta, \sin \theta) \quad \theta \in [0, 2\pi)$$

Implícito:

$$C = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x^2 + y^2 = 1\}$$



## • Representações Tradicionais de Esquemas

- Primitivas
  - ↳ formas simples
- Construtivas
  - ↳ combinação de primitivas
- Decomposição
  - ↳ Estratificação em partes
  - ↳ dividir p/ conquistar

---

Esfera de raio  $r$

### • Modelo Paramétrico

$$(x, y) = (r \cos \theta, r \sin \theta)$$

### • Modelo Implícito

$$x^2 + y^2 - r^2 = 0$$

### • Translação

$$\text{↳ parâmetros: } (id, r, c)$$

### • Estrutura de dados:

$$\text{↳ Array associativo: } [id, r, c]$$

## ■ Representação Construtiva

→ elementos de divisão do espaço  
↳ possibilidade de uso de álgebras

→ representação como uma expressão algébrica.

$$\square \cup \square = \text{+} \cap \bigcirc = \text{+} \rightarrow \text{ficou feio :}$$

• estrutura de dados como uma árvore binária.

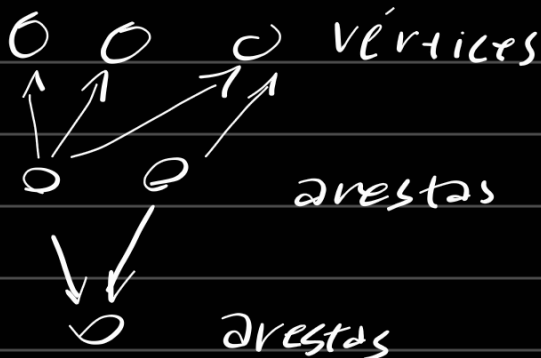
## ■ Representação em Decomposição

→ Estratificação

- vértices
- arestas
- faces
- casca



→ Gráfico Topológico

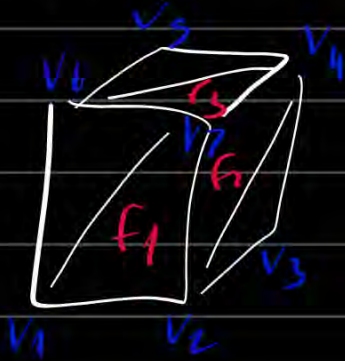


• Estrutura de dados: lista de polígonos

• Malhas  $\rightarrow$  uma variedade?

polígono: lista de vértices

Malha: lista de polígonos



lista de faces

$f_1$	$v_1 v_2 v_6 v_4$
$f_2$	...

Lista de vértices

Coordenadas

$v_0$	$x_0$	$y_0$	$z_0$
$v_1$	$x_1$	$y_1$	$z_1$
$v_2$	$x_2$	$y_2$	$z_2$

$\rightarrow$  Cores na superfície.

$\rightarrow$  Normais na superfície.

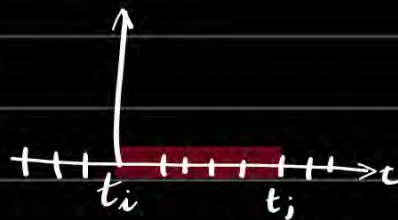
$\rightarrow$

▣ Tempo

delta de Dirac

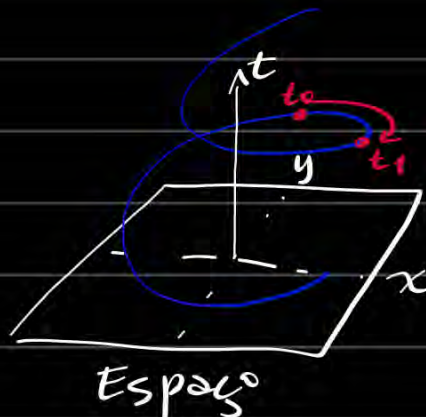
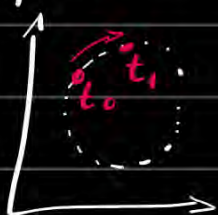
- instante  $\rightarrow$  impulso

- intervalo  $\rightarrow$  contínua



▣ Configuração

$\rightarrow$  Espaço Tempo



## • Curvas de Espaço



## ■ Corpos

- partículas
  - sistema de partículas
  - corpos rígidos
  - objetos articulados
  - objetos deformáveis
  - líquidos/gases.
- 

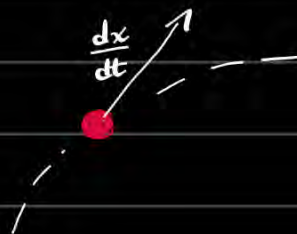
## • Conceitos Matemáticos

→ Variação no tempo  $\rightarrow \frac{dx}{dt}$

## • Movimento

↳ EDO  $\hat{=}$

$$\frac{dx}{dt} = P(x(t))$$



$$x = \int P(t) dt + C$$

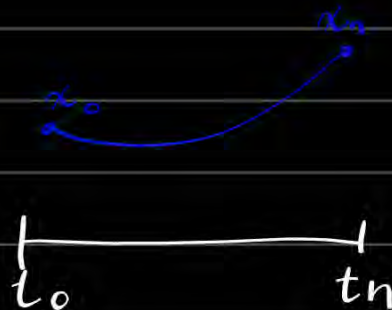


## • Problemas de Movimento

→ achar  $P(t)$

- problema de valor inicial

$$P(t_0) = x_0$$



- Problema de valor de fronteira

$$x_0 = P(t_0) \text{ e } x_n = P(t_n)$$

Simulação

⇒  $P(t)$  é um modelo de um processo

## • Keyframes

→ Parâmetros em frames chave

rot	○ ← → ○
trans	○ ←
tan	○
...	○ ← → ○

...



# ■ Rendering 3D Scenes

▢ Função Plenótica / Campos de Luz

▢ Iluminação

▢ Cameras

▢ Viewing Pipeline

■ Função Plenótica

$$I_l = P(\overset{\text{ponto}}{\underbrace{x, y, z}}, \overset{\text{FOV}}{\underbrace{\theta, \phi}}, t)$$

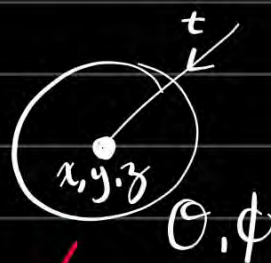
Imagem holográfica (informação visual)

$$P: \mathbb{R}^3 \times \mathbb{S}^2 \times \mathbb{N} \mapsto \mathbb{E}$$

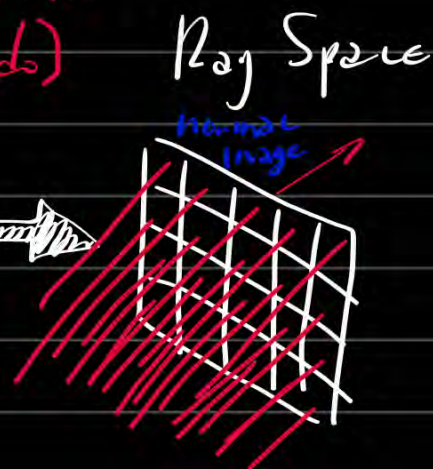
6D espaço de fase

■ Campo de Iluminação

▢ Point Sampling (Inverse Rendering)



pto específico  
(discretizado)



# Queremos sintetizar a Função Plenóptica

- Iluminação
  - fonte de luz
  - materiais

- Rendering
  - shading



Cipping / Visible Surface

 Cipping / Recorte

# | Illumination

## L → Função Plenóptica

### • Conceitos básicos

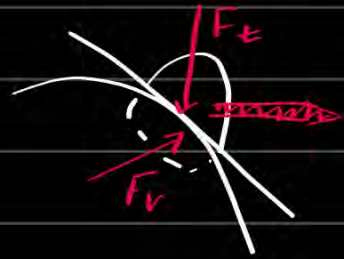
→ fontes de luz

→ superfícies e materiais

### • Conservação de energia

### • Modelo Local de Iluminação

$$\Phi_o = \underbrace{F_r \Phi_i}_{\substack{\text{coef. reflexão} \\ \text{hemisfério} \\ \text{de saída}}} + \underbrace{F_t \Phi_i}_{\substack{\text{coef. transmissão} \\ \text{hemisfério} \\ \text{de entrada}}}$$



$$F_r + F_t = 1$$

### • Modelo Termodinâmico (global)

$$\Phi_{\text{tot}} = E_{\text{tot}}$$

$$\Phi_{\text{out}} = E + \Phi_{\text{entrada}}$$

### Equação de Renderização (Fred Hanke d. 1º tipo)

$$\phi(s, \omega) = E(s, \omega) + \underbrace{\int_s \kappa(s, \omega', \omega) \phi(s, \omega') d\omega'}_{\text{Func. espalhamento}}$$

◦ Núcleo da integral

⇒ geometria

⇒ visibilidade

⇒ reflexividade

◦ Energia Radiação (Fluxo)

$$\phi(s, u)$$

$$\phi = \frac{dQ}{dt}$$



↳ Sistema em equilíbrio

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \quad \text{i.e.,} \quad \phi = \text{constante}$$

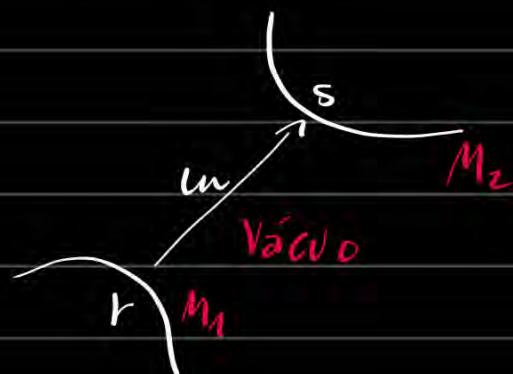
Eq. do Transporte

$$\phi(r, u) = \phi(s, u)$$

$$r, s \in \underbrace{\cup M_i}_{\text{todas as Superfícies (manifolds)}} \text{ e } u \in S^2$$

◦ Função de visibilidade entre as superf.

$$U(r, u) \equiv \inf \{ \alpha > 0 : (r - \alpha u) \in M \}$$
$$s = r - U(r, u)u$$





## ▣ Hemisfério de iluminação



$$\Phi_f - \Phi_i = \Phi_{\text{emitido}} - \Phi_{\text{absorvido}}$$

## ▣ Condição explícita

$$\phi(s, u) = \mathcal{E}(s, u)$$

## ▣ Condição implícita

$$\underset{\text{out}}{\phi(s, u)} = f_s \left( \underset{\text{in}}{\phi(s, u')} \right)$$

$$\phi(s, u) = \int_{\mathcal{H}_i} \overset{\text{saída de } u' \text{ p/ } u}{\kappa(s, u' \rightarrow u)} \phi(s, u') du'$$

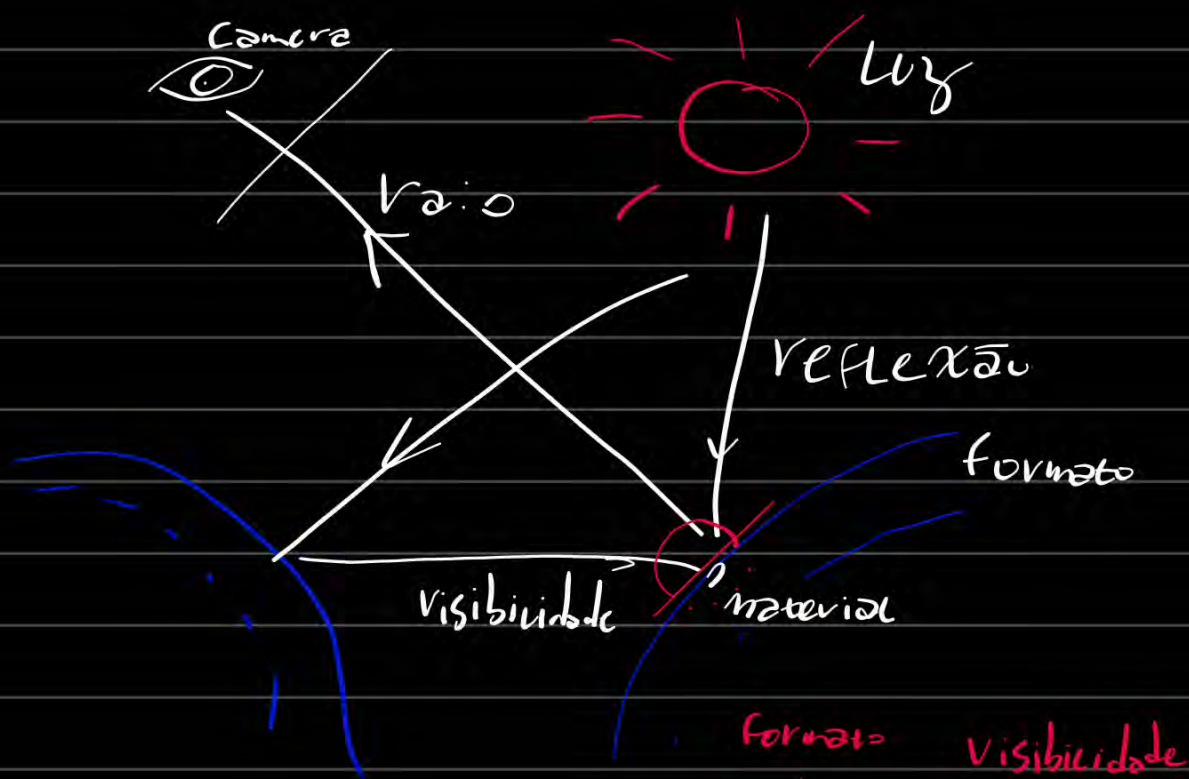
## Limite Físico:

$$\int \kappa du \leq 1 \quad \text{e} \quad \kappa \geq 0$$

$\hookrightarrow$  ou mantém ou absorve a energia.

$\hookrightarrow \bar{n}$  sugando energia

## Contexto de Renderização



$$L_o(p, \omega_o) = L_e(p, m_o) + \int_m f(p, m_o, m_i) L(p, m_i) |\cos \theta| d\omega_i$$

Diagram illustrating the components of the rendering equation:

- $L_o(p, \omega_o)$ : Radiance at point  $p$  in direction  $\omega_o$  (ray).
- $L_e(p, m_o)$ : Emission at point  $p$  from material  $m_o$  (Luz).
- $\int_m$ : Integration over materials (integração).
- $f(p, m_o, m_i)$ : Material function (material).
- $L(p, m_i)$ : Radiance at point  $p$  from material  $m_i$  (REFLEXÃO).
- $|\cos \theta|$ : Visibility factor (visibilidade).

The integral term is associated with the process of **Sampling + Reconstruction**.

## Solução Numérica

° operador de notação

$$(Kf)(x) = \int K(x, y) f(y) dy$$

Fredholm do 1º tipo

Def. Radiação na forma de operador

$$L(r, \omega) = L^e(s, \omega) + (KL)(s, \omega)$$

or

$$L = L^e + KL$$

$$\begin{aligned} & \downarrow \\ & = L^e + K(L^e + KL) \\ & = L^e + KL^e + K^2L \end{aligned}$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^n K^i L^e \approx \sum_{i=0}^{\infty} K^i L^e$$

$\hookrightarrow$  intuição: luz rebatendo  
perde transmissão

Def. Aprox. Integração luminosa

$$I = gE + gMI$$

$$M = \int \kappa(s, \omega', \omega)$$

$$(I - gM)I = gE$$

$$I = (1 - gM)^{-1} gE$$

$$= g(E + M_g E + (M_g)^2 E + \dots)$$



## □ Qualidade da Aproximação

⇒ Análise do Erro

- Norma de  $\|K\| < 1$

⇒ Resíduo

$$e_n = \|M_\infty - M_n\|$$

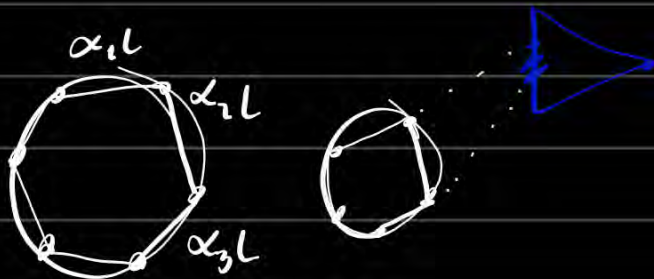
## □ Métodos Computacionais

→ aproximação explícita (radiosidade/radiância)

→ aproximação implícita (ray tracing)

↳ Computar a luz nas superfícies

$$L = \sum \alpha_i L_i$$



## ☑ Luz Direta

→ Solução de Utah

$$I = gE + gME_0$$

- Iluminação local  
(apenas para fontes de luz)
- Sem sombras
- Computação direta