

Perspectiva Histórica

1950-1960

A Computação Gráfica surge quase no início da computação. As primeiras visualizações consistiam em **gráficos de linhas**, recorrendo a:

- Traçadores de caneta (pen plotters)
- Ecrãs vetoriais (caligráficos)

O custo de refreshamento da imagem nos ecrãs caligráficos é muito grande (todas as linhas necessitam ser redesenhasadas por completo). Por outro lado, os computadores eram demasiado lentos, caros e pouco fiáveis.



Calcomp 563 Plotter [1973]

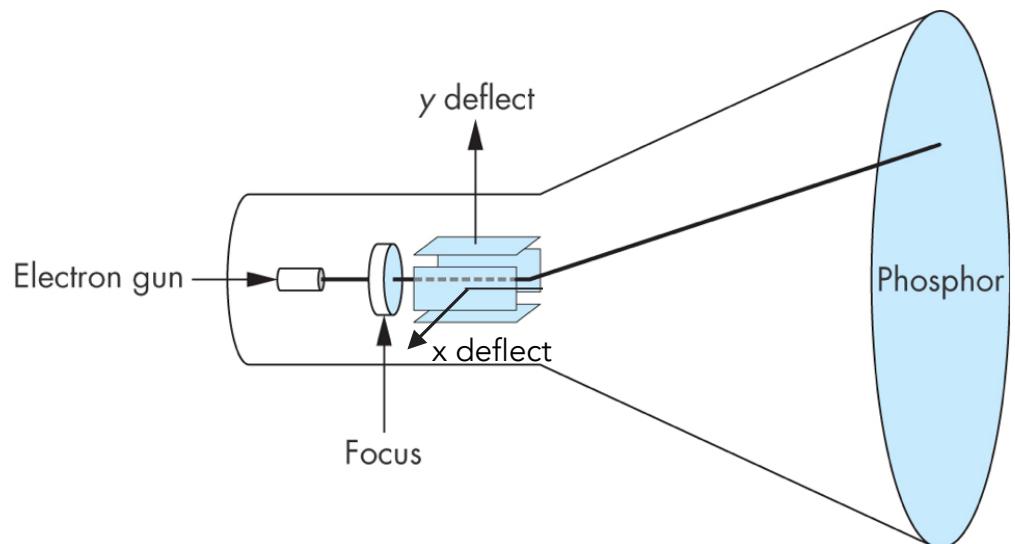


Gerber AP-100 Plotter

Tubo de Raios Catódicos

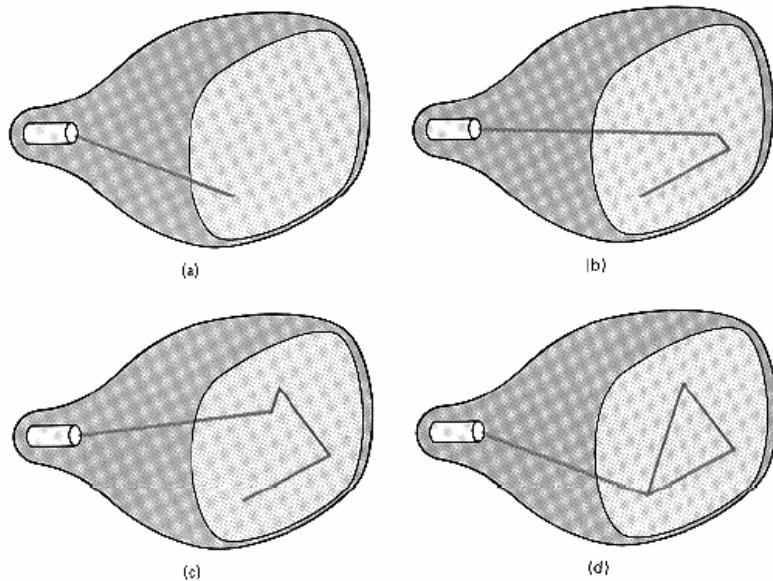
Inicialmente a tecnologia foi usada para traçar linhas, refrescando-as o mais rapidamente possível, aproveitando a persistência do fósforo.

Mas a mesma tecnologia foi mais tarde aproveitada para desenhar gráficos *raster* (grelha de pontos), varrendo a superfície usando linhas (linhas de varrimento), ligando e desligando (ou controlando a intensidade de) o canhão conforme o conteúdo em memória da imagem que se pretende visualizar.



Tubo de Raios Catódicos - Dispositivo Vetorial

Desenho do contorno dum triângulo.



Osciloscópio em modo X/Y: 2 sinais analógicos controlam a posição do feixe na horizontal e na vertical, respetivamente.



A baixa persistência do fósforo ($10\text{-}60\mu\text{s}$) obriga ao refrescamento do ecrã (30Hz ou mais), sendo continuamente redesenhados os gráficos no ecrã.

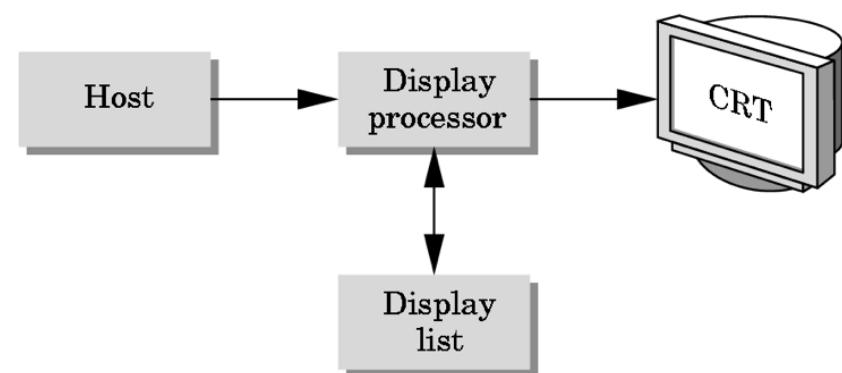
Display Processor Unit

O Display Processor é o antecessor das placas gráficas atuais.

A ideia é a de aliviar o CPU das tarefas de refreshamento do ecrã.

Para gráficos vetoriais (os da altura), o conteúdo a visualizar no ecrã era guardado numa lista (*display list*) e o processador denominava-se de *Display Processor Unit*.

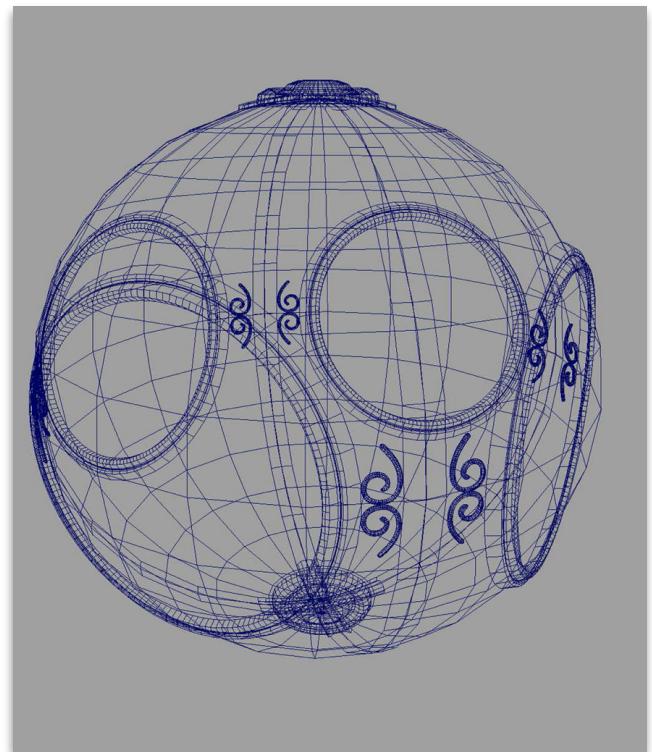
O computador principal faz a gestão do conteúdo da lista (limpa, acrescenta, remove operações de desenho)



Graphics Architecture with a DPU

1960...1970

- Gráficos em malha de arame
 - ⇒ primitiva única - a linha
- Sketchpad - Primeiro sistema interactivo
- Hardware:
 - CRT + Display Processors, requerendo memória para guardar a imagem e um processador para controlar o ecrã.
 - Direct View Storage Tube, usando a possibilidade do próprio fósforo servir de memória (duas tensões no canhão: uma para escrever outra para apagar)



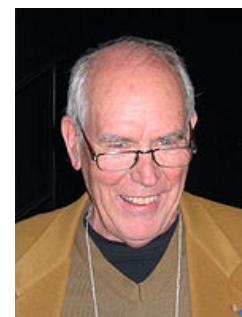
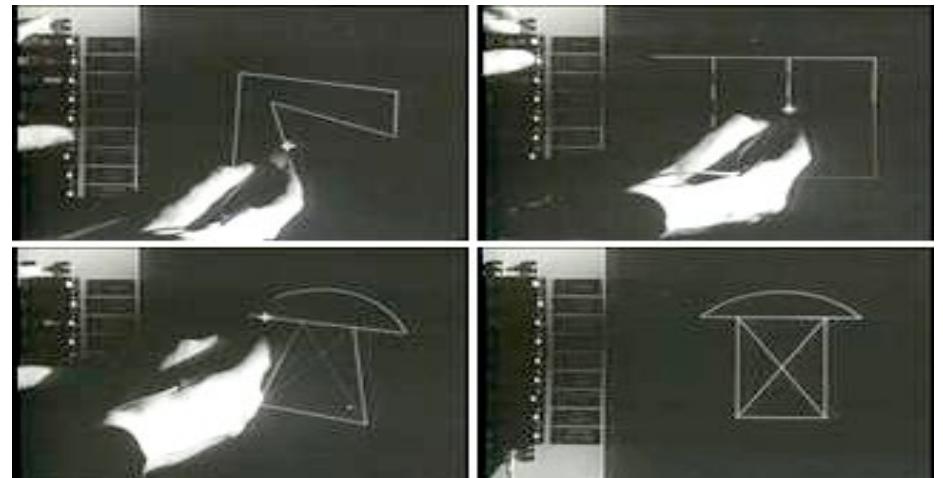
Representação em malha de arame do objecto Sol

Sketchpad

Primeiro sistema interactivo e resultado do trabalho de doutoramento de Ivan Sutherland no MIT:

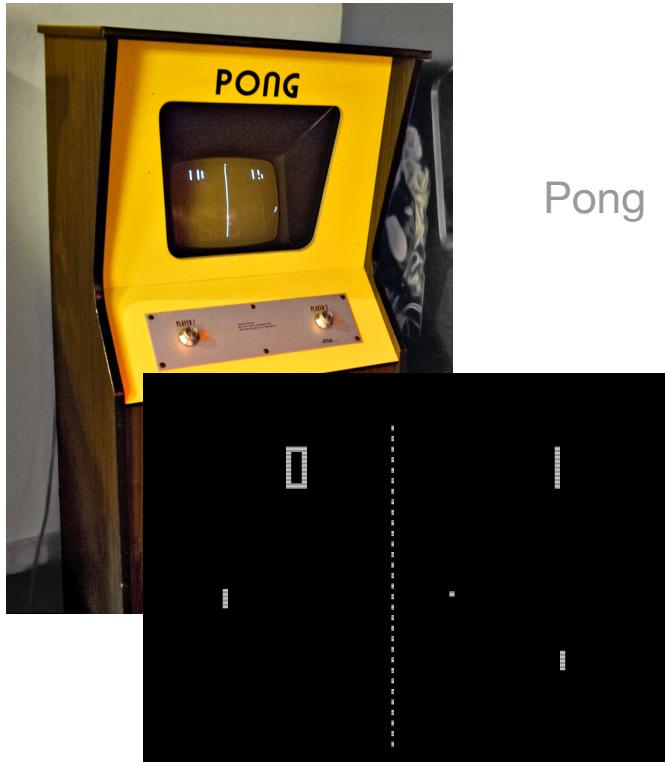
- Reconhecimento do potencial da interação homem-máquina
- Ciclo de interação é composto por:
 - a. *Mostrar*
 - b. *Acção do utilizador*
 - c. *Alteração do conteúdo a apresentar*

Sutherland contribuiu ainda para a área da computação gráfica com muitos algoritmos, alguns dos quais vão ser objeto de estudo.

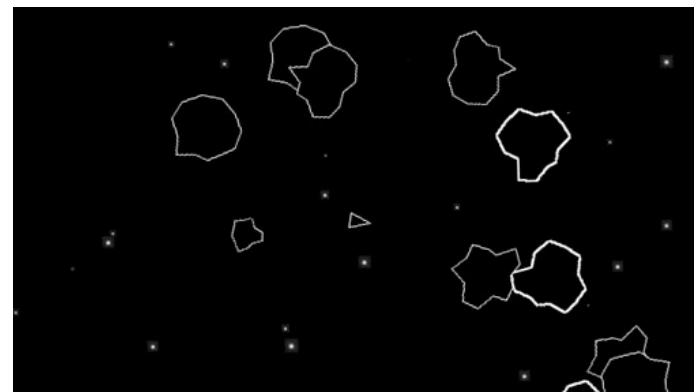


Ivan Sutherland
1998 Touring Award

Exemplos de jogos vetoriais



Pong



Asteroids

1970...1980

- Domínio dos gráficos *raster*
- Criação dos primeiros standards de sistemas gráficos para a programação de aplicações gráficas
 - IFIPS (International Federation of Information Processing Societies)
 - **GKS** - standard europeu que se torna no standard ISO 2D.
 - **Core** - standard norte americano que inclui 3D.
- Surgimento de estações de trabalho (*workstations*) e computadores pessoais (PCs)

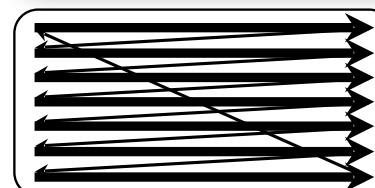
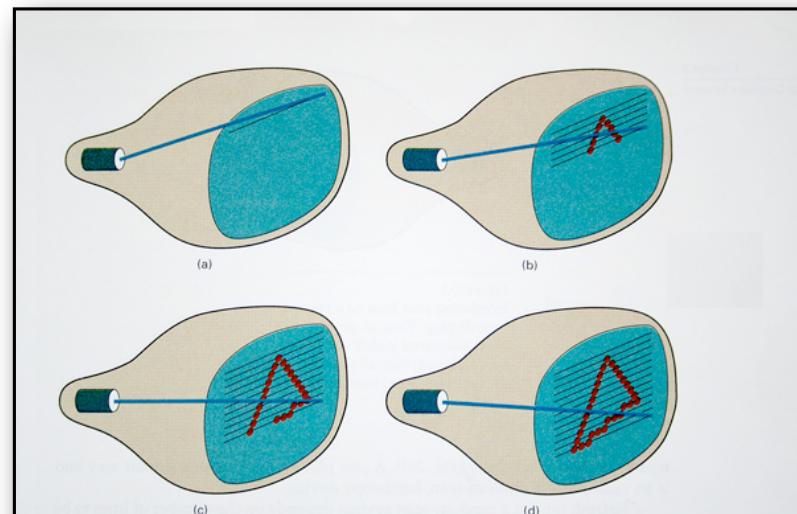
Dispositivo Raster

O ecrã é varrido ciclicamente, por linhas horizontais, durante as quais o(s) feixe(s) pode(m) ser ligado(s)/desligado(s) a intervalos regulares.

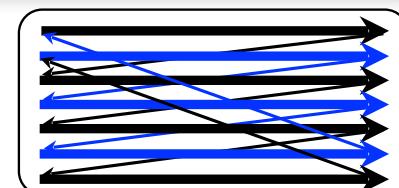
Retorno horizontal no final de cada linha e retorno vertical no final de cada imagem.

O varrimento e a granularidade temporal das operações de ligar e desligar o(s) feixe(s) criam uma grelha retilínea de pontos (*pixels*) que podem ser iluminados individualmente

pixel = *picture element*



Varrimento progressivo



Varrimento entrelaçado

Gráficos Raster

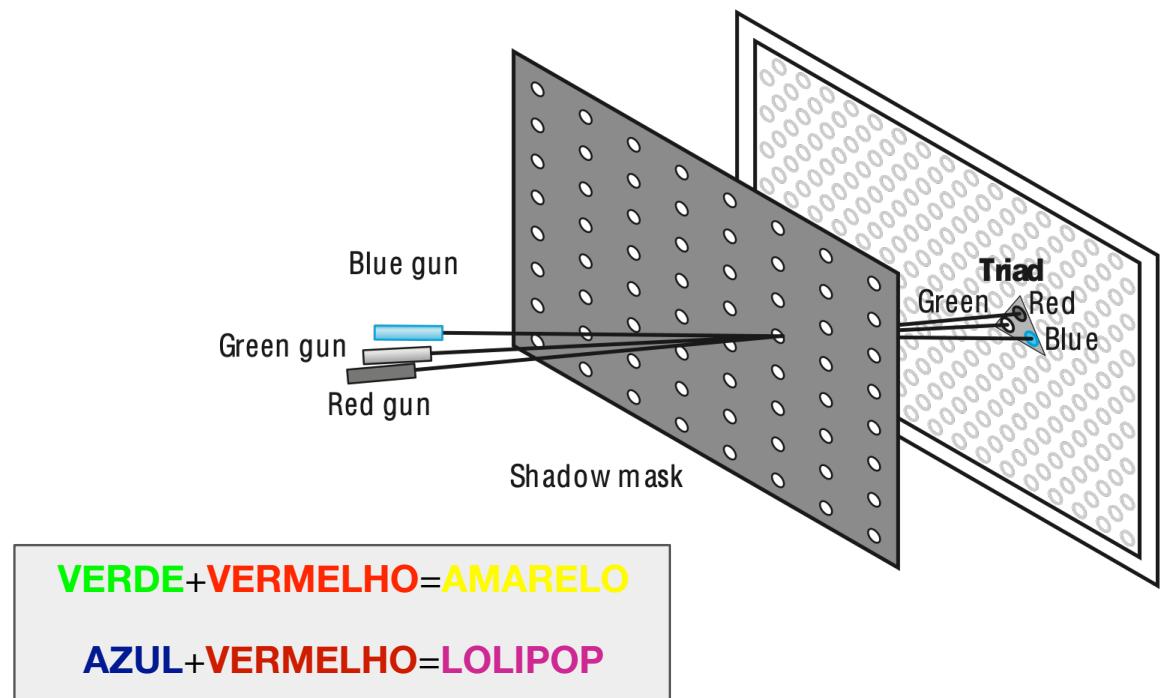
As imagens são formadas por uma tabela (array bidimensional) de elementos de imagem, ou pixels, numa zona de memória dedicada - *frame buffer*.



Dispositivo Raster a Cores: Tubo de raios catódicos

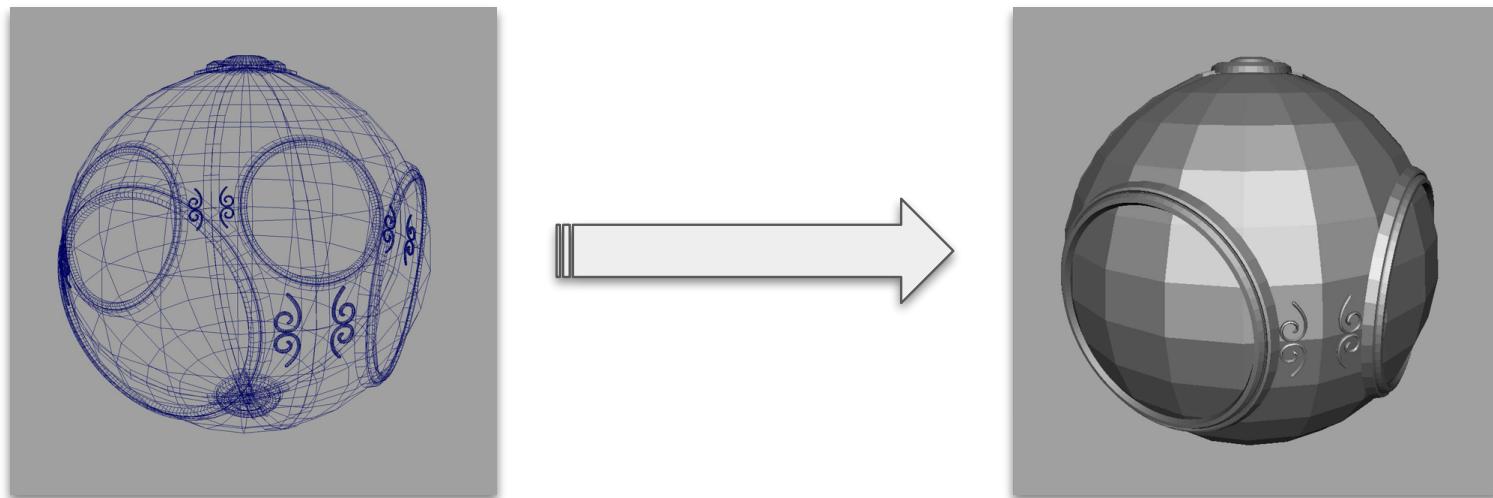
A intensidade de cada feixe pode ser controlada, fazendo variar a quantidade de electrões que atingem os pontos de fósforo (de cores diferentes)

As diferentes cores obtêm-se por adição de primários (cores das tríades de fósforo)



Gráficos Raster

Permitiram a passagem de visualizações assentes apenas na primitiva linha (wireframes), para imagens formadas com polígonos preenchidos. O desenho de linhas continua a ser possível, mas tem um preço ao nível da qualidade.

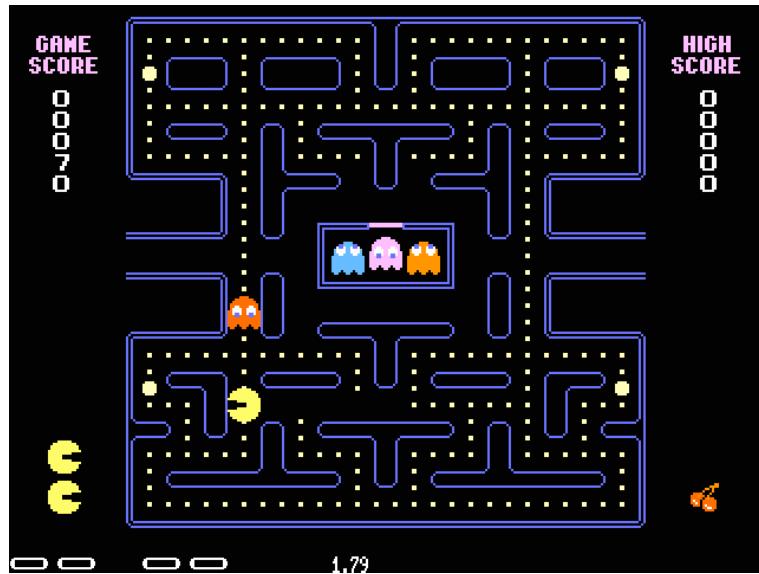


Workstation vs PC

Hoje em dia a distinção não faz muito sentido, sendo uma workstation um PC com hardware mais potente, mas originalmente os termos denotavam equipamentos bem diferentes:

- As primeiras workstations eram caracterizadas por estarem ligadas à rede, num ambiente cliente-servidor e por possuírem um elevado nível de interactividade (gráficos e poder de processamento)
- Os primeiros PCs com gráficos (por oposição aos que apenas eram capazes de mostrar texto) incluíam um *frame buffer* como parte da memória, tornando fácil a manipulação de imagens.

Exemplos de jogos raster



PAC MAN



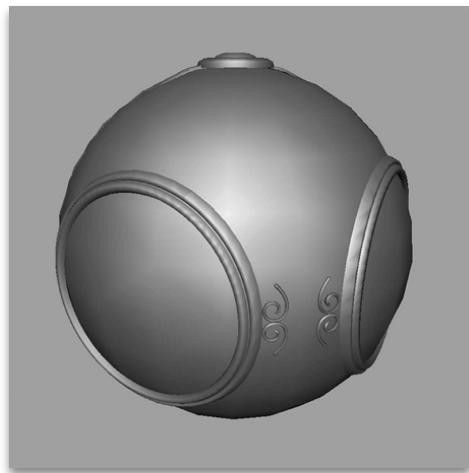
Space Invaders



Moon Patrol

1980...1990

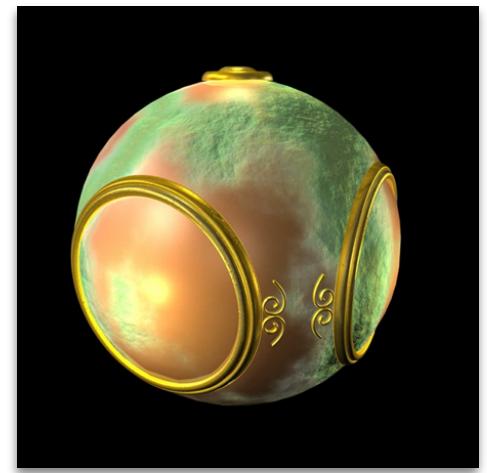
Desenvolvimento de técnicas assentes na aplicação de texturas como forma de aumentar o realismo.



Sombreamento suave
(sem texturas)



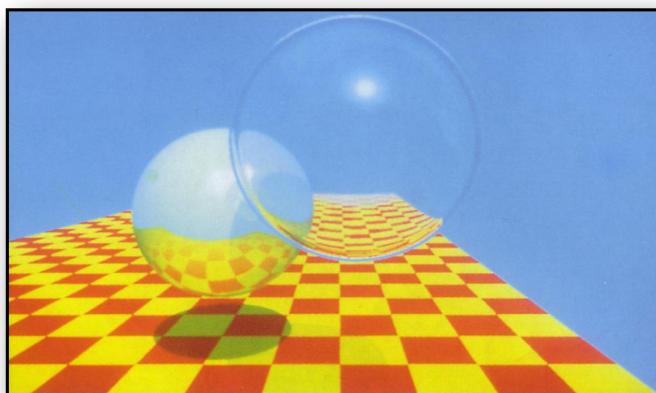
Environment mapping



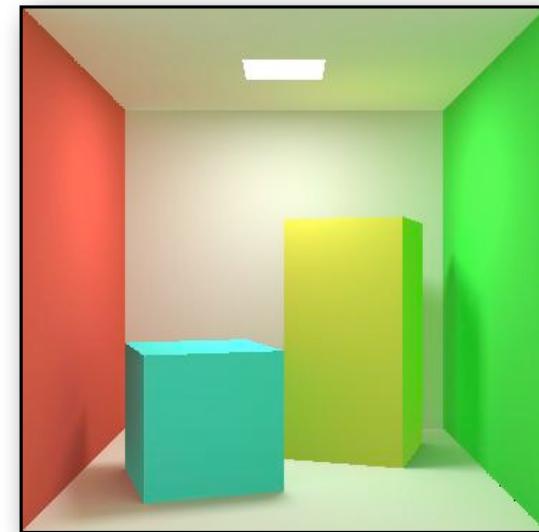
Bump mapping

1980...1990

Em busca do realismo com domínio de técnicas de *offline rendering*, por oposição a técnicas de geração em tempo real.



Ray tracing: reflexão especular, refracção,
sombras...



Radiosidade: reflexão difusa

1980...1990

Hardware especializado e disponível apenas em workstations:

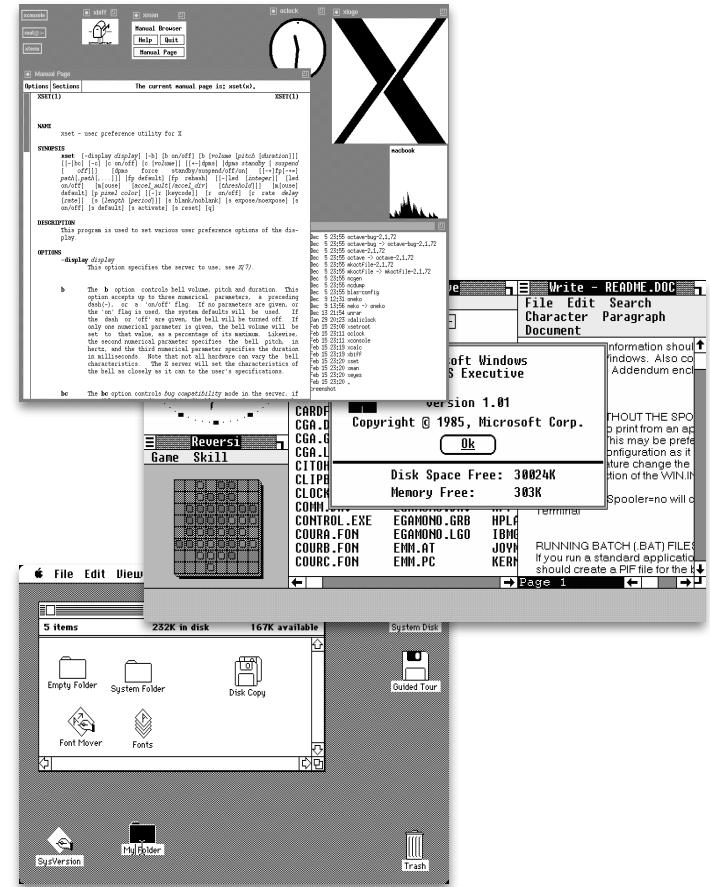
- Silicon Graphics geometry engine - implementação do pipeline gráfico em VLSI

Standards promovidos pela indústria:

- PHIGS
- Renderman

Gráficos em ambientes de rede (X Window System)

Human-Computer Interface HCI (Windows, Mac OS)



1990...2000

- OpenGL API, Direct X
- Longas metragens animadas e produzidas totalmente por computador (Toy Story)
- Avanços ao nível do hardware
 - Mapeamento de texturas
 - Blending (operações de composição)
 - Buffers para efeitos avançados (stencil, accumulation)
- Primeiras placas gráficas 3D para PC



3Dfx Voodoo Graphics
Daughter Card

2000...2010

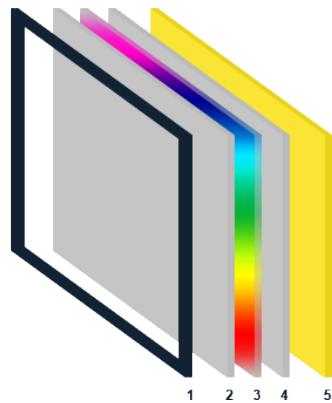
- Fotorealismo
- Hardware dominante - Placas gráficas para PC/Workstation:
 - Nvidia, AMD (ex-ATI)
- Tendências do mercado ditadas pelas consolas de jogos e jogadores
- Banalização do uso da computação gráfica na indústria cinematográfica e nos media visuais
- Pipelines programáveis (uso de shaders)
- Novas tecnologias para os ecrãs



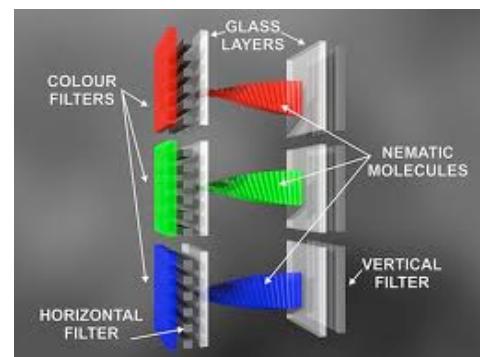
Flat Panel Display

Num LCD, a luz branca está permanentemente a ser emitida, por detrás, podendo ser bloqueada ao nível de cada pixel por um conjunto de filtros que formam os subpixels.

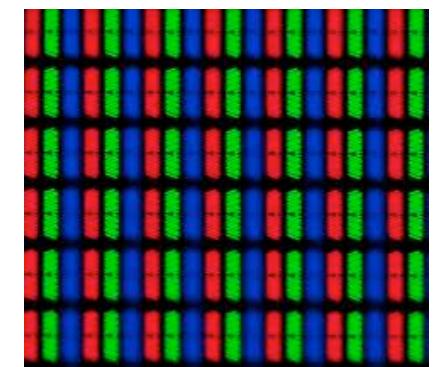
1. Bezel
2. Polarized Front Glass
3. Liquid Crystals
4. Polarized Rear Glass
5. Backlight



Esquema dum LCD



Controlo da intensidade



subpixels

2010...2020...

- Ubiquidade:
 - Telemóveis
 - Tablets
 - Dispositivos embbebidos (Car Infotainment)
- OpenGL ES e WebGL APIs
- Câmaras de profundidade (Depth camera)
- Realidade Aumentada e Realidade Virtual
- Filmes e TV 3D



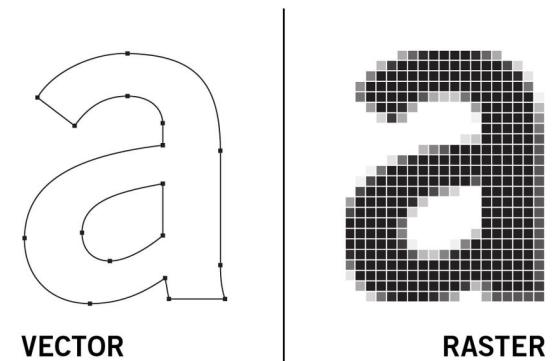
Sistema Gráfico e Dispositivos Gráficos

Dispositivos Gráficos - Formas de Classificação (I)

- Classificação em termos de funcionalidade
 - Dispositivos de **entrada** - responsáveis por fornecer dados às aplicações
 - Dispositivos de **processamento** - responsáveis pelo processamento de objetos gráficos com vista à sua visualização
 - Dispositivos de **visualização ou saída** - responsáveis pela exibição dos objetos gráficos

Dispositivos Gráficos - Formas de Classificação (II)

- Classificação relativa ao formato dos dados
 - Dispositivos **vetoriais** - os objetos gráficos são descritos em domínios contínuos. Ex: segmentos de recta e polígonos definidos pelas coordenadas dos seus vértices.
 - Dispositivos **matriciais (raster)** - os objetos gráficos são representados de forma discreta, num formato matricial. Cada elemento dessa grelha é um pixel (*picture element*), referenciado por um par de coordenadas inteiras.



<https://www.seekacreative.co.nz/resources/vector-vs-raster-files>

Dispositivos gráficos de entrada

- **Vetoriais**

Possuem um referencial associado

- **Absolutos** - coordenadas referidas em relação a uma posição fixa (mesa digitalizadora, painel de toque, caneta ótica, digitalizadora 3D)
- **Relativos** - medem deslocamentos relativos a uma posição corrente, mantida pela aplicação (rato, trackball, joystick)



- **Raster** (scanners, frame grabbers, film scanner)
A saída é uma matriz de pixels, especificada num formato padronizado



Dispositivos gráficos de visualização ou saída

- **Interativos**

Monitores de video, capazes de apresentar imagens, em sequência, proporcionando animações fluidas

- **Não interativos**

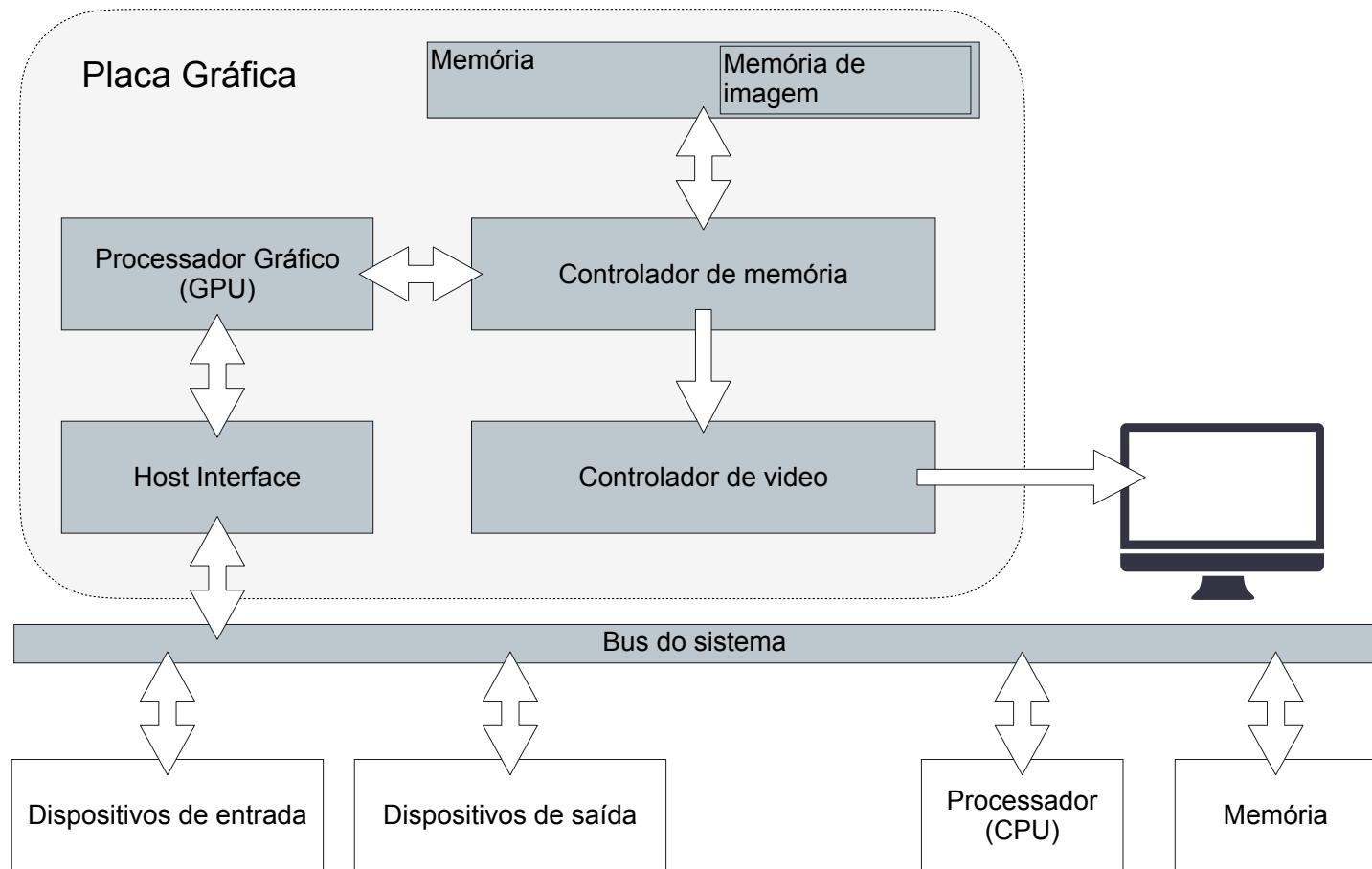
Dispositivos orientados para o desenho, tais como impressoras (2D e 3D) e traçadores gráficos (plotters)

Arquitetura Gráfica Raster

Predominância dos dispositivos *raster* para visualização

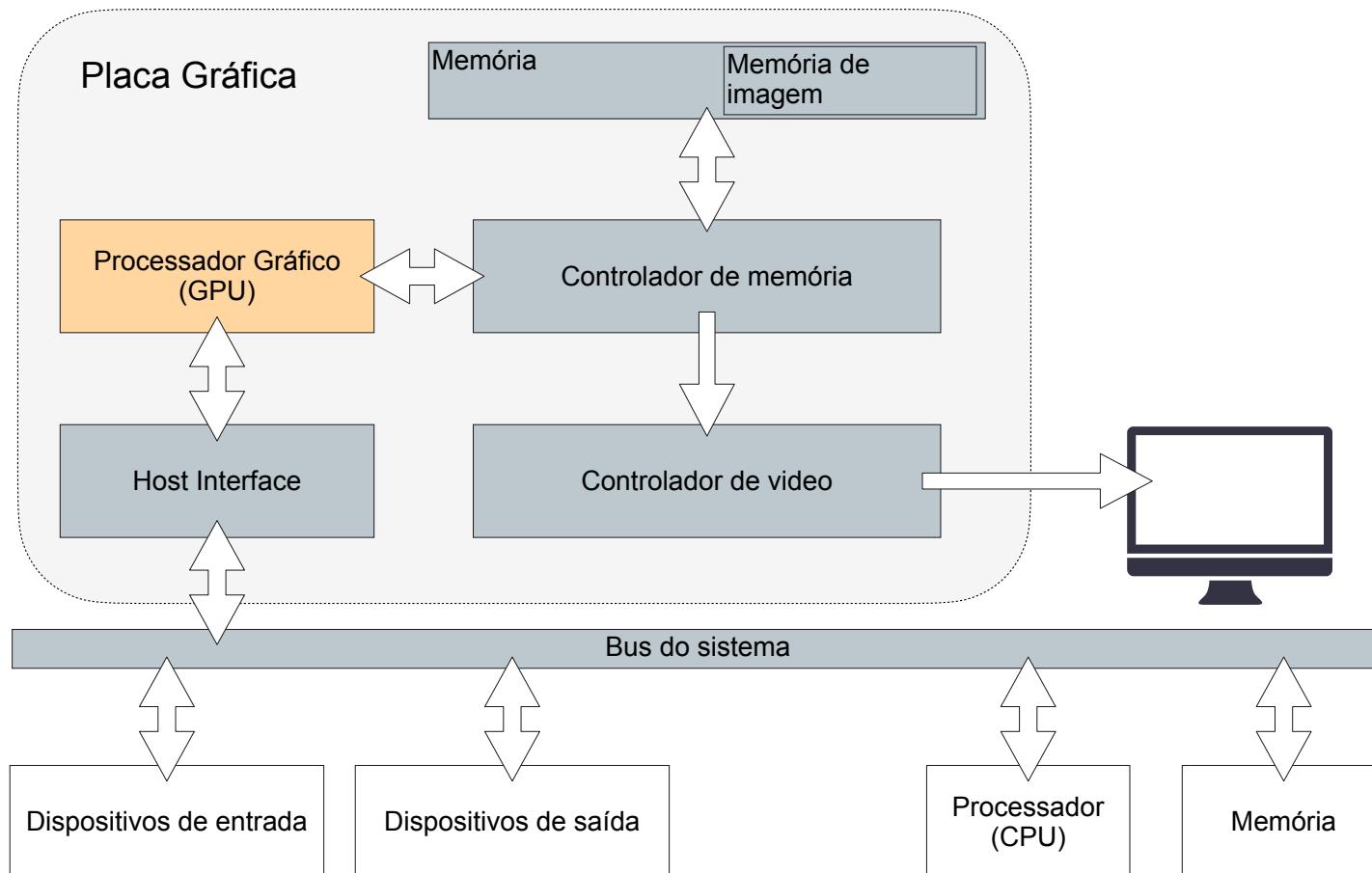
- Num dispositivo vetorial, o refreshamento da imagem é sucessivamente mais lento em função da complexidade dos objetos gráficos a visualizar.
- Num dispositivo *raster*, a complexidade mantém-se constante. O tempo para o refreshamento depende da resolução da imagem de saída.
- Consequentemente, os dispositivos vetoriais de visualização caíram em desuso com o aparecimento dos dispositivos *raster*.

Arquitetura gráfica raster



* retirado de “Pereira, et al.”

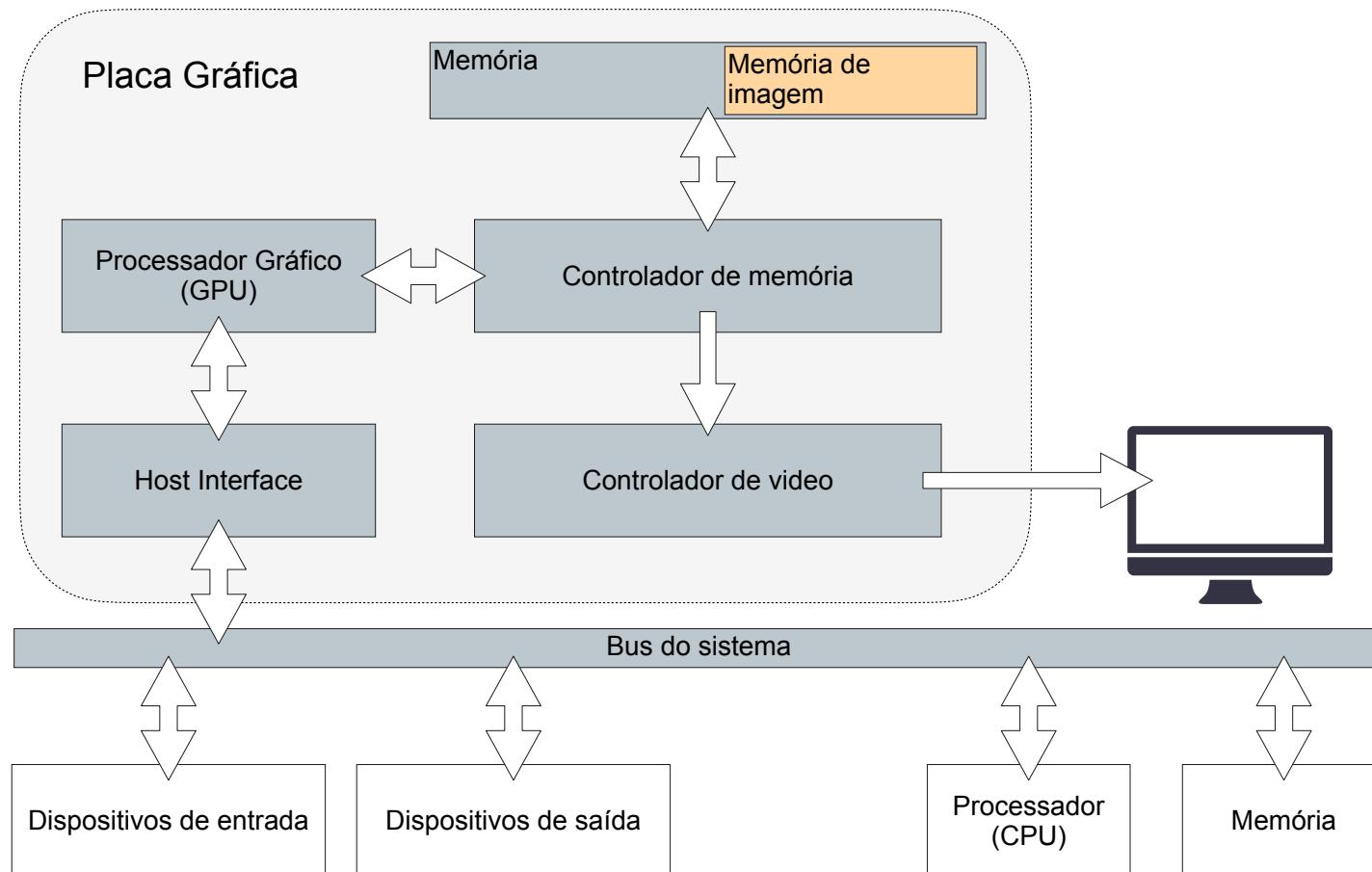
Arquitetura gráfica raster



- Durante a síntese dos objetos gráficos acede à memória de imagem
- Suporta o desenho de primitivas (pontos, linhas e triângulos)
- Desempenho pode medir-se em fps (frames per second)
- Suporta acesso a memória de imagem para texturas, transferência de blocos píxeis com operações lógicas e aritméticas sobre os mesmos
- Liberta o CPU das tarefas gráficas
- Os GPUs atuais, incorporam o controlador de vídeo e podem ser usados para programação "general purpose" (GPGPU)

* retirado de “Pereira, et al.”

Arquitetura gráfica raster



- Armazena o conteúdo da imagem corrente (eventualmente 2x, ou 3x)
- Cada pixel contém um ou mais bits de informação. O número de bits por pixel (profundidade) define o número de cores distintas que podem ser visualizadas em simultâneo
- A organização pode ser direta ou indexada
- A memória ocupada por cada imagem obtém-se (em pixels) multiplicando a largura, pela altura e pela profundidade
- A largura de banda necessária no acesso para gerar a imagem depende ainda do número de fps
- Atualmente usa-se memória de tipo VRAM com acesso duplo (1 random e 1 sequencial)

* retirado de “Pereira, et al.”

Cor indexada (Indexed Color) vs Cor Completa (True Color)

Imagem (índices)

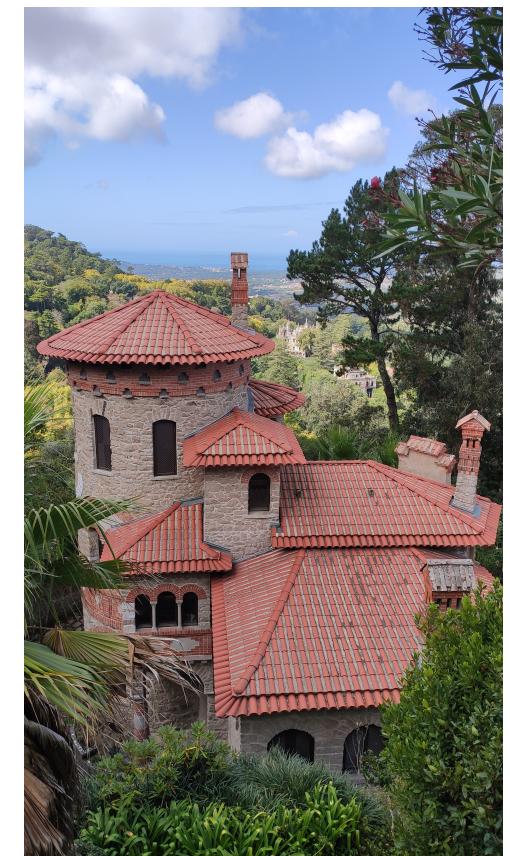
2	5	5	2
5	5	254	254
253	3	3	4
254	1	254	1
...
252			
253	74	73	88
254	104	102	118
255			

Tabela de tradução
(lookup table)

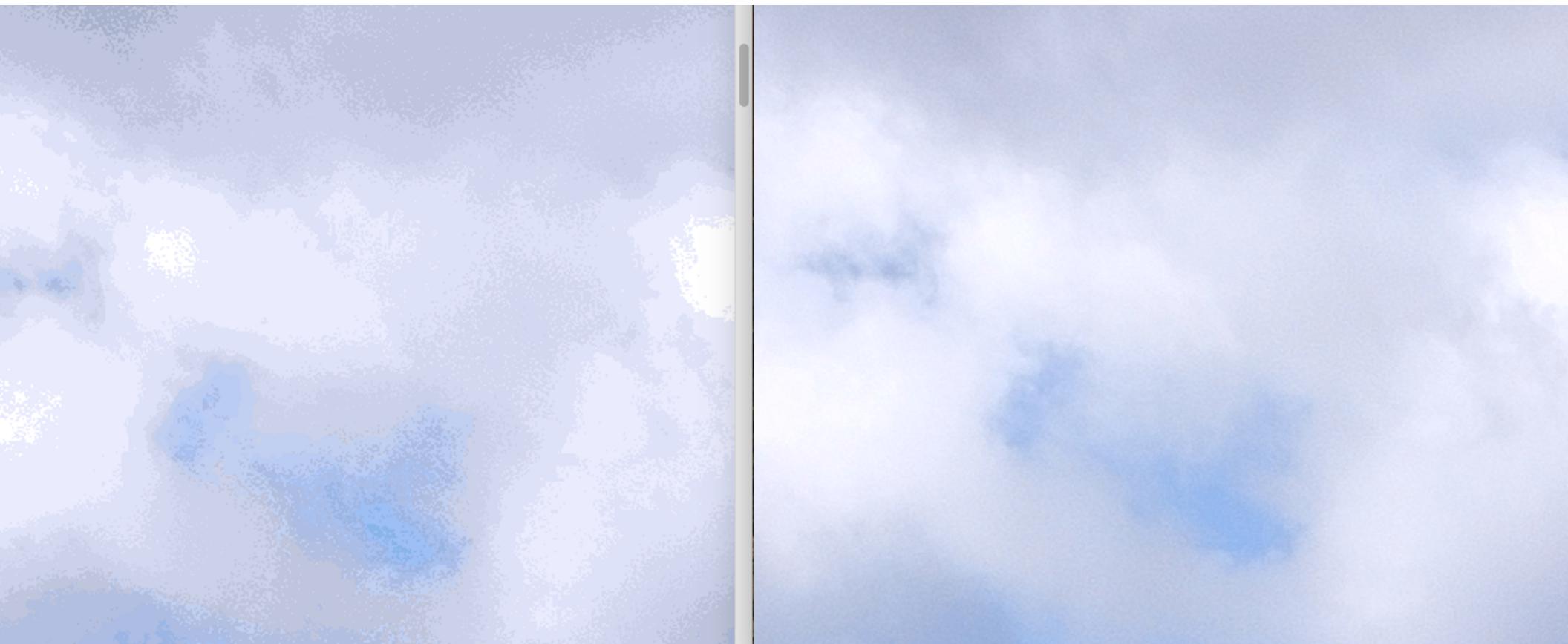
Index	R	G	B
0			
1	134	125	125
2	115	137	172
3	126	140	159
4	149	163	183
5	84	105	151
...			
252			
253	74	73	88
254	104	102	118
255			



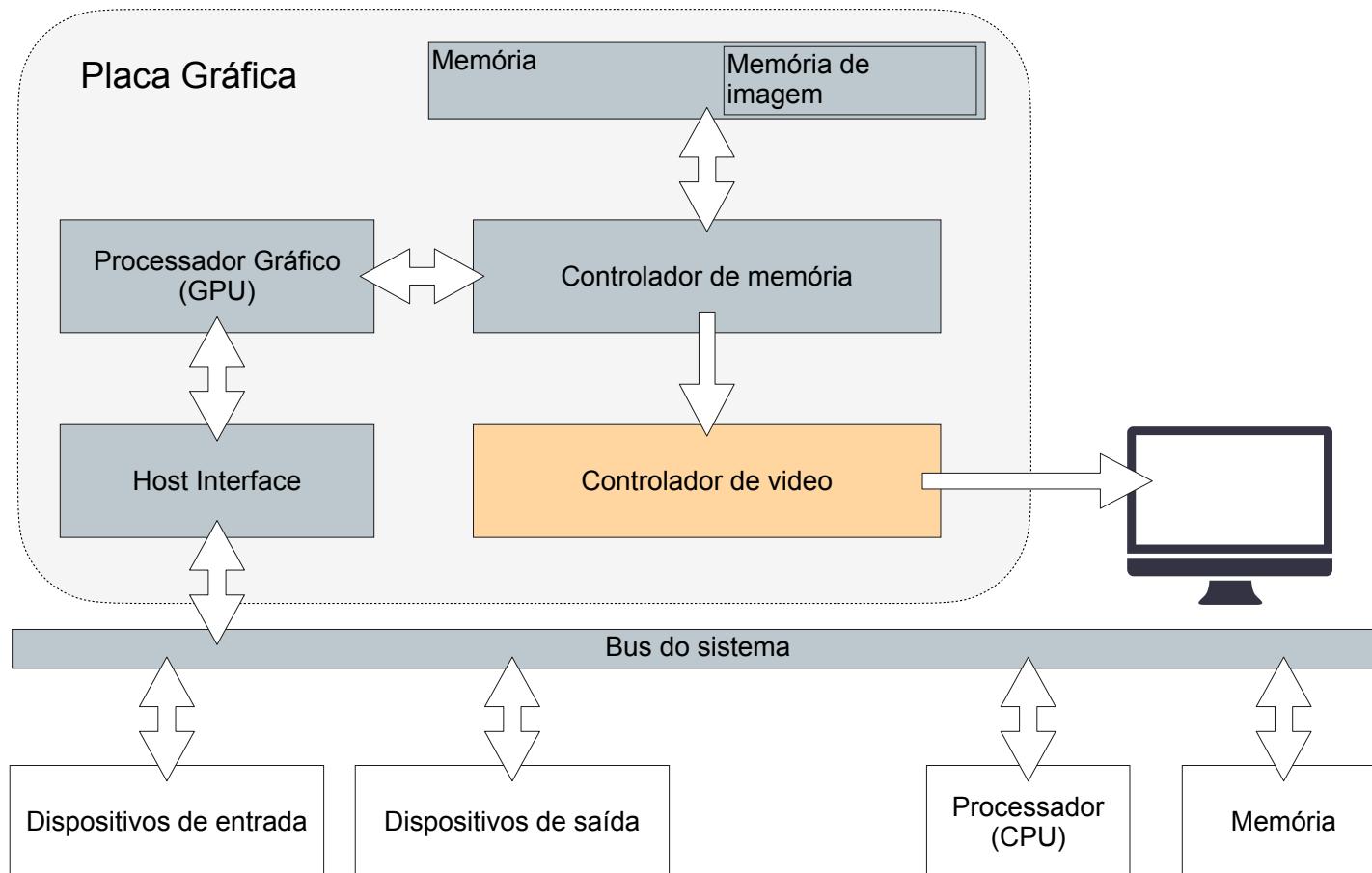
VS



Cor indexada (Indexed Color) vs Cor Completa (True Color)



Arquitetura gráfica raster



- Converte o conteúdo da memória de imagem numa sequência de sinais que alimentam o dispositivo de visualização
- Os sinais podem ser analógicos (SVGA) ou digitais (HDMI, DVI, DisplayPort, DP USB-C)
- A frequência de varrimento (em Hz) consiste no número de imagens afixadas por segundo
- A diferença de velocidade na geração e na afixação pode gerar artefactos visuais

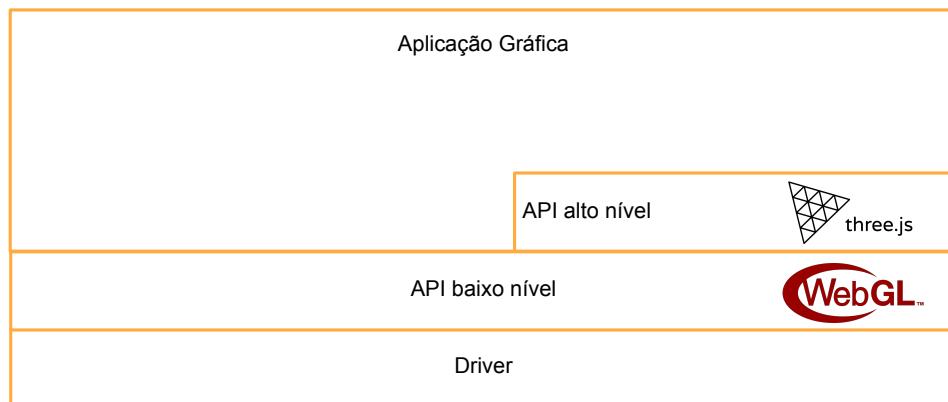
* retirado de “Pereira, et al.”

Exercício

- Qual a memória necessária para o *framebuffer* dum ecrã com resolução [UHD-1](#) (3840x2160), em formato Cor Completa?
 - R (em bytes): $3840 \times 2160 \times 3 = 24883200$
- E em cor indexada de 8 bits?
 - R (em bytes): $3840 \times 2160 \times 1 + 256 \times 3 = 8294400$
- E qual a largura de banda necessária para mostrar conteúdo UHD-1, cor completa, a 144fps?
 - R (em bytes/s): $24883200 \times 144 = 3583180800$ Bytes/s ($\approx 3,3371$ Gbytes/s)

Modelo em Camadas duma Aplicação Gráfica

Modelo em Camadas duma Aplicação Gráfica



* retirado de “Pereira, et al.”

- A utilização de APIs gráficas normalizadas promove a portabilidade das aplicações desenvolvidas
- Muito Baixo Nível
 - Metal
 - Vulkan
 - Direct3D11
- Baixo Nível
 - WebGL
 - OpenGL
 - Direct3D10
- Alto Nível
 - ThreeJS
 - Java3D
 - Unity
 - Unreal