



**Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE**  
**Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCET**  
**Curso de Ciência da Computação**

# **COMPUTAÇÃO GRÁFICA**

**CASCADEL - PR**  
**2025**

## SUMÁRIO

<b>UNIDADE 1 – HARDWARE GRÁFICO</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS DISPOSITIVOS	1
1.2.1 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO	2
1.3 OPERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS GRÁFICOS	2
1.3.1 MODELO DE INTERAÇÃO	3
1.4 ESTAÇÃO GRÁFICA	4
1.4.1 SISTEMA DE COORDENADAS DO DISPOSITIVO	4
1.5 EQUIPAMENTOS DE ENTRADA GRÁFICA	5
1.5.1 DISPOSITIVOS ABSOLUTOS DE ENTRADA VETORIAL	5
1.5.2 DISPOSITIVOS RELATIVOS DE ENTRADA VETORIAL	6
1.5.3 DISPOSITIVOS DE ENTRADA MATRICIAL	8
1.6 EQUIPAMENTOS DE SAÍDA GRÁFICA	9
1.6.1 MONITORES DE VÍDEO	9
1.6.2 DISPOSITIVOS DE SAÍDA VETORIAL	13
1.6.3 DISPOSITIVOS DE SAÍDA MATRICIAL	13
1.6.4 DISPOSITIVOS TRIDIMENSIONAIS	14
1.7 EQUIPAMENTOS DE PROCESSAMENTO GRÁFICO	15
1.7.1 DISPOSITIVOS DE PROCESSAMENTO VETORIAL	15
1.7.2 DISPOSITIVOS DE PROCESSAMENTO MATRICIAL	15

## **UNIDADE 1 – HARDWARE GRÁFICO**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

Os equipamentos desempenham um papel importante na computação gráfica. Não só pela relevância da imagem como um dos produtos da atividade, mas também pela influência de características dos equipamentos nos processos da área. Em alguns casos, como no desenvolvimento de interfaces com o usuário, torna-se impossível dissociar as duas coisas. Os diversos parâmetros de funcionalidade e desempenho dos dispositivos gráficos são determinados em grande parte pelas áreas de aplicação que os utilizam.

Neste capítulo vamos estudar os equipamentos utilizados em computação gráfica fazendo uma abordagem dos dispositivos gráficos do ponto de vista da classificação funcional, e em cada caso daremos alguns exemplos de equipamentos que se utilizam de diversos formatos gráficos.

### **1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS DISPOSITIVOS**

Os dispositivos gráficos são projetados usualmente de forma a privilegiar um dos dois formatos de especificação de objetos descritos acima. Isso não significa que um tipo de equipamento somente possa operar com um determinado formato de um objeto gráfico. Os dispositivos do tipo matricial podem, por exemplo, reproduzir gráficos vetoriais utilizando técnicas de rasterização. Alguns equipamentos deste tipo dispõem até mesmo de suporte em hardware para tal operação. Embora não seja tão comum, os dispositivos do tipo vetorial podem também reproduzir imagens utilizando padrões de linhas. Por exemplo, em mapas e desenhos técnicos, várias hachuras são empregadas para diferenciar áreas, simulando tonalidades de cinza.

Diversos fatores influenciam o desenvolvimento dos equipamentos gráficos. Dentre eles, podemos citar os fatores de natureza técnica, industrial e econômica, bem como a influência do próprio desenvolvimento das técnicas de computação gráfica.

Os fatores de natureza técnica, industrial e econômica fizeram com que os equipamentos vetoriais, que predominavam nos primórdios do desenvolvimento da área, dessem lugar aos equipamentos do tipo matricial. Com efeito, os dispositivos do tipo matricial necessitam do uso de muita memória para armazenar os objetos gráficos em sua forma matricial. Por outro lado, os dispositivos do tipo vetorial se beneficiaram da tecnologia utilizada de forma ampla nos osciloscópios, numa época em que o custo da memória inviabilizava o uso de dispositivos de formato matricial (1960-70). Já os dispositivos do tipo matricial foram impulsionados na década de 80 por dois fatores: a queda do preço de memória, e a revolução provocada pelo rápido crescimento da indústria de televisão. Os avanços recentes nas áreas de supercomputação e da computação paralela, tem tido um impacto significativo nos dispositivos de processamento gráfico.

A influência da evolução das técnicas da computação gráfica na evolução dos equipamentos também é relevante. Inicialmente, quando havia grande concentração de pesquisas relacionadas com a criação e representação de objetos gráficos tridimensionais no computador, os dispositivos vetoriais eram os mais populares. Isso porque esses dispositivos permitiam a visualização do objeto e sua manipulação em tempo real. No entanto os dispositivos vetoriais não reproduzem os

diversos atributos de textura dos objetos em cena. Desse modo, quando a ênfase nas pesquisas da área passou da fase de criação de modelos para o processo de síntese de imagens realistas, os equipamentos matriciais passaram a ter maior importância.

Atualmente, a tendência é a busca de soluções integradas usando dispositivos que possam combinar representação vetorial e matricial de objetos gráficos. De um modo geral, os dispositivos vetoriais estão vinculados à especificação e manipulação dos modelos geométricos; os dispositivos matriciais estão relacionados com a exibição, o processamento, e a análise de imagens. Do ponto de vista tecnológico, ao invés de se utilizar dispositivos genuinamente vetoriais, utilizam-se dispositivos matriciais que fazem a representação vetorial de objetos gráficos através do processo de rasterização.

### 1.2.1 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO

No estudo dos dispositivos gráficos é necessário criar abstrações das suas características operacionais de modo que o vínculo entre programas e equipamentos não se transforme num fator de dependência. Vários aspectos contribuem para o estabelecimento de critérios para uma classificação dos equipamentos gráficos. Nessa análise definiremos categorias de equipamentos estruturadas hierarquicamente segundo dois pontos de vista: o funcional, e o do formato dos objetos gráficos.

Em relação ao critério funcional, podemos dividir os dispositivos gráficos em três tipos: **equipamentos de entrada**, **equipamentos de processamento** e **equipamentos de saída**.

- **equipamentos de entrada:** são os equipamentos cuja finalidade é capturar informações gráficas para o computador;
- **equipamentos de processamento:** são computadores com uma arquitetura especial orientada para a manipulação de objetos gráficos;
- **equipamentos de saída:** são dispositivos que permitem a exibição de objetos gráficos.

Quanto ao formato de dados os dispositivos gráficos se dividem em equipamentos do **tipo vetorial** e do **tipo matricial**. Os dispositivos do tipo vetorial podem por sua vez ser classificados de acordo com a dimensão do espaço vetorial a eles associados em dispositivos bidimensionais, tridimensionais, etc. O diagrama da Figura 1.1 ilustra o uso dos dois formatos de objetos gráficos em um sistema.

### 1.3 OPERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS GRÁFICOS

Do ponto de vista do usuário, podemos classificar os dispositivos gráficos quanto aos diferentes modos de operação. Nesse caso eles se dividem nas classes de dispositivos **interativos** e **não-interativos**. A diferença central entre estes dois modos de operação está no papel desempenhado pelo usuário na utilização do equipamento.

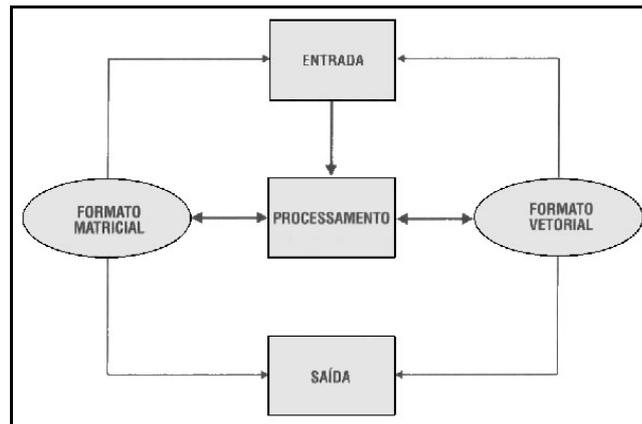


Figura 1.1 – Formatos de dados no processamento gráfico

No modo interativo o usuário participa ativamente do processo fechando o ciclo

**entrada → processamento → saída**

que se dá necessariamente em tempo real; isto é, o tempo de resposta às ações do usuário não é perceptível. Os dispositivos gráficos interativos são, portanto, utilizados de forma integrada em **estações de trabalho**.

No modo não-interativo o usuário atua passivamente, controlando os dispositivos gráficos para aquisição de dados ou produção de imagens, que geralmente não é feita em tempo real. Os dispositivos gráficos não-interativos são, em geral, utilizados de forma independente para a execução de tarefas específicas, não sendo crítico o seu relacionamento como outros equipamentos do sistema computacional.

### 1.3.1 MODELO DE INTERAÇÃO

O processo interativo, como dissemos anteriormente, combina a entrada, o processamento, e a saída de objetos gráficos em tempo real. Um modelo para o desenvolvimento de tarefas de interação estabelece classes lógicas de funções gráficas que podem ser implementadas em diversos dispositivos físicos, utilizando diversas técnicas de interação. Essas funções lógicas são: keyboard, locator, valuator, button e pick.

- o **keyboard** tem como finalidade a entrada de dados textuais na forma de cadeias de caracteres. Sua implementação pode ser feita de forma a possibilitar a edição de linhas e até mesmo de blocos de texto;
- o **locator** tem como finalidade a entrada de dados vetoriais;
- o **valuator** tem como finalidade a entrada de dados escalares, isto é, números reais;
- os **buttons** tem como finalidade a seleção de um ou mais elementos de um conjunto discreto de opções;
- a função **pick** tem como objetivo identificar um objeto numa coleção de objetos apresentada graficamente.

Essas funções implementam o conceito de **dispositivo lógico**, de modo a criar uma definição independente dos dispositivos físicos. Dessa maneira, introduz-se um nível de abstração que isola as funções de interação com o usuário das

particularidades de operação dos equipamentos.

## 1.4 ESTAÇÃO GRÁFICA

O nome **estação gráfica** ou **estação de trabalho** tem sido utilizado para representar uma família de equipamentos gráficos que possuem uma característica arquitetônica comum, que consiste em se adicionar a uma arquitetura tradicional de computadores elementos específicos para o processamento gráfico. Desse modo uma estação gráfica consiste em dispositivos de entrada e saída, memória e CPU, conforme mostramos no diagrama da Figura 1.2.

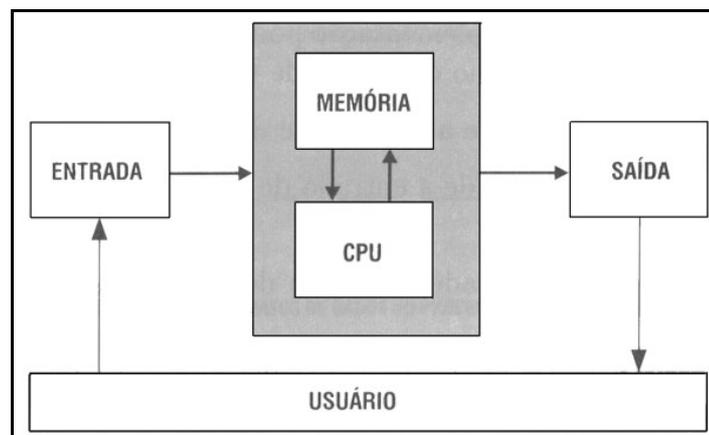


Figura 1.2 – Estação gráfica

Normalmente, as estações gráficas possuem um dispositivo para processamento gráfico que é chamado de **processador gráfico**. Esse dispositivo em geral possui processamento próprio com memória, e sua arquitetura é projetada para realizar várias operações gráficas com alto grau de eficiência. Essas operações podem ser do tipo vetorial (traçado de segmentos de reta, círculos, etc.) ou matricial (com imagens). É muito comum também se implementar vários tipos de transformações geométricas no processador gráfico.

Para finalizar, deve-se observar que na evolução dos computadores pessoais vem se substituindo as placas gráficas, que são dispositivos de saída matriciais, por processadores gráficos. Esse fato vem fazendo com que a linha divisória entre microcomputadores e estações gráficas diminua a cada dia. Por outro lado, as estações gráficas têm evoluído lançando mão das últimas inovações tecnológicas e se transformando no que se chama de superestações gráficas.

### 1.4.1 SISTEMA DE COORDENADAS DO DISPOSITIVO

Cada dispositivo gráfico possui um sistema de coordenadas associado, em relação ao qual os dados são referenciados. Esse sistema de coordenadas é chamado de **sistema de coordenadas do dispositivo**. A especificação dos dados nesse sistema de coordenadas pode ser feita de forma relativa ou absoluta. No caso relativo às coordenadas de posição são referenciadas a partir do ponto corrente, e o dispositivo é chamado de **dispositivo de coordenadas relativas**. No caso absoluto a posição é dada em relação a uma origem, fixa, do sistema e o dispositivo é

chamado de **dispositivo de coordenadas absolutas**.

## 1.5 EQUIPAMENTOS DE ENTRADA GRÁFICA

Do ponto de vista do formato da imagem os dispositivos de entrada gráfica podem ser classificados como vetoriais e matriciais.

Os dispositivos de entrada vetorial são em sua maioria utilizados como componentes de estações gráficas interativas. Um exemplo típico é o “mouse”, componente indispensável em uma estação de trabalho interativa que utilize ambiente de janelas.

Os dispositivos de entrada matricial são tradicionalmente utilizados de modo não interativo devido, principalmente, ao grande volume de dados que devem ser manipulados. Esta situação tende a se modificar com a evolução dos equipamentos de aquisição, exibição e processamento de imagens, que poderão tornar possíveis aplicações em tempo real envolvendo dados matriciais.

### 1.5.1 DISPOSITIVOS ABSOLUTOS DE ENTRADA VETORIAL

Exemplos de dispositivos cujo sistema de coordenadas é absoluto são: o “*light pen*”, a “*tablet*”, o “*touch panel*”, o “*3D digitizer*” e a “*data glove*”. As características técnicas relevantes dos dispositivos de entrada vetorial são a sua resolução, linearidade, repetibilidade e área de ação.

O ***light pen*** é um dispositivo bidimensional que funciona necessariamente acoplado a um terminal de vídeo. Este equipamento é composto por uma caneta com uma fotocélula na ponta ligada ao circuito de vídeo do terminal. Dessa maneira é possível detectar pontos apresentados na tela e conseqüentemente sua localização. Este dispositivo surgiu com os primeiros equipamentos gráficos interativos. Atualmente ele caiu em desuso devido a alguns problemas técnicos apresentados.

O ***touch panel*** também é um dispositivo bidimensional de entrada que deve ser integrado a um terminal de vídeo. Ele consiste em uma tela transparente, sensível ao toque, que é sobreposta à tela do terminal. Este dispositivo apresenta severas limitações em termos de resolução. Por este motivo, ele é indicado apenas para a seleção de objetos gráficos apresentados na tela. Um exemplo desse tipo de utilização pode ser visto em alguns terminais eletrônicos de banco, e em terminais de informação ao público.

A ***tablet*** ou ***mesa digitalizadora*** consiste em uma base plana e um instrumento indicador em forma de caneta ou bloco. No indicador existem um ou mais botões. O equipamento fornece a posição do indicador em relação ao sistema de referência da base, juntamente com o estado dos botões (“*on*” ou “*off*”). Com relação aos dados de entrada a *tablet* é um dispositivo bidimensional. Em alguns modelos é possível especificar a pressão exercida na ponta da caneta e também a orientação (latitude e longitude) da caneta. Estes dados podem ser interpretados de maneira bastante efetiva em um programa de pintura eletrônica, para permitir a simulação de instrumentos de desenho tradicionais como o pincel, o crayon, etc. A Figura 1.3 exibe uma *tablet*.

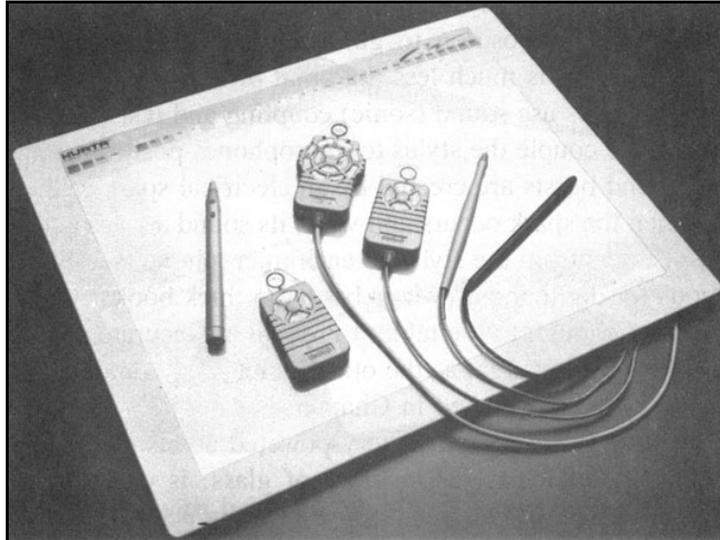


Figura 1.3 – Um modelo de tablet ou mesa digitalizadora

O **3D digitizer** permite captar posição (X, Y, Z) e orientação ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) no espaço tridimensional. Este dispositivo é constituído por um emissor magnético e um sensor que, em geral, tem a forma de uma caneta. Esse dispositivo é bastante conveniente para digitalizar diretamente pontos da superfície de um objeto tridimensional.

A **data glove** é uma luva com uma malha de fibras óticas ao longo dos dedos, e um sensor tridimensional semelhante ao 3D digitizer. Além da posição e orientação, ela permite identificar as configurações das articulações dos dedos. O grau de liberdade de entrada de dados desse dispositivo é muito alto, e permite uma interação natural no espaço ambiente tridimensional. Por essa razão, elas têm sido muito utilizadas em aplicações que simulam “Realidades Virtuais”. A Figura 1.4 exhibe um destes equipamentos.



Figura 1.4 – Equipamento utilizado em aplicações que simulam “Realidades Virtuais”

### 1.5.2 DISPOSITIVOS RELATIVOS DE ENTRADA VETORIAL

Os dispositivos vetoriais mais comuns que operam com referencial relativo são: o “mouse”, a “trackball”, o “joystick”, os “dials”, a “spaceball”, e os

equipamentos do tipo *force-feedback*. Esses dispositivos registram deslocamentos que são transformados em informações de movimento relativo. Isso implica que o programa de controle do dispositivo tem que manter a posição corrente que é atualizada a cada movimento relativo.

O **mouse**, como foi dito anteriormente, é um dos dispositivos de entrada gráfica mais comuns atualmente por estar associado às estações de trabalho que utilizam sistemas de janelas.

A **trackball** é constituída por uma esfera que gira livremente numa base. Os movimentos de rotação em relação a dois eixos ortogonais são transformados em informações de posição de maneira semelhante à do mouse.

O **joystick** é formado por uma haste conectada a uma base. Em geral, o movimento da haste é transformado em um vetor de velocidades que controla a variação dos dados posicionais. Ou seja, na medida em que a haste se afasta do eixo central, a velocidade aumenta proporcionalmente naquela direção. Alguns tipos de joystick possuem um terceiro grau de liberdade, associado à rotação da haste. Esse dispositivo é utilizado com frequência como interface de entrada dos *videogames*. A Figura 1.5 exibe um joystick com 3 graus de liberdade.

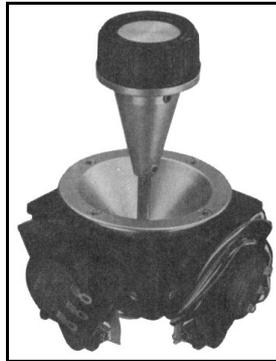


Figura 1.5 – Um modelo de joystick com 3 graus de liberdade (rotação do eixo)

A **spaceball** é uma esfera rígida que tem sensores de esforço. As forças aplicadas na esfera em uma determinada direção são traduzidas em informações de translação e rotação relativas, correspondendo ao movimento infinitesimal da esfera no espaço. Na Figura 1.6 é exibido um modelo de spaceball.



Figura 1.6 – Um modelo de spaceball com 6 graus de liberdade

Os **dials** são potenciômetros tipicamente montados em grupos de seis ou oito. Os potenciômetros fornecem valores escalares e podem ter uma faixa de rotação fixa menor do que 360 graus, ou podem permitir a rotação livre. No primeiro caso o intervalo escalar dos dados é mapeado na faixa de operação do dispositivo, enquanto no segundo caso os dados são especificados de forma relativa. A Figura 1.7 exibe um modelo de dial.

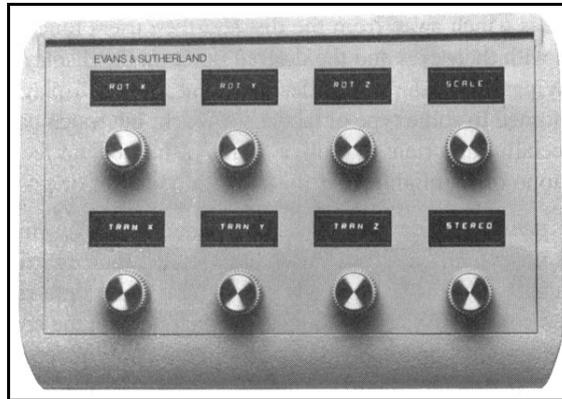


Figura 1.7 – Um modelo de dial composto por oito potenciômetros

Recentemente, tem aumentado o número de equipamentos do tipo “force feedback”. Este tipo de dispositivo além de fornecer dados de posição e orientação, oferece resistência em resposta às ações do usuário.

### 1.5.3 DISPOSITIVOS DE ENTRADA MATRICIAL

A estrutura dos dispositivos de entrada do tipo matricial consiste em um sensor que capta sinais no espaço ambiente e um circuito analógico-digital que converte esses sinais analógicos para o formato matricial. (Ver Figura 1.8)

O processo de conversão de uma imagem para uma imagem digital é conhecido como **digitalização**. Os dispositivos de entrada matricial são em sua maioria destinados à digitalização de imagens. Dependendo do meio no qual se encontra a imagem a ser digitalizada temos o “*frame grabber*”, o “*scanner*”, o “*film scanner*” e o “*depth scanner*”.

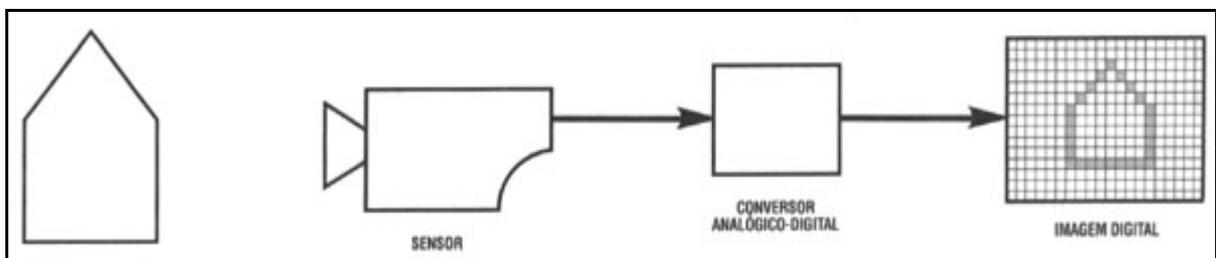


Figura 1.8 – Dispositivo de entrada matricial

O **frame grabber** faz a digitalização a partir de um sinal analógico de vídeo. O sinal de vídeo pode ser gerado diretamente por uma câmera ou por um equipamento de reprodução de vídeo. A resolução geométrica da imagem digitalizada é a resolução de vídeo, que é aproximadamente de 512x512 pixels. Os

dispositivos mais sofisticados digitalizam com uma resolução de cor de 24 bits.

O **scanner** digitaliza a partir de imagens em papel. A imagem é colocada sobre uma superfície transparente, em geral plana ou cilíndrica, que se move numa direção ortogonal a um elemento de digitalização de linha. Esse elemento se compõe de uma fonte de luz e de um sensor que mede a luz refletida linha por linha, em sincronismo com o deslocamento da imagem. A resolução deste dispositivo está situada entre 200 e 4000 pontos por polegada. Um dispositivo semelhante é o **film scanner**, que obtém uma imagem digital a partir de imagens em transparências, utilizando o laser para maior resolução. Este dispositivo também atinge resoluções superiores a 2000 dpi (“dots per inch”).

O **depth scanner** ao invés de digitalizar uma imagem, ele captura informações de uma cena tridimensional, produzindo uma matriz de coordenadas com a profundidade de cada ponto da cena. A estrutura dessa matriz depende do processo de varredura utilizado. Os tipos mais comuns possuem varredura plana que fornece informações sobre seções transversais, ou cilíndrica que dá informações sobre seções longitudinais.

## 1.6 EQUIPAMENTOS DE SAÍDA GRÁFICA

Analogamente aos dispositivos de entrada, podemos subdividir os equipamentos de saída gráfica em vetoriais ou matriciais, de acordo com o tipo de dado gráfico por eles manipulado. Dentre todos os equipamentos gráficos de saída, os **dispositivos de exibição de vídeo** são, sem dúvida alguma, os mais importantes e mais comuns. A tecnologia de vídeo implica em uma série de características comuns aos equipamentos vetoriais e matriciais. Por esse motivo, iniciaremos esta seção analisando a estrutura básica dos dispositivos de exibição de vídeo. Em seguida discutiremos os detalhes específicos dos diversos tipos de equipamentos de vídeo no contexto dos dispositivos vetoriais e matriciais.

### 1.6.1 MONITORES DE VÍDEO

Monitor de vídeo é o nome genérico dado ao dispositivo de saída gráfica que se utiliza de um tubo CRT (*Cathode Ray Tube*), plasma, LCD (*Liquid Crystal Display*), OLED (*Organic Light-Emitting Diode*) ou AMOLED (*Active Matrix Organic Light-Emitting Diode*). Na realidade essa classe de dispositivos de exibição constitui-se em quatro elementos: um monitor, um controlador de vídeo, uma **memória de exibição** e um **conversor digital analógico** (ver Figura 1.9).

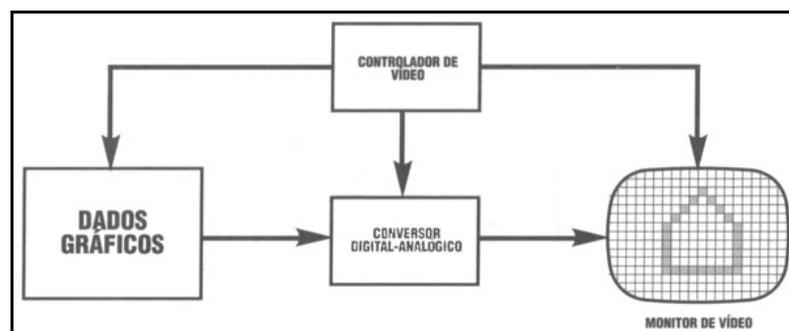


Figura 1.9 – Dispositivo de vídeo

- **MONITORES CRT:**

O monitor CRT (Figura 1.10–a) consiste em um tubo de raios catódicos com uma tela e um canhão. Este produz um ou mais feixes de elétrons, cuja intensidade é variável, e são controlados por um sistema de focalização e exploração. Em cada ponto da tela se coloca uma ou mais camadas de fósforo, de modo que ao atingir um desses pontos o feixe de elétrons dirigido provoca a emissão de radiação eletromagnética na faixa visível do espectro.

Como a resposta luminosa do fósforo utilizado na tela decai exponencialmente com o tempo a imagem precisa ser redesenhada periodicamente. O número de vezes por segundo que a imagem deve ser exibida na tela, para que seja percebida como um fenômeno contínuo no tempo, é chamado de **frequência crítica de fusão**. Este número é determinado por fatores psicofisiológicos. Em média essa frequência se situa próximo a 50 Hz.

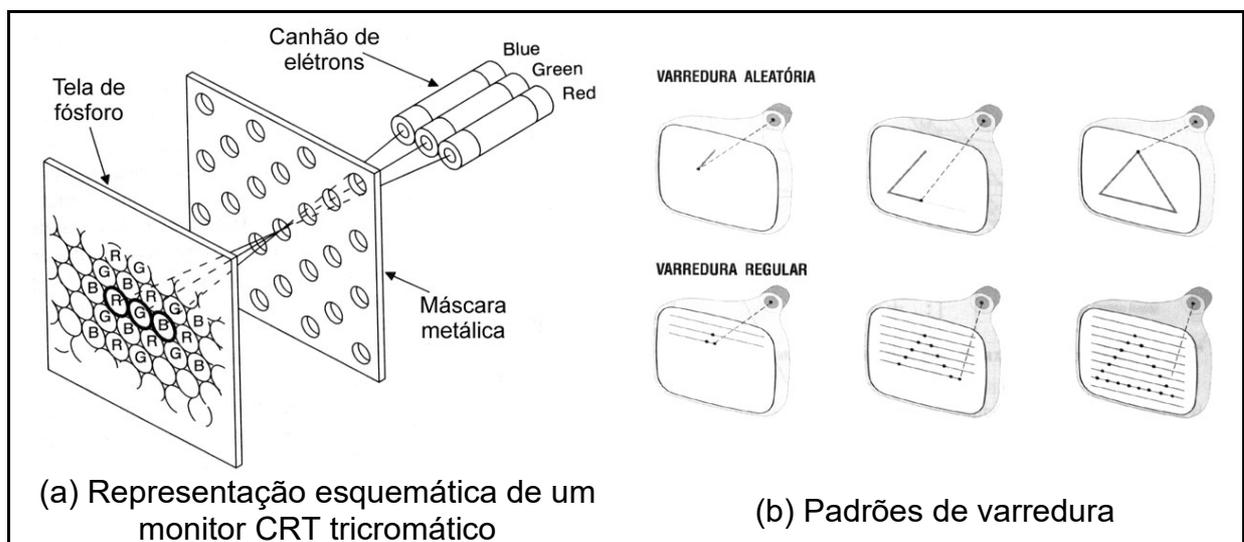


Figura 1.10 – Monitores CRT

Nos monitores CRT o **controlador de vídeo**, também chamado de DPU (*Display Processing Unit*), tem a finalidade de controlar o movimento de exploração na tela do feixe de elétrons, para que a imagem desejada seja produzida. Esse processo, denominado de **varredura** pode ser aleatório ou regular. Na varredura aleatória, o feixe se desloca numa trajetória que segue o desenho das curvas da imagem. Na varredura regular, o feixe se movimenta de acordo com um padrão fixo que percorre toda a tela da esquerda para a direita e de cima para baixo, cobrindo-a por linhas horizontais. Este padrão regular é chamado de **raster**. A Figura 1.10–b ilustra os dois padrões utilizados. Os monitores com tecnologia genuinamente vetorial empregam a varredura aleatória enquanto os monitores de exibição matricial empregam a varredura regular.

- **MONITORES DE PLASMA:**

Nas telas de plasma gases nobres contidos em minúsculas células revestidas com fósforo, nas cores primárias, são ionizados por um campo elétrico e agem como lâmpadas fluorescentes microscópicas, emitindo luz.

As células de uma tela de plasma são organizadas em uma matriz de milhares de pontos (*pixels*). Cada *pixel* é composto por três células que emitem luz em diferentes comprimentos de onda. O microprocessador associado à tela envia energia elétrica individualmente a cada célula, no mínimo 24 vezes por segundo,

para criar a imagem. Variando-se a intensidade da corrente elétrica aplicada a cada célula, varia-se também a intensidade da luz emitida, obtendo até 68 bilhões de cores (36 *bits*). A Figura 1.11 apresenta a representação esquemática de uma tela de plasma.

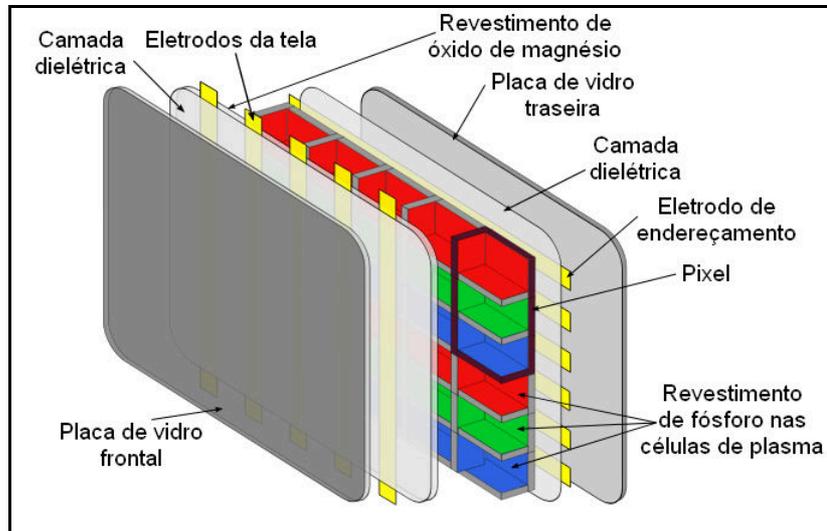


Figura 1.11 – Representação esquemática de uma tela de plasma

Fonte: Adaptado de Laamanen, J. (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1829066>)

As telas de plasma possuem um ângulo de visão semelhante ao dos televisores (CRT), pois seu princípio básico de funcionamento não depende da polarização da luz, como acontece nas telas LCD.

- **MONITORES DE LCD:**

Este tipo de monitor usa um material que, apesar de não ser líquido, comporta-se como tal. Por isso, ficou conhecido como cristal líquido. Em sua constituição mais simples, as moléculas de cristal líquido são distribuídas entre duas lâminas transparentes polarizadas chamadas substratos. Este processo é orientado de maneira diferente nas duas lâminas, de forma que estas formem eixos polarizadores perpendiculares, como se formassem um ângulo de 90°. Simplificadamente é como se uma lâmina recebesse polarização horizontal, enquanto a outra polarização vertical, formando um esquema do tipo “linhas e colunas”.

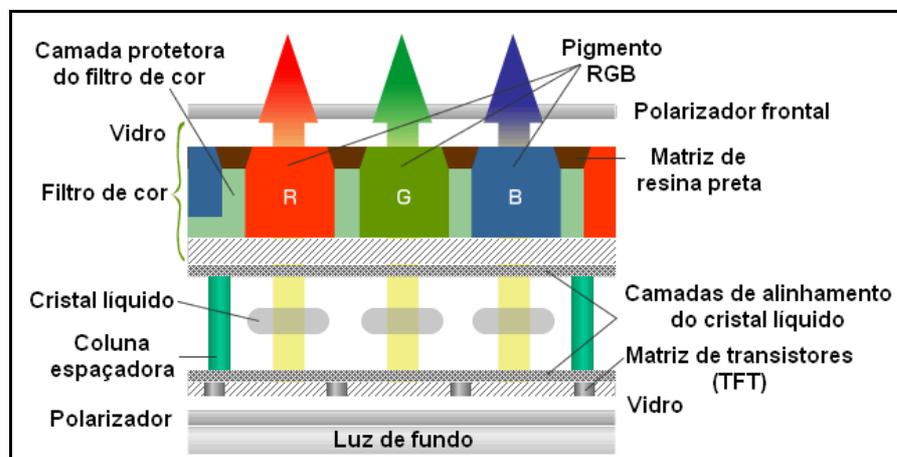


Figura 1.12 – Camadas componentes de uma tela LCD

As moléculas de cristal líquido são capazes de orientar a luz. Quando uma imagem é exibida em um monitor LCD, elementos elétricos presentes nas lâminas geram campos magnéticos que induzem o cristal líquido a orientar a luz oriunda da fonte luminosa para formar o conteúdo visual. Sempre que necessário, uma tensão diferente pode ser aplicada, fazendo com que as moléculas de cristal líquido se alterem de maneira a impedir a passagem da luz. A Figura 1.12 ilustra as diferentes camadas de uma tela LCD.

- **MONITORES OLED E AMOLED:**

OLED e AMOLED são duas tecnologias que guardam semelhanças com o LED (*Light Emitting Diode*), mas diferem em sua composição, pois se trata de um material orgânico (carbono) que emitem luz quando recebem uma carga elétrica. Esses diodos são bastante pequenos; assim, cada pixel da tela pode receber este material de modo a ser iluminado individualmente.

Os OLED são capazes de gerar luz, dispensando a necessidade de retroiluminação presente nas telas LCD. Por isso as telas OLED são muito mais finas que as LCD; tão finas que é possível produzir telas flexíveis. Também são mais eficientes no consumo de energia, geram cores mais nítidas, suportam maior ângulo de visão e oferecem menor tempo de resposta.

A principal diferença entre OLED e AMOLED é que telas compostas com esta última tecnologia são do tipo matriz ativa. As telas OLED com matriz passiva são orientadas com um esquema de transistores organizados em linhas e colunas, assim como acontece com as telas LCD passivas; em telas AMOLED, os transistores são aplicados pixel a pixel usando uma camada de TFT, o que deixa sua fabricação um pouco mais complexa. Mas, deste processo, surgem várias vantagens como telas com tempo de resposta ainda menor e cores mais vivas.

A **memória de exibição** armazena os dados que vão ser utilizados para gerar a imagem. Através do conversor digital analógico os valores armazenados nessa memória são convertidos para uma voltagem que é utilizada pelo canhão para gerar o feixe de elétrons, no caso de monitores CRT, ou acionar os circuitos responsáveis por iluminar cada pixel, no caso das demais tecnologias. Nos dispositivos matriciais, a memória de exibição, chamada de **frame buffer**, é organizada em uma estrutura matricial de modo a armazenar os valores de cada cor dos pixels da imagem. O tamanho da memória de exibição determina a resolução de cor e a resolução geométrica da imagem. A tabela 1.1 apresenta o número de bits, por pixel, necessários para representar determinadas quantidades de cores.

Tabela 1.1 – Número de bits, por pixel, necessários para representar diferentes quantidades de cores

Número de Cores	Número de Bits	Número de Bytes
2	1	1/8
16	4	1/2
256	8	1
65536	16	2
16777216	24	3

Nos dispositivos vetoriais a memória de exibição contém instruções de desenho com as coordenadas de tela dos objetos gráficos. Este conjunto de instruções, denominado de **lista de exibição** (*"display list"*), é executado

ininterruptamente pela controladora de vídeo para manter a imagem visível na tela.

### 1.6.2 DISPOSITIVOS DE SAÍDA VETORIAL

Os dispositivos de saída vetorial produzem imagens traçando segmentos de reta, descritos pelas coordenadas de seus pontos iniciais e finais. Nesta categoria de equipamentos temos: o display caligráfico, o display de armazenamento e os plotadores.

O **display caligráfico** é um dispositivo de exibição de vídeo interativo. O sistema de varredura é aleatório e o fósforo do monitor de baixa persistência, ou seja, o feixe de elétrons se movimenta livremente sobre a tela e a imagem precisa ser regenerada constantemente. Essas características permitem a manipulação em tempo real dos dados.

O **display de armazenamento** ou DVST (“*Direct View Storage Tube*”) dispõe de um monitor de vídeo de alta persistência. Nesse equipamento a imagem traçada é mantida na tela através de um circuito especial, sem necessidade de regeneração. Uma desvantagem desse tipo de monitor é que partes da imagem não podem ser modificadas sem que a imagem inteira seja apagada e redesenhada. Esses monitores têm uma importância histórica em computação gráfica: devido ao baixo custo, pelo fato de não necessitar de uma memória de exibição, ele deu início à grande expansão das aplicações gráficas da computação gráfica nas diversas áreas do conhecimento humano.

Os **plotadores** são equipamentos eletromecânicos para o desenho de linhas sobre papel ou filme. Esse equipamento é constituído por um suporte para superfície de desenho, e um mecanismo de controle do instrumento de traçado. Quanto ao suporte os plotadores podem ser de **mesa** ou de **tambor**. Quanto ao mecanismo de desenho os plotadores podem ser do tipo **contínuo** ou **incremental**.

### 1.6.3 DISPOSITIVOS DE SAÍDA MATRICIAL

Os dispositivos de saída matricial produzem imagens a partir de uma imagem digital em geral codificada como uma matriz de intensidades. Nesta categoria de equipamentos temos: o *display raster*, o painel de plasma, o display de cristal líquido, as impressoras gráficas e o *film recorder*.

O **display raster** consiste em um monitor, um controlador de vídeo e uma memória de exibição que armazena a imagem digital codificada em forma matricial. Projetores de vídeo também podem ser utilizados nos displays raster em substituição aos monitores.

O **painel de plasma** é constituído por uma matriz de células microscópicas de neon não precisando, portanto, de memória adicional nem de regeneração de imagem.

O **display de cristal líquido** é semelhante ao painel de plasma, mas utiliza células de cristal líquido na matriz de imagem. Essa tecnologia tornou-se padrão de mercado, pois são capazes de apresentar imagens em alta qualidade, com tela plana e baixo consumo de energia.

As **impressoras de impacto** são destinadas principalmente para saída alfanumérica. Algumas delas, do tipo “*dot matrix*” tem capacidade gráfica.

As **impressoras gráficas** podem utilizar uma técnica de reprodução

eletrostática, térmica ou por jato de tinta. As **impressoras eletrostáticas** utilizam um feixe de laser, ou de raio infravermelho, para formar a imagem em um cilindro carregado eletricamente. Partículas de *toner* atraídas para a superfície do cilindro são em seguida transferidas para o papel. As **impressoras térmicas** transferem seletivamente pigmentos de tinta para o papel por calor. As **impressoras de jato de tinta** possuem uma cabeça de impressão que lança gotículas de tinta no papel por meio de pequenos jatos. As impressoras gráficas podem ser monocromáticas ou coloridas.

O **film recorder** registra em película fotográfica imagens geradas por computador. Para reproduzir a cor o filme é exposto três vezes, através de filtros, para as componentes de cor azul, verde e vermelho.

#### 1.6.4 DISPOSITIVOS TRIDIMENSIONAIS

Além dos dispositivos de saída gráfica convencionais, que operam em duas dimensões, existem alguns equipamentos que produzem a ilusão de tridimensionalidade e outros que produzem formas tridimensionais reais. Estes equipamentos podem ser considerados dispositivos gráficos tridimensionais. Dentre estes devemos destacar: o *display* estereoscópico, o "*head-mounted display*", as impressoras tridimensionais e as máquinas ferramenta de controle numérico. Os dois primeiros são utilizados em aplicações científicas e simulações de "realidade virtual", enquanto os dois últimos são utilizados em sistemas de CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*).

O **display estereoscópico** consiste em um dispositivo de exibição de vídeo, acoplado a um sistema que permite mostrar alternadamente, e em rápida sucessão, imagens correspondentes aos olhos direito e esquerdo do observador. O sistema mais comum emprega um obturador eletrônico, colocado na frente da tela do monitor, que polariza a luz sucessivamente em duas direções diferentes. Para perceber o efeito de tridimensionalidade o observador deve usar óculos com lentes polarizadas.

O **head-mounted display** consiste em um par de monitores de vídeo montados em um conjunto que é adaptado à cabeça do observador, de modo que a imagem de cada monitor seja vista por apenas um de seus olhos. Em geral, esse equipamento inclui um sensor de posição para possibilitar a geração de imagens correspondendo ao ponto de vista de um observador em movimento.

Os **dispositivos de impressão tridimensional** produzem modelos sólidos reais; isto é, verdadeiras esculturas, a partir dos objetos modelados no computador. A geração da escultura se baseia em um processo de varredura espacial, que realiza a forma tridimensional por camadas. Existem dois tipos de tecnologia para essa finalidade: a estereolitografia e a deposição por fusão. O processo de estereolitografia emprega um feixe de laser que solidifica um polímero sensível à luz ultravioleta. O processo de deposição por fusão utiliza um filamento termoplástico que é depositado por um mecanismo de extrusão.

As **máquinas ferramenta de controle numérico** são equipamentos tradicionais de fabricação, tais como tornos, fresadoras e laminadoras que podem ser comandadas por computador. A forma final é esculpida a partir de blocos sólidos de material por instrumentos de corte de precisão.

## 1.7 EQUIPAMENTOS DE PROCESSAMENTO GRÁFICO

Dois problemas recorrentes no equacionamento da arquitetura dos equipamentos gráficos de processamento estão relacionados com aspectos de funcionalidade e acoplamento. O primeiro aspecto diz respeito ao grau de especialização das funções do processador gráfico. Processadores especializados são mais eficientes e caros, enquanto processadores de propósito geral são mais flexíveis e baratos. O segundo aspecto diz respeito ao canal de comunicação do processador gráfico com o sistema de computação. Um alto acoplamento possibilita um acesso rápido aos dados do sistema, mas implica em grande interdependência. Em contrapartida, um baixo acoplamento permite maior independência entre o processador gráfico e o sistema, mas implica em uma comunicação restrita entre eles.

Estes aspectos estão claramente inter-relacionados. Um processador gráfico especializado necessita de um canal de comunicação de alta capacidade porque muitas das funções gráficas serão realizadas pelo processador principal. Por outro lado, um processador gráfico mais geral dispõe de recursos para executar localmente grande parte das funções de visualização, podendo ter um canal de comunicação limitado com o computador principal.

Existe uma tendência na indústria de equipamentos gráficos que consiste em gradativamente adicionar funcionalidade aos processadores gráficos especializados, até que eles se tornem equivalentes a um computador de uso geral. A única opção que existe então, é completar o ciclo voltando à especialização. Este fenômeno é conhecido na literatura sob a denominação de a “roda da reencarnação”.

### 1.7.1 DISPOSITIVOS DE PROCESSAMENTO VETORIAL

Os dispositivos do tipo vetorial se destinam principalmente ao processamento de modelos geométricos. Eles atuam, portanto, sobre as coordenadas dos diversos componentes dos modelos, tais como segmentos de reta, polígonos, etc. Em função dos processadores podemos ter dispositivos do tipo SISD (“*single-instruction, single data stream*”), ou MISD (“*multiple-instruction, single data stream*”).

Os dispositivos do tipo SISD são uniprocessadores que possuem instruções especiais para processamento de dados geométricos, do tipo multiplicação de matrizes por vetores.

Os dispositivos do tipo MISD são *pipelines* compostas de vários processadores organizados sequencialmente. O processamento gráfico é dividido em etapas onde cada processador é especializado numa classe de operações gráficas, como projeção, recorte, etc.

### 1.7.2 DISPOSITIVOS DE PROCESSAMENTO MATRICIAL

Os dispositivos do tipo matricial são equipamentos multiprocessadores utilizados para o processamento de imagens, para a rasterização e outros algoritmos gráficos paralelizáveis. Podemos ter dispositivos do tipo SIMD (“*single-instruction, multiple data stream*”), ou MIMD (“*multiple-instruction, multiple data stream*”) com diferentes configurações dos processadores.

Os dispositivos do tipo SIMD são utilizados para realizar a mesma operação em vários elementos simultaneamente. Os dispositivos do tipo MIMD são processadores paralelos que se comunicam entre si. A maneira como eles estão interligados define uma topologia de rede, e conseqüentemente o fluxo de dados.