

3. Dispositivos Gráficos

3.1 Relevância

Os dispositivos gráficos desempenham um importante papel na Computação Gráfica, não apenas por permitirem a interação dos usuários com as aplicações gráficas, mas também por estarem intimamente relacionados à evolução destas aplicações.

A evolução dos dispositivos gráficos e a evolução das aplicações gráficas mantêm uma simbiótica relação. A evolução dos dispositivos gráficos influencia fortemente o desenvolvimento das aplicações gráficas, principalmente no que diz respeito ao projeto de interface destas aplicações. Algumas vezes a disponibilidade de uma nova tecnologia de equipamentos gráficos permite que se criem novos paradigmas de interação. Um exemplo típico desta afirmação foi o surgimento do *mouse*, que permitiu a criação dos sistemas de interface predominantes nas aplicações gráficas atuais, conhecidos como sistemas de “janelas”.

Da mesma forma que as aplicações gráficas são influenciadas pela evolução dos dispositivos gráficos, as necessidades apresentadas pelas aplicações gráficas estimulam o desenvolvimento de novos equipamentos. Um exemplo da influência das aplicações gráficas na evolução dos equipamentos foi o aparecimento dos dispositivos matriciais de rastreamento, resultante da evolução destas aplicações no sentido de gerar imagens foto-realistas. Exemplos mais recentes são os equipamentos criados de modo a permitir a interação com aplicações de realidade virtual.

Diante deste panorama, percebe-se que o conhecimento dos dispositivos gráficos é extremamente relevante para o estudo da Computação Gráfica.

3.2 Classificação

Os dispositivos gráficos podem ser classificados segundo critérios diversos. Quanto à sua **funcionalidade** os dispositivos gráficos classificam-se em dispositivos de entrada, dispositivos de processamento e dispositivos de saída. Os dispositivos gráficos de **entrada** são aqueles cuja função é capturar informações para as aplicações. Os dispositivos de **processamento** apresentam arquiteturas especiais destinadas à manipulação de objetos gráficos. Finalmente, os dispositivos gráficos de **saída** são aqueles responsáveis por permitir a exibição de objetos gráficos.

Outro tipo de classificação dos dispositivos gráficos diz respeito ao **formato de dados** por eles privilegiado. Quanto a este aspecto os dispositivos classificam-se em vetoriais e matriciais. No formato **vetorial**, os atributos geométricos dos objetos gráficos são definidos em um domínio contínuo. Estes atributos geométricos são definidos através de coordenadas no espaço e definem a geometria dos objetos. Alguns exemplos de objetos gráficos definidos vetorialmente são segmentos de reta definidos através das coordenadas de seus pontos extremos; polígonos definidos por uma seqüência de pontos com suas respectivas coordenadas; círculos definidos através das coordenadas de seu centro e através de seu raio; curvas paramétricas definidas através das coordenadas de seus pontos de controle.

No formato **matricial**, por outro lado, os objetos gráficos são definidos em um domínio discreto. Usualmente, este domínio discreto constitui-se de uma matriz de pontos através dos quais os objetos gráficos são definidos. A Figura 3-1 apresenta um círculo representado vetorial e matricialmente.

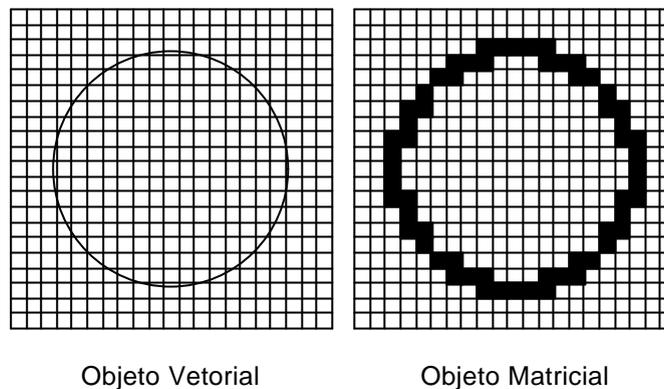


Figura 3-1

Vale ressaltar que o fato de alguns dispositivos privilegiarem um determinado formato de dados não significa que estes dispositivos não possam trabalhar com o outro formato. Os dispositivos matriciais, por exemplo, podem exibir dados vetoriais através do uso de técnicas de **rasterização**, ou seja, da transformação de dados vetoriais em dados matriciais. Na 2ª, o objeto à direita é resultado da rasterização do círculo à esquerda. O caso contrário, embora seja menos comum, também é possível de acontecer. Pode-se utilizar diversos tipos de hachuras, simulando diferentes tons de cinza, para o preenchimento de áreas em dispositivos vetoriais.

Finalmente, pode-se também classificar os dispositivos gráficos segundo o papel desempenhado pelo usuário durante a utilização destes dispositivos. Assim, quanto ao **modo de interação** com os usuários, os dispositivos gráficos classificam-se em interativos ou não-interativos. Os dispositivos **interativos** são aqueles que permitem que o usuário participe ativamente do ciclo “entrada-processamento-saída”, que, neste caso, acontece em tempo-real. O usuário fornece entradas às aplicações, estas entradas são processadas por estas aplicações, e o resultado deste processamento é de alguma forma exibido ao usuário. De acordo com a saída exibida, o usuário pode realizar novas entradas e reiniciar o ciclo, modificando o seu trabalho até que ele esteja satisfeito. Para permitir que o usuário participe ativamente deste processo, o tempo de resposta dos dispositivos interativos é desprezível, ou seja, suas respostas às ações do usuário parecem ser instantâneas.

Utilizando dispositivos gráficos **não-interativos**, o usuário atua passivamente, controlando estes dispositivos para aquisição de dados ou geração de imagens, que geralmente não ocorrem em tempo-real, ou seja, neste caso o tempo de resposta dos dispositivos é perceptível ao usuário.

Nas próximas seções serão apresentados os diversos equipamentos gráficos de acordo com a classificação aqui discutida.

3.3 Dispositivos Gráficos de Entrada

Seguindo a classificação exposta no item 3.2, os dispositivos gráficos de entrada classificam-se em vetoriais e matriciais. Devido ao grande volume de dados manipulados pelos dispositivos de entrada matriciais o tempo de resposta destes dispositivos não é suficientemente pequeno para permitir a interação com o usuário. Portanto, estes dispositivos são normalmente utilizados de forma não-interativa. Por outro lado, os dispositivos de entrada vetoriais são normalmente utilizados como componentes de estações gráficas interativas.

3.3.1 Dispositivos Gráficos de Entrada Vetoriais

Os dispositivos de entrada vetoriais classificam-se ainda em absolutos e relativos. Cada dispositivo gráfico possui associado a ele um sistema de coordenadas em relação ao qual os dados são referenciados, que é chamado de **sistema de coordenadas do dispositivo**. A especificação dos dados neste sistema pode ser feita de forma absoluta ou relativa. A classificação dos dispositivos de entrada em absolutos ou relativos diz respeito à forma como são especificados os dados em relação ao sistema de coordenadas dos dispositivos. No caso absoluto, as coordenadas de uma determinada posição são dadas em relação a uma origem fixa do sistemas de coordenadas do dispositivo. No caso relativo, os dispositivos registram deslocamentos que são transformados em informações de movimento relativo. Assim, as coordenadas de posição são dadas em relação a um ponto corrente, que deve ser mantido pelo programa que utiliza o dispositivo. A posição corrente deve ser atualizada a cada movimento relativo.

Exemplos de dispositivos de entrada vetoriais **absolutos** são a mesa digitalizadora (*tablet*), o *touch panel*, a caneta ótica (*light pen*), o digitalizador 3D (*3D digitizer*) e a luva eletrônica.



Figura 3-2

Uma mesa digitalizadora constitui-se de uma superfície plana, com tamanho variável, e de um instrumento indicador em forma de caneta ou bloco. O instrumento indicador possui um ou mais botões. O equipamento fornece a posição do indicador conforme ele é movido pelo usuário. Além disso, o equipamento fornece também o estado dos botões (pressionado ou não pressionado). A posição do indicador e o estado dos botões são normalmente fornecidos a uma taxa de 30 a 60 vezes por segundo. Algumas mesas permitem que se especifique também a pressão exercida na ponta da caneta, possibilitando a simulação de instrumentos tradicionais de desenho. O instrumento indicador pode ser

ligado à mesa por um fio ou pode utilizar uma bateria e ser desprovido de fio, facilitando a sua utilização. A Figura 3-2 mostra uma mesa digitalizadora e a caneta utilizada com esta mesa.

O *touch panel* permite ao usuário tocar a tela com o dedo para mover o cursor. Existem diversas tecnologias utilizadas para a construção de *touch panels*. Em geral, um *touch panel* consiste de uma tela transparente sobreposta à tela do monitor. Por apresentarem grandes limitações com relação à resolução, estes dispositivos são indicados apenas para a seleção de objetos exibidos na tela. Exemplos de utilização destes dispositivos podem ser encontrados em alguns terminais bancários e em “quiosques” montados para fornecerem informações ao público.

A caneta ótica é um dispositivo já ultrapassado que surgiu juntamente com os primeiros equipamentos gráficos. Como tal, sua utilização atualmente é bastante limitada. O nome “caneta” dado a este dispositivo pode levar a uma má compreensão de seu funcionamento. A caneta ótica não emite luz como se poderia inferir deste nome. Ao contrário, este dispositivo é utilizado acoplado a um terminal de vídeo para detectar emissões de luz e conseqüentemente detectar pontos na tela e suas respectivas localizações. A menos que esteja apropriadamente ajustada, uma caneta ótica pode conduzir a informações incorretas de localização. Além disso, quando utilizado durante muito tempo, este dispositivo pode fatigar os seus usuários.



Figura 3-3

O digitalizador 3D é utilizado para digitalizar pontos da superfície de objetos tridimensionais. Portanto, este dispositivo é uma ferramenta importante para a criação de modelos 3D. Ele é capaz de captar posições e orientações no espaço, utilizando um instrumento que, normalmente, tem a forma semelhante a de uma caneta. A Figura 3-3 mostra um tipo de digitalizador 3D.



Figura 3-4

A luva eletrônica é bastante utilizada em aplicações de Realidade Virtual. Este dispositivo constitui-se em uma luva capaz de detectar posições e orientações da mão no espaço, bem como movimentos dos dedos. Existem tecnologias diversas para a confecção de luvas eletrônicas. A Figura 3-4 mostra um tipo de luva eletrônica (*data glove*). Esta luva é composta por um sensor para detectar as posições e orientações absolutas no espaço e por uma malha de cabos de fibra ótica colocados ao longo dos dedos para detectar os seus movimentos. Utilizando uma luva deste tipo, o usuário pode pegar, mover e rotacionar objetos em um ambiente virtual e depois soltá-los. Este dispositivo provê, portanto, uma forma bastante natural de interação em um ambiente tridimensional.

Exemplos de dispositivos de entrada vetoriais **relativos** são o *mouse*, o *trackball* e o *joystick*.

Um *mouse* é um dispositivo que o usuário segura e arrasta sobre alguma superfície, cujos movimentos relativos podem ser medidos. O *mouse* é um dos dispositivos gráficos mais utilizados atualmente por estar associado a estações gráficas que dispõem de sistemas de janelas para interface com o usuário. Estes dispositivos podem diferir entre si pelo seu número de botões e pelo mecanismo segundo o qual os movimentos relativos são medidos. O *mouse* mecânico é o mais usual e possui uma esfera giratória em sua parte inferior. Os movimentos desta esfera giratória são convertidos em valores digitais que são utilizados para determinar a direção e a magnitude do movimento. Outro tipo de *mouse* é o *mouse* ótico que é utilizado sobre uma superfície especial contendo uma grade de linhas claras e escuras. O *mouse* ótico emite uma luz que quando refletida pelas linhas claras da superfície na qual ele se movimenta permite que se meça o seu movimento.

O *trackball* pode ser comparado a um *mouse* de cabeça para baixo. Este dispositivo constitui-se de uma esfera que o usuário gira livremente sobre uma base. Assim como o *mouse*, o *trackball* possui também botões ao alcance dos dedos do usuário, utilizados para a realização de tarefas específicas.

O *joystick* é um dispositivo formado por uma haste conectada a uma base. A haste pode ser movida de forma a apontar para direções radiais que convergem para seu ponto de apoio. Utilizam-se molas para fazer com que a haste sempre retorne à sua posição inicial. Este dispositivo é inadequado para controlar precisamente a posição do cursor na tela. Portanto, freqüentemente, ele é utilizado para controlar a velocidade de deslocamento do cursor. Esta velocidade é proporcional à amplitude do deslocamento da haste. O *joystick* é usualmente utilizado como interface de entrada de jogos eletrônicos.

3.3.2 Dispositivos Gráficos de Entrada Matriciais

Os dispositivos de entrada matriciais são utilizados para a conversão de imagens em imagens digitais, processo conhecido como **digitalização de imagens**. Estes dispositivos são constituídos por sensores, que captam os sinais das imagens, e por um circuito digital-analógico que converte os sinais analógicos em matrizes de dados digitais. Estas matrizes representam as imagens capturadas. Existem diferentes dispositivos deste tipo. Alguns deles são o *scanner*, o *frame grabber*, e o *film scanner*.

O *scanner* é destinado à digitalização de imagens em papel. Este dispositivo é muito semelhante às máquinas fotocopadoras. Um elemento digitalizador em forma de linha varre a imagem em uma direção

perpendicular a esta linha. Este elemento digitalizador é formado por uma fonte de luz e um sensor que mede a quantidade de luz refletida e a converte em sinal elétrico. O sinal elétrico é então convertido para a forma digital pelo circuito digital-analógico. Existem dois tipos de *scanner*: o *scanner* manual e o *scanner* de mesa. Estes dispositivos diferem no que diz respeito à forma como é feita a varredura da imagem. No primeiro caso, a varredura é feita manualmente. Já no caso do *scanner* de mesa, o próprio dispositivo é responsável por fazer o deslocamento do elemento digitalizador e, portanto, a varredura é feita automaticamente. A resolução da imagem digital gerada por estes dispositivos pode variar entre 70 a 4000 dpi (*dots per inch* ou, em português, pontos por polegada).

O *frame grabber* permite que uma imagem de vídeo gerada por uma câmera ou por um equipamento de reprodução de vídeo possa ser digitalizada diretamente a partir do sinal elétrico correspondente. A digitalização de um sinal de vídeo requer a captura de várias imagens por segundo. Para que a imagem observada pareça contínua, o ideal é que se utilizem 30 quadros por segundo. Assim, geralmente, os digitalizadores de sinal de vídeo são bem mais rápidos que os *scanners* e fornecem imagens pequenas e com qualidade inferior.

O *film scanner* é um dispositivo semelhante a um *scanner* destinado a digitalizar imagens em transparências. Este dispositivo pode ter resolução superior a 2000 dpi.

3.4 Dispositivos Gráficos de Saída

Os dispositivos gráficos de saída, segundo a classificação apresentada no item 3.2, dividem-se em dispositivos interativos e dispositivos não-interativos. Neste texto, a apresentação destes dispositivos será feita seguindo esta classificação.

3.4.1 Dispositivos Gráficos de Saída Interativos

Os dispositivos gráficos de saída interativos exibem informações aos usuários e permitem que eles interajam com as diversas aplicações sendo utilizadas. A maioria destes dispositivos se utiliza de um tubo de raios catódicos (ou, em inglês, *Cathodic Ray Tubes*) e, portanto, são chamados de **monitores CRT**. Existem, entretanto, outros tipos de dispositivos de saída interativos. Exemplos disso são os **displays de cristal líquido** e os **painéis de plasma**. A seguir, apresenta-se cada um destes dispositivos.

3.4.1.1 Monitores CRT

Os monitores CRT constituem-se, na verdade, de quatro elementos: o monitor CRT propriamente dito, um controlador de vídeo, uma memória de exibição e um conversor digital-analógico.

O monitor CRT consiste de um tubo de raios catódicos, cuja estrutura é ilustrada na Figura 3-6. Um canhão produz um ou mais feixes de elétrons que são acelerados e dirigidos à tela através de um tubo. Cada ponto da tela é constituído por uma ou mais camadas de fósforo. O fósforo é um elemento sensível que ao ser atingido pelo feixe de elétrons emite radiação eletromagnética na faixa visível do espectro. Assim, ao ser atingido, o fósforo brilha com uma determinada cor que depende das características do fósforo. Os monitores monocromáticos de dois níveis, ou seja, que exibem apenas duas cores, utilizam uma única camada de fósforo que é sensibilizada com voltagem mínima (preto) ou máxima (branco). Os

monitores monocromáticos capazes de exibir diferentes tons de cinza utilizam uma única camada de fósforo que, ao ser atingida pelo feixe de elétrons, emite luz com luminâncias que refletem as diferentes voltagens aplicadas ao feixe de elétrons. Os monitores coloridos possuem três tipos diferentes de fósforo em cada ponto da tela. Cada fósforo, quando excitado pelo feixe de elétrons, produz uma cor diferente: vermelho, verde ou azul. A cor exata produzida por cada uma destas três radiações depende do fósforo sendo utilizado. Diferentes monitores com tipos de fósforo distintos produzirão vermelhos, verdes e azuis diferentes. Assim, o conjunto de cores que podem ser exibidas (gamute de cores do monitor) varia entre monitores distintos, já que ele depende das cores básicas sendo utilizadas. O sistema de cor de um monitor colorido é chamado de **mRGB**. O sólido de cor deste sistema é o subconjunto do espaço R^3 que contém todas as cores do espectro visível representadas por suas componentes primárias através das cores básicas do monitor. Este sólido de cor pode ser representado por um cubo de lado um, onde a coordenada um em cada eixo corresponde ao valor de intensidade máxima da cor correspondente àquele eixo produzida pelo monitor. Este fato é ilustrado pela Figura 3-5.

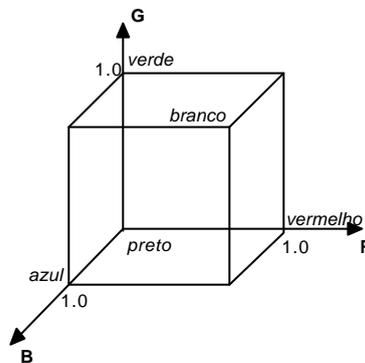


Figura 3-5

A resposta luminosa do fósforo decai exponencialmente com o tempo. Dessa forma, para que o usuário veja uma imagem estática na tela, é preciso que ela seja redesenhada constantemente. O número de vezes por segundo que uma imagem precisa ser exibida para que um usuário a perceba como um fenômeno contínuo no tempo depende das características do sistema visual humano. Em média, essa frequência de exibição da imagem varia em torno de 50Hz, ou seja, a imagem é exibida 50 vezes por segundo.

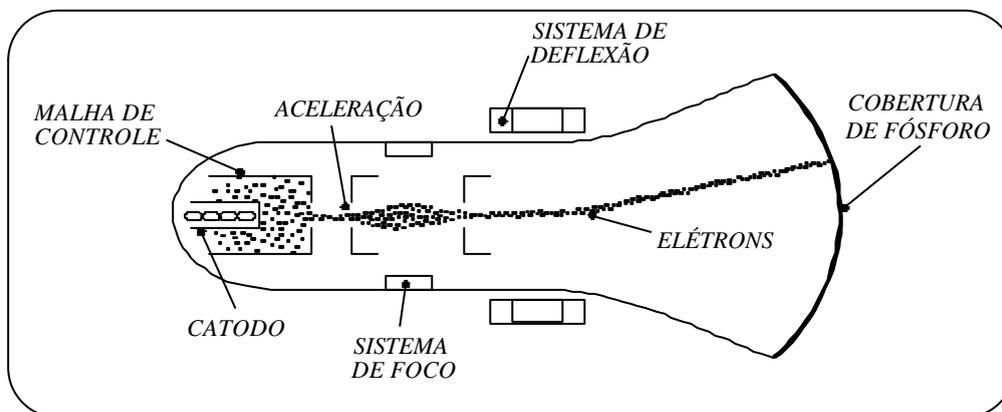


Figura 3-6

O movimento de exploração da tela feito pelo feixe de elétrons para que a imagem seja produzida é chamado de **varredura**. Para controlar este movimento, um monitor CRT dispõe do chamado **controlador de vídeo**, presente nos monitores matriciais de rastreamento; ou **DPU** (*Display Processing Unit*), presente nos monitores vetoriais. A varredura da tela pode ser feita de forma **aleatória** ou **regular**. Na varredura aleatória, o feixe de elétrons se desloca seguindo o desenho das curvas da imagem a ser traçada. Na varredura regular, o feixe de elétrons se desloca em linhas horizontais segundo um padrão fixo de movimento que cobre toda a tela, da direita para esquerda e de cima para baixo. Este padrão regular de varredura da tela é chamado de padrão **raster** e é utilizado em monitores matriciais. A varredura aleatória é utilizada em monitores vetoriais.

A fim de que a imagem seja constantemente redesenhada, é preciso que ela seja armazenada de alguma forma. Para isso, os monitores CRT possuem a chamada **memória de exibição**. Como será visto mais adiante, alguns tipos de monitores dispensam a utilização da memória de exibição.

O **conversor digital-analógico** é responsável por converter os valores armazenados na memória de exibição para uma voltagem que é utilizada pelo canhão para gerar o feixe de elétrons.

As diversas tecnologias empregadas para a construção de monitores CRT diferem basicamente quanto à forma de manutenção da imagem na tela. Neste contexto, os monitores podem ser classificados como monitores vetoriais de retraçamento, monitores vetoriais de armazenamento e monitores matriciais de rastreamento.

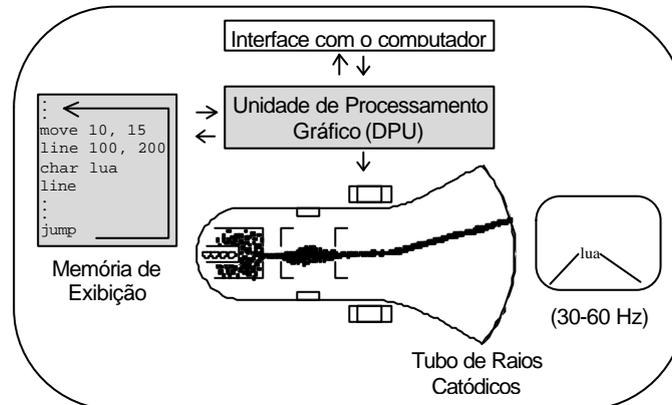


Figura 3-7

Os monitores **vetoriais de retraçamento** ou **vetoriais dinâmicos** foram desenvolvidos em meados da década de 60 e mantiveram-se em uso até meados da década de 80. Nestes dispositivos, o feixe de elétrons se movimenta livremente sobre a tela, ou seja, sua varredura é aleatória. A imagem nestes dispositivos é composta por segmentos de reta. Portanto, eles não são apropriados à representação de áreas, limitando-se à exibição de modelos construídos com linhas, conhecidos como modelos **aramados** ou modelos **wire-frame**. Graças ao decaimento rápido do brilho produzido pelo fósforo ao ser atingido pelo feixe de elétrons, as linhas da imagem devem ser retraçadas em torno de 30 a 60 vezes por segundo para evitar que a imagem pisque na tela, fenômeno conhecido por **flickering**. Estes dispositivos apresentam, então, facilidade para a criação de movimento pois, se as linhas da imagem forem ligeiramente modificadas a cada varredura da tela, ter-se-á a ilusão de movimento. Daí estes dispositivos serem

conhecidos como dinâmicos. Para que a imagem possa ser retraçada, a memória de exibição destes dispositivos guarda a lista de comandos para que se desenhe a imagem. Esta lista contém comandos para o traçado de pontos, linhas e caracteres. A Figura 3-7 ilustra o funcionamento de monitores deste tipo. Outras características apresentadas por este tipo de dispositivo são o sua alta resolução e seu alto custo. Vale dizer ainda que, mesmo com altas taxas de retraçamento, quando a quantidade de linhas a serem traçadas é muito grande estes monitores podem apresentar *flickering*.

Na década de 60, memória e processadores capazes de redesenhar a imagem na tela a uma taxa superior a 30Hz eram muito caros. Com isso, ao final da década de 60 surgiram os monitores CRT chamados de **monitores vetoriais de armazenamento** ou **DVST** (*Direct View Storage Tube*). Nestes monitores o feixe de elétrons se movimenta com velocidade relativamente baixa e a imagem é escrita apenas uma vez em uma malha de armazenamento onde se encontra o fósforo e na qual a imagem fica armazenada. Dessa forma, a imagem não precisa ser constantemente retraçada, eliminando-se completamente o *flickering* e dispensando-se a utilização da memória de exibição. Além disso, não é necessário que a unidade de processamento gráfico (DPU) destes dispositivos seja tão rápida como aquelas dos monitores vetoriais de retraçamento. Portanto, o preço destes dispositivos era significativamente inferior ao preço dos seus antecessores. Isso deu uma importância histórica a estes dispositivos. Graças ao seu baixo custo, eles permitiram uma grande expansão das aplicações que se utilizavam de Computação Gráfica, atraindo usuários e programadores. Assim como os monitores vetoriais de retraçamento, estes monitores apresentam alta resolução, sua primitiva também é a reta, limitando-os à exibição de modelos aramados, e sua varredura é aleatória. Uma desvantagem destes dispositivos em relação aos seus antecessores é que partes da imagem não podem ser modificadas sem que a imagem inteira seja apagada e redesenhada. Isto os impossibilita de simular movimento. A Figura 3-8 mostra um resumo esquemático do funcionamento destes monitores.

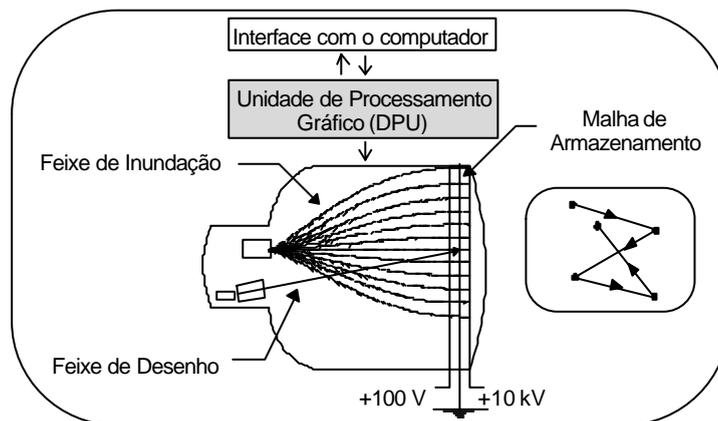


Figura 3-8

No início da década de 70 surgiram os **monitores matriciais de rastreamento**. A utilização destes dispositivos foi impulsionada na década de 80 pela queda dos preços de memória. Além disso, quando as pesquisas na área de Computação Gráfica passaram a enfatizar a criação de modelos foto-realistas, fez-se necessária a visualização de áreas nos dispositivos de saída, já que os objetos passaram a ser representados não mais por modelos aramados mas sim exibindo texturas em suas faces. Nos dispositivos matriciais a memória de exibição é chamada de *frame buffer* e é composta por um

conjunto de linhas, onde cada linha é formada por um conjunto de pontos chamados de **pixels** (*picture elements*). A imagem a ser exibida na tela é pois armazenada como uma matriz de pixels.

O controlador de vídeo faz a varredura da tela linha a linha e, dentro de cada linha, pixel a pixel. As diferentes voltagens aplicadas ao feixe de elétrons refletem os valores armazenados para cada pixel. Nos monitores coloridos três feixes distintos de elétrons são controlados. Cada um deles é ajustado de acordo com os valores de vermelho, verde e azul atribuídos a cada pixel. Ao percorrer uma linha da matriz de pontos o feixe de elétrons executa o processo de geração de imagem chamado de **varredura horizontal**. A varredura horizontal continua até que o feixe de elétrons atinja a última linha da tela. Neste instante o canhão é desativado e retorna à primeira linha da tela para que se reinicie a varredura horizontal. Esta etapa do processo de geração da imagem na tela é chamada de **varredura vertical**. A Figura 3-9 ilustra estes dois processos. Vale dizer que as linhas da matriz de pontos da tela do monitor não são perfeitamente horizontais, conforme ilustra a Figura 3-10.

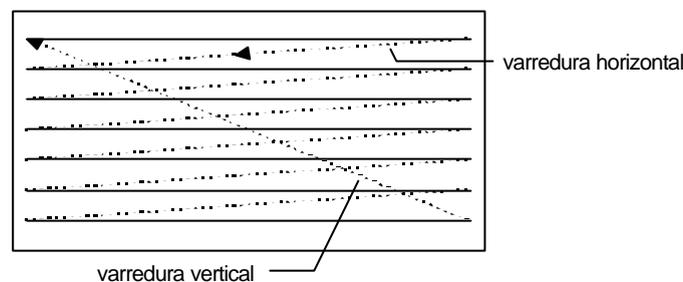


Figura 3-9

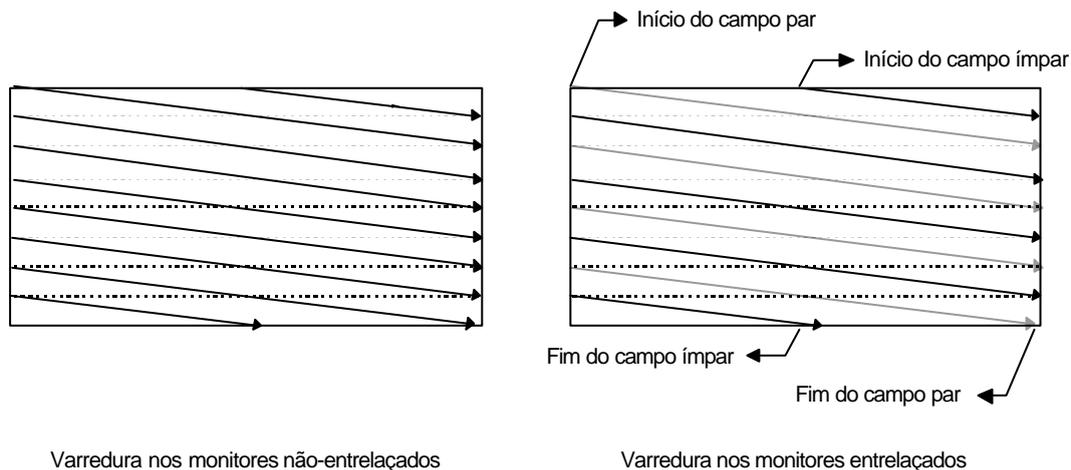


Figura 3-10

Para evitar o *flickering* da imagem, a frequência de varredura vertical da imagem deve ser maior ou igual a 50Hz, ou seja, a imagem deve ser redesenhada completamente pelo menos 50 vezes por segundo. Entretanto, para baixar custos é comum encontrar-se a frequência vertical de 30Hz. Neste caso,

o ciclo de retraçamento da imagem na tela é dividido em duas etapas, cada uma delas executada a uma frequência de 60Hz. Na primeira etapa apenas as linhas ímpares da imagem são retraçadas. Na segunda etapa, apenas as linhas pares da imagem são retraçadas. Assim, novas informações são exibidas na tela a uma frequência de 60Hz, embora a frequência de retraçamento da imagem inteira seja de apenas 30Hz. Cada um dos conjuntos de linhas da imagem é chamado de **campo da imagem**. Quando o monitor se utiliza de dois campos, fazendo a varredura da tela em duas etapas, dizemos que ele é **entrelaçado**. Caso contrário, dizemos que ele é **não-entrelaçado**. A Figura 3-10 ilustra estes dois modos de varredura da tela. Em Computação Gráfica, utiliza-se, normalmente, monitores não-entrelaçados com frequências verticais entre 50Hz a 60Hz que garantem a exibição da imagem sem *flickering*.

Como foi dito anteriormente, a memória de exibição nos dispositivos matriciais (*frame buffer*) constitui-se de uma matriz de pontos (pixels), onde cada ponto armazena um valor que corresponde à cor daquele pixel. O tamanho do *frame buffer* determina a resolução geométrica e a resolução de cor da imagem. No que diz respeito à resolução de cor, identifica-se três tipos mais comuns de memória de exibição: o tipo *bitmap*, que utiliza 1 bit para armazenar o valor de cada pixel; o tipo **cor falsa** ou *pseudo color*, que utiliza em geral 8 bits para cada pixel; e o tipo **cor real** ou *true color*, que utiliza em geral 24 bits para cada pixel, 8 bits para cada uma das componentes primárias.

Os monitores com memória de exibição do tipo *bitmap* podem exibir apenas duas cores (preto e branco), já que 1 bit pode armazenar apenas os valores 0 (voltagem máxima aplicada para gerar o feixe de elétrons) e 1 (voltagem mínima aplicada para gerar o feixe de elétrons). Os monitores com memória de exibição do tipo *pseudo color* podem reproduzir imagens monocromáticas com vários tons de cinza ou, com o auxílio de uma tabela de cores (*look-up table*), podem reproduzir também imagens coloridas. No caso de imagens em tons de cinza, o valor armazenado para cada pixel é interpretado como uma intensidade de luz branca, que é realizada através de voltagens diferentes aplicadas ao feixe de elétrons. No caso de imagens coloridas, o valor armazenado para cada pixel é interpretado como um endereço de uma tabela que contém, em cada posição, uma cor distinta representada através de suas componentes primárias. Se a memória de exibição contém N bits por pixel, pode-se representar 2^N endereços distintos e, portanto, 2^N cores distintas podem ser exibidas simultaneamente no monitor. Alterando-se os valores de cor contidos na tabela de cores, altera-se as cores disponíveis em um dado instante. Em geral, utilizam-se 8 bits por pixel e, portanto, pode-se exibir simultaneamente 256 cores distintas. Os valores contidos na tabela de cores são realizados através de diferentes voltagens aplicadas para gerar os feixes de elétrons que atingem, respectivamente, as camadas de fósforo que produzem luz vermelha, verde e azul. A Figura 3-11 ilustra mecanismo de endereçamento a uma tabela de cores utilizado em dispositivos com memória de exibição do tipo *pseudo color*.

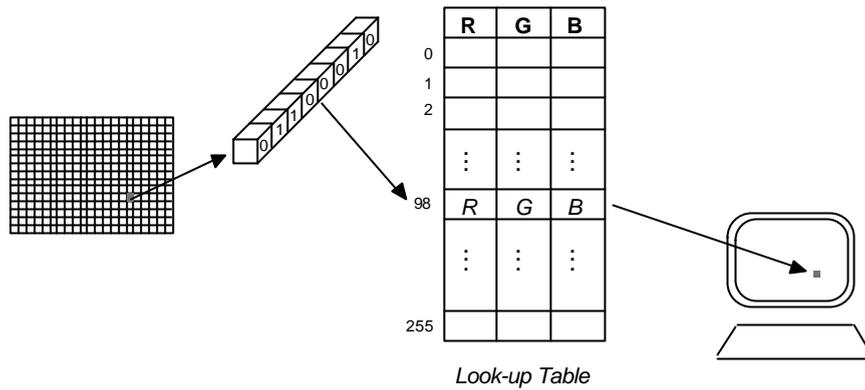


Figura 3-11

Os monitores com memória de exibição do tipo *true color* utilizam $3N$ bits para representar o valor de cor de cada pixel. Pode-se representar, então, 2^{3N} cores distintas nestes dispositivos. Cada N bits armazena uma componente primária. Em geral, utilizam-se 8 bits (1 byte) para cada componente de cor. Os valores armazenados para cada pixel podem ser interpretados diretamente como a cor do pixel, ou, a fim de permitir-se que se façam alterações de cor na imagem de forma rápida e flexível, pode-se utilizar uma tabela de cores para cada uma das componentes primárias. A Figura 3-12 representa uma memória de exibição do tipo *true color* onde são utilizadas tabelas de cores para cada uma das componentes.

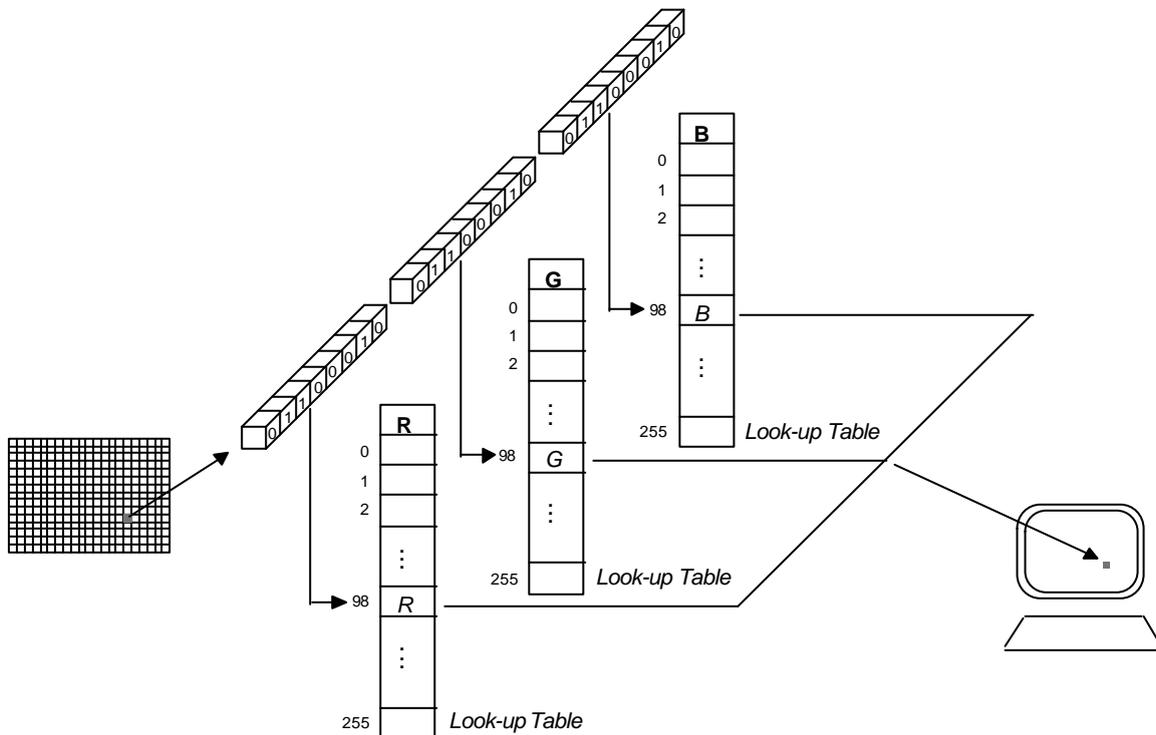


Figura 3-12

3.4.1.2 Displays de Cristal Líquido e Painéis de Plasma

Embora o mercado de dispositivos de saída interativos seja atualmente dominado pelos monitores matriciais de rastreamento, duas novas tecnologias surgiram na última década: os *displays* de cristal líquido e os painéis de plasma.

Os *displays* de cristal líquido são largamente utilizados como dispositivos de saída de computadores portáteis. Isto se deve a algumas de suas características como peso e volume reduzidos e baixo consumo de energia. Além disso, estes dispositivos possuem tela plana, permitem a exibição de cores e apresentam baixos custos.

Os painéis de plasma são constituídos por uma matriz de células microscópicas de neon. Eles apresentam um comportamento semelhante ao dos monitores vetoriais de armazenamento, embora sua primitiva seja o ponto (pixel). Eles são monocromáticos, planos e transparentes, e não precisam de memória adicional para a regeneração da imagem. Sua velocidade de desenho é pequena e, portanto, eles apresentam capacidade de interação limitada.

3.4.2 Dispositivos Gráficos de Saída Não-Interativos

Os dispositivos de saída não interativos têm como finalidade a produção de cópias permanentes da imagem. Assim como os monitores, estes dispositivos também podem ser classificados em vetoriais e matriciais.

3.4.2.1 Dispositivos Gráficos de Saída Não-Interativos Vetoriais de Acesso Randômico

Nestes terminais a primitiva gráfica é a reta, que pode ser desenhada em qualquer posição da superfície de desenho (papel, microfilme, transparência, etc.). Pertencem a esta categoria as **plotadoras de pena**. Para desenhar uma linha, as plotadoras de pena posicionam uma caneta (pena) na posição inicial da linha a ser desenhada e a caneta é abaixada de forma a entrar em contato com a superfície de desenho. A linha é traçada até seu ponto final e, então, a caneta é novamente levantada. As plotadoras de pena dividem-se em plotadoras de mesa (*flatbed plotters*) e plotadoras de rolo (*drum plotters*). As **plotadoras de mesa** possuem uma superfície horizontal onde o papel é preso e um braço mecânico que se movimenta em uma direção desta superfície horizontal. Neste braço mecânico existem uma ou mais canetas se deslocando perpendicularmente à direção do braço. O funcionamento esquemático deste tipo de terminal é mostrado na Figura 3-13.

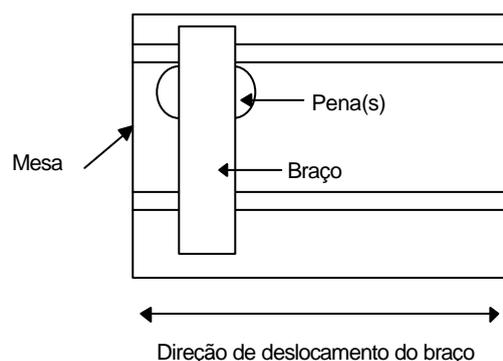


Figura 3-13

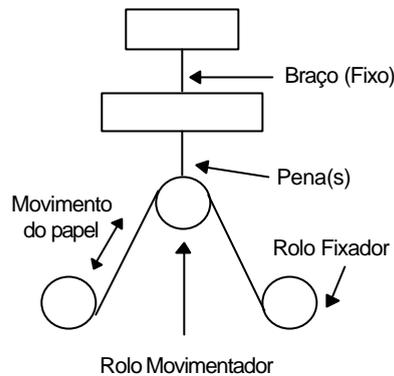


Figura 3-14

Nas **plotadoras de rolo**, o papel é preso a um tambor (rolo) que, auxiliado por dois outros rolos que seguram o papel, movimenta-se para frente e para trás, executando o movimento em uma das direções. Um braço fixo posicionado sobre o rolo possui as canetas, que se deslocam na outra direção. A Figura 3-14 ilustra o funcionamento das plotadoras de rolo.

As plotadoras de mesa são mais rápidas e precisas do que as de rolo. As plotadoras de rolo, entretanto, possuem a vantagem de terem uma dimensão do desenho praticamente ilimitada.

3.4.2.2 Dispositivos Gráficos de Saída Não-Interativos Matriciais

Nos dispositivos de saída não-iterativos matriciais, a primitiva gráfica é o ponto. As figuras são armazenadas em matrizes de pontos e a impressão se processa linha a linha. Exemplos de dispositivos deste tipo são as **impressoras gráficas**, que dividem-se em impressoras eletrostáticas, impressoras *laser*, impressoras jato de tinta (*ink-jet printer*) e impressoras térmicas.

Nas **impressoras eletrostáticas** a impressão é feita em duas etapas. Inicialmente, as partes do papel que devem ser pintadas são carregadas negativamente. Em seguida, o papel é exposto à tinta, carregada com carga oposta. As partículas de tinta são atraídas pelo papel e o desenho se forma.

O processo de impressão das **impressoras a laser** é semelhante ao das impressoras eletrostáticas. Um feixe de *laser* percorre a superfície de um cilindro carregado positivamente. As áreas atingidas pelo feixe de *laser* perdem a carga positiva, permanecendo carregadas apenas as partes do papel que devem receber tinta. A tinta, que é carregada negativamente, é atraída pelo cilindro e, finalmente, é transferida para o papel. Nas impressões coloridas este processo é repetido três vezes: uma vez para cada uma das cores primárias.

As **impressoras jato de tinta** possuem um braço fixo que permite o movimento de três (ciano, magenta e amarelo) ou quatro (ciano, magenta, amarelo e preto) injetores de tinta. O papel se desloca em uma base ou em torno de um cilindro, enquanto os bicos injetores de tinta se deslocam em uma direção perpendicular à direção de deslocamento do papel. Em ambos os casos, todas as cores são depositadas

simultaneamente, ao contrário do que acontece nas impressoras eletrostáticas e nas impressoras a *laser*, onde o processo de impressão é repetido três vezes, sendo uma vez para cada uma das cores primárias.

Nas **impressoras térmicas**, os pigmentos de tinta são transferidos para o papel por calor.

As impressoras gráficas podem ser monocromáticas ou coloridas. A percepção de cor impressa em papel se dá pelo processo refletivo, ou seja, a luz incide na superfície do papel e é refletida para o olho. Como a superfície do papel é branca, tem-se luminância máxima onde há ausência de cor. A medida que acrescenta-se tinta à superfície do papel, uma parte da luz branca incidente é absorvida e outra parte é filtrada e refletida para o olho. Portanto, o processo de formação de cor no papel se concretiza pela subtração das cores primárias da cor branca. Assim, o sistema de cor mais adequado a ser utilizado em impressoras coloridas é o sistema que tem como cores básicas as cores complementares às cores básicas utilizadas nos monitores coloridos. Estas cores são o ciano (*cyan*), o magenta (*magenta*) e o amarelo (*yellow*). Desta forma, graças à complementaridade dos dois sistemas, a conversão do sistema de cores utilizado pelos monitores para o sistema de cores utilizado pelas impressoras coloridas é trivial. Tem-se que

$$(C, M, Y) = (1-R, 1-G, 1-B).$$

Isto reflete o fato de que, do ponto de vista aditivo, a cor ciano é obtida pela superposição de verde e azul. Portanto, a cor ciano impressa em papel tem o efeito de eliminar a componente vermelha da luz branca incidente. Processo análogo ocorre com as cores magenta e amarelo, que eliminam, respectivamente, as componentes verde e azul da luz incidente. Este fato é ilustrado na Figura 3-15.

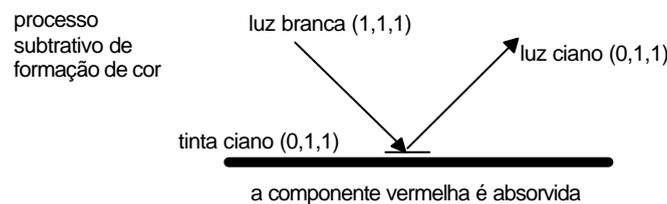


Figura 3-15

Além das cores ciano, magenta e amarelo (C, M, Y) costuma-se utilizar também a tinta preta no processo de impressão. Isto é feito pois, para reproduzir-se a cor preta a partir das outras três cores básicas, é preciso que estas três cores sejam combinadas. Com isso, o gasto de tinta colorida é excessivo, encarecendo o preço do trabalho, já que as tintas coloridas são bem mais caras que a tinta preta. Além disso, a superposição das cores provoca um excesso de tinta no papel acarretando problemas de umidade. Por fim, devido a deficiências no processo de impressão, a combinação das três cores básicas (ciano, magenta e amarelo) em iguais quantidades produz uma tonalidade preta um pouco puxada para o marrom. Criou-se então o sistema de cores utilizado pelas impressoras coloridas. Este sistema é denominado **CMYK**, onde C representa o ciano, o M representa o magenta, Y representa o amarelo e K representa o preto (*black*).