

**Universidade Federal de Jataí**  
**Curso de Ciências da Computação**

*Computação gráfica – Uma abordagem prática*

**(Notas de aulas)**  
**Módulo I**

**Marcos Wagner de Souza Ribeiro**

**2023**

# 1 – Introdução à Computação Gráfica

O primeiro experimento matemático foi artístico: a música. Segundo a história, foi o próprio Pitágoras quem descobriu que as notas musicais se relacionavam com as razões do comprimento da corda do instrumento musical que as produziam ao vibrar (Computação Gráfica: Geração de Imagens – Eduardo Azevedo/Aura Conci).

A computação gráfica é matemática e arte. É uma ferramenta de concepção de arte, assim como o piano ou o pincel. **A relação entre luz, tempo e movimento** constitui a base desta que poderia ser classificada como uma arte tecnológica.

Segundo a ISO (*Internacional Organization for Standardization*), a definição de computação gráfica é: “um conjunto de ferramentas e técnicas para converter dados para um dispositivo gráfico através do computador”.

Outra forma de definir a Computação Gráfica é defini-la com uma subárea da Ciência da Computação que consiste em métodos e técnicas usadas para criar, armazenar e manipular modelos de objetos e suas imagens via computador.

A Computação Gráfica (CG) está ligada a modelagem e síntese de imagens e visa a criação de objetos e a visualização dos mesmos a partir de uma interação com o usuário e do acesso as informações que descrevem estes objetos em nível geométrico ou por equações, sejam eles bidimensionais ou tridimensionais. CG envolve os processos que permitem a partir de uma interface com os dispositivos de entrada e saída gráfica que seja gerada uma imagem. Ao contrário do Processamento Gráfico, a Computação Gráfica não possui como fim apenas a manipulação ou análise das imagens, mas sim a sua geração e sua posterior visualização.

O diagrama da figura 1 ilustra o relacionamento entre a Computação Gráfica, o Processamento de Imagens, o Reconhecimento de Padrões e o Processamento de Dados convencional, segundo a visão da ISO.

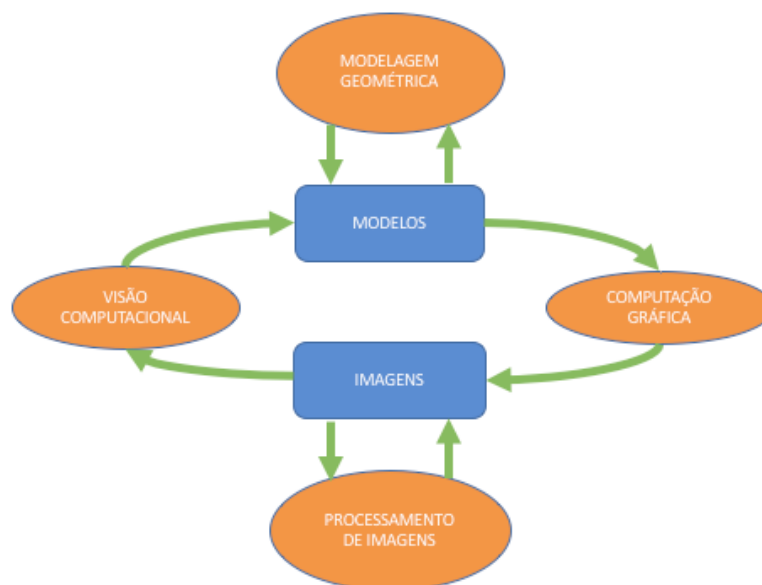


Figura 1 – Relacionamento da Computação Gráfica com outras áreas

Outra classificação divide a Computação Gráfica em passiva e interativa. Como Computação Gráfica Passiva entende-se o uso do computador para definir, armazenar, manipular e apresentar imagens gráficas. O computador prepara e apresenta dados armazenados sob a forma de figuras e o

observador/usuário não interfere nesse processo. Exemplos desse tipo de atividade podem ser simples como a geração automática de um gráfico de barras a partir de uma tabela, bem como a simulação do movimento de um veículo espacial a partir de dados coletados em campo. Computação Gráfica Interativa também se utiliza do computador para preparar e apresentar imagens. Nesse caso, entretanto, o observador/usuário pode interagir em tempo real com a imagem.

## 2 – Histórico

Desde o início dos tempos as pessoas comunicaram idéias, pensamentos e fantasias através de meios visuais usando pintura, fotografia, filme e agora a computação gráfica. Porém, a evolução da computação gráfica em si está diretamente relacionada à evolução dos computadores tendo em vista que as técnicas utilizadas se aperfeiçoaram basicamente sustentadas pelo avanço do hardware e conseqüente aumento de capacidade computacional.

O passo inicial para o desenvolvimento da computação gráfica se deu em 1926 com a construção do primeiro protótipo de televisão por J. L. Baird em seguida o primeiro computador para uso geral chamado ENIAC foi encomendado pela marinha nos anos 40 o qual foi desenvolvido para controle de vôo e cálculos de problemas teóricos.

O primeiro equipamento a possuir recursos gráficos de visualização de dados numéricos foi o *Whirlwind I*, desenvolvimento pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) em 1950, com finalidades acadêmicas e militares. O sistema (*SAGE – Semi-Automatic Ground Environment*) convertia as informações capturadas pelo radar em imagem de um tubo de raios catódicos, no qual o usuário podia apontar com uma caneta ótica para os pontos suspeitos (Computação Gráfica: Geração de Imagens – Eduardo Azevedo/Aura Conci).

A Computação Gráfica cresceu para incluir a criação, armazenamento e manipulação de modelos de imagens e objetos. Esses modelos vêm de um conjunto diverso e cada vez maior de campos, e incluem estruturas físicas, matemáticas, de engenharia e arquitetura, conceituais (abstratas), fenômenos naturais e assim por diante. A Computação Gráfica de hoje é altamente interativa: o usuário controla o conteúdo, estrutura e aparência dos objetos e suas imagens através de dispositivos de entrada, tais como teclado, mouse ou tela sensível ao toque. Por causa do relacionamento próximo entre os dispositivos de entrada e a tela, a manipulação de tais dispositivos está incluída no estudo da Computação Gráfica.

Até o início dos anos 80, a Computação Gráfica era um campo pequeno e especializado, principalmente porque o hardware era caro e os programas baseados em gráficos fáceis de usar e eficientes em termos de custo eram poucos. Então, os computadores pessoais com monitores gráficos de varredura rastreada (*raster graphics display*) - tais como o Star, da Xerox, e mais tarde os famosos Apple Macintosh e o IBM PC e seus clones - popularizaram o uso de gráficos de bitmap para interação usuário-computador. Um bitmap é uma representação de zeros e uns de uma matriz de pontos (*pixels, de picture elements*) na tela. Assim que os bitmaps tornaram-se mais confortáveis, uma explosão de aplicativos baseados em gráficos fáceis de usar e baratos surgiu. As Interfaces Gráficas com o Usuário (*Graphic-based User Interface - GUI*) permitiram a milhões de novos usuários controlar aplicativos simples e baratos, tais como planilhas, processadores de texto e programas de desenho.

O conceito de desktop (escrivania) tornou-se uma metáfora popular para a organização do espaço na tela. Através de um *window manager* (gerenciador de janelas), o usuário podia criar, posicionar e mudar o tamanho de áreas retangulares de tela, chamadas windows (janelas), que agiam como terminais gráficos virtuais, cada uma rodando um aplicativo. Isso permitiu aos usuários mudar entre várias atividades apenas apontando a janela desejada, tipicamente com o mouse. Como pedaços de papel sobre uma mesa desarrumada, as



janelas podiam se sobrepor arbitrariamente. Também como parte dessa metáfora de desktop eram mostrados ícones que representavam não apenas arquivos de dados e aplicativos, mas também objetos comuns de escritório, tais como estantes, caixas de correio, impressoras e latas de lixo, que executavam as funções computacionais equivalentes às de seus colegas da vida real. A manipulação direta de objetos via "apontar e clicar" substituiu muito da arcaica digitação de comandos usada em sistemas operacionais e aplicativos anteriores. Assim, os usuários podiam selecionar ícones para ativar os programas ou objetos correspondentes, ou selecionar botões ou itens de menus na tela para fazer escolhas. Hoje, quase todos os aplicativos interativos, mesmo os que manipulam texto (como processadores de texto) ou dados numéricos (como planilhas), usam intensamente gráficos nas suas interfaces e para visualizar ou manipular objetos específicos do aplicativo. A interação gráfica via monitores de varredura rastreada (monitores que usam bitmaps) tem substituído a maioria da interação textual dos monitores alfanuméricos.

Mesmo pessoas que não usam computadores em seu trabalho diário encontram Computação Gráfica em comerciais de televisão e efeitos especiais de cinema. A Computação Gráfica não é mais uma raridade. Ela é uma parte integrante de todas as interfaces com o usuário, e é indispensável para visualização de objetos de duas, três ou mais dimensões: áreas tão diversas quanto educação, ciência, engenharia, medicina, comércio, forças armadas, publicidade e entretenimento utilizam intensamente Computação Gráfica. Aprender como programar e usar computadores hoje em dia inclui aprender também a usar gráficos 2D simples como questão de rotina.

### ESCALA TEMPORAL

**Euclides[300-250 a.C.]** – desenvolveu toda a geometria que norteou o desenvolvimento do mundo até o século XVIII.

**Brunelleschi[1377-1446]** – arquiteto e escultor italiano que usou de forma criativa a noção de percepção visual, e criou em 1425 a perspectiva.

**Descartes[1596-1650]** – matemático e filósofo francês que formulou a geometria analítica e os sistemas de coordenadas 2D e 3D.

**Euler[1707-1783]** – o mais produtivo matemático do século XVIII, que, entre outros, criou o conceito de senos, tangentes e a expressão que relaciona o número de vértices, arestas e faces de poliedros.

**Monge[1746-1818]** – matemático francês que desenvolveu a geometria descritiva como um ramo da geometria.

**Sylvester[1814-1897]** – matemático inglês inventou as matrizes e a notação matricial, uma das ferramentas mais comuns para computação gráfica.

**Hermite[1822-1901]** – matemático francês que provou a transcendência do número (logaritmos naturais) e desenvolveu funções elíptica e curvas, entre outras coisas.

**Marcos Wagner[2011-2021]** - professor da Universidade Federal de Jataí, ministrou a disciplina de Computação Gráfica no curso de Ciências da Computação.

**1885** – iniciou-se o desenvolvimento da tecnologia de raios catódicos.

**1927** – a indústria cinematográfica define o padrão de 24 imagens/segundo.

**1930** – o primeiro computador chamado ENIAC é construído.

**1938** – Valensi propõe o tubo de raios catódicos colorido.

**1947** – Bell Labs inventam o transistor.

**1950** – Laposky cria as primeiras obras de arte com bases tecnológicas usando o efeito de um osciloscópio.

**1955** – surge o sistema SAGE.

**1956** – MIT constrói o primeiro computador totalmente transistorizado.

**1959** – surge o termo *Computer Graphics*, criado por Hudson da Boeing.

## ANOS 60

**Na década de 60 a Computação Gráfica avançou consideravelmente a partir de um programa de desenho, o Sketchpad ("Sketchpad - A Man-Machine Graphical Communication System") criado por um estudante do MIT, Ivan Sutherland.** O Sketchpad propunha uma forma de intenção muito semelhante ao que hoje chamamos de interfaces **WIMP – Window-Icon-Menu-Pointer**. Usando uma caneta ótica, o Sketchpad permitiu que se extraísse formas simples na tela do computador, podendo salvar e até reusá-las depois.

Sutherland pareceu encontrar a solução perfeita para muitos dos problemas gráficos que enfrentou. Ainda hoje, muitos padrões de interface da Computação Gráfica iniciaram a partir do Sketchpad.

Também nessa época começaram aparecer projetos de pesquisas e produtos comerciais para desenho automático auxiliado por computador, conhecidos por CAD – Computer Aided Design, e auxílio na fabricação de produtos da indústria automobilística, aeroespacial e de computação utilizando o CAM – Computer Aided Manufacturing

Em 1961, outro estudante do MIT, Steve Russell, criou o primeiro vídeo game, Spacewar. Escrito para o DEC PDP-1, o Spacewar foi um sucesso imediato e as cópias começaram a se difundir a outros proprietários de PDP-1 e eventualmente aos do DEC. A força das vendas o tornou o primeiro vídeo game do mundo.

Não demorou muito para que as principais corporações comesçassem a demonstrar interesse na Computação Gráfica, como a TRW, Lockheed-Georgia, General Electric e Sperry Rand, na metade de 1960. A IBM foi rápida ao responder este interesse lançando terminais gráficos IBM 2250, o primeiro computador comercialmente disponível da Computação Gráfica.

Ralph Baer, um engenheiro de supervisão da Sanders Associates, surgiu com um vídeo game doméstico em 1966 licenciado mais tarde a Magnavox e foi chamado de “Odyssey”. Muito simples, e requerendo as peças eletrônicas razoavelmente baratas, permitiu que o jogador movesse pontos de luz ao redor de toda a tela. Era o primeiro produto comercial da Computação Gráfica.

Também em 1966, Sutherland no MIT inventou o primeiro computador controlado, head-mounted display (HMD). Chamado de a “Espada de Damocles” por causa da ferragem requerida para a sustentação, ele mostrou duas imagens wireframe separadas, uma para cada olho. Isto permitiu que pudesse ser vista uma cena do computador em 3D.

O laboratório de Computação Gráfica da Universidade de Utah atraía pessoas de todos os lugares, dentre eles, John Warnock que foi um dos pioneiros e mais tarde fundou a Adobe Systems e revolucionou a publicação mundial com sua linguagem de descrição de página postScript. Tom Stockham conduziu o grupo de processamento de imagem na UU que trabalhou próxima ao laboratório de Computação Gráfica. Jim Clark também trabalhava lá e mais tarde fundou a Silicon Graphics Inc.

O primeiro grande avanço da Computação Gráfica 3D foi criado na UU por estes pioneiros, o algoritmo da hidden-surface. Com a intenção de desenhar uma representação de

um objeto 3D na tela, o computador deve determinar que superfícies que estão "atrás" da perspectiva do observador, e assim deve "ser escondido" quando o computador cria (ou renderiza) a imagem.

## ANOS 70

No início dos anos 70 começam a aparecer as primeiras bibliotecas gráficas, sendo o CORE aprovado como norma americana ANSI em 1977. **Alan Kay inventa o conceito de manipulação direta, que consiste em manipular as representações dos objetos que aparecem na tela de modo semelhante ao modo como se manipula esses objetos no mundo real. Para apagar um arquivo basta arrastá-lo para a área da tela onde está desenhada a lixeira.**

Em 1970 aparecem pela primeira vez muitos dos dispositivos disponíveis no mercado hoje, as mesas digitalizadoras, telas sensíveis ao toque (touch-screens) e o mouse. É apresentado também o primeiro robô controlado por inteligência artificial, o robô Shakey, que era equipado com sensores (câmera de vídeo, laser range finder, e bump sensors) e um algoritmo de resolução de problemas.

Foi nesse ano que se deu a criação do Xerox Parc, Palo Alto Research Center, pela Xerox Corporation. Em 1972 é fundada a Atari, empresa voltada para a produção de jogos, sendo produzido no mesmo ano o jogo Pong. Em 1974 a estação de trabalho ALTOS se torna operacional, a primeira a usar um mouse embutido e ligada a uma rede local. A sua interface gráfica (GUI - Graphic user interface), já usava janelas, menus e ícones. Ele não foi comercializado, algumas máquinas foram oferecidas a universidades americanas contribuindo para a transferência de tecnologia. Em 1973 é criada a tecnologia Ethernet, e é feita a exibição comercial do filme Westworld, que usava gráficos 2D produzidos por computador, sua continuação, Futureworld, foi exibida um ano depois, já contendo imagens 3D geradas por computador. No mesmo ano, 1974, foi criado o programa Super Paint. Em 1975 é escrito o primeiro interpretador da linguagem Basic, por Bill Gates e Paul Allen, que fundaram a Microsoft no mesmo ano.

Em 1976 é produzido o Cray I, o primeiro sucesso comercial na área dos super computadores. No mesmo ano é projetado o Apple I, com um processador 6502, de uma empresa concorrente da Intel. Por insistência do amigo Steve Jobs, Wozniack começa a comercialização, e em 1 de abril de 1976 nasce a Apple Computer, tendo produzido o Apple II em 1977 e o Apple III em 1980.

Em 1979 é fundada a Associação Européia de Computação Gráfica, Eurographics, por um grupo de investigadores e utilizadores europeus e alguns americanos. Lançado o primeiro Arcade Vídeo Game, o Space Invaders.

No campo científico diversos fatos merecem relevância, em 1970 Bézier desenvolve novas formas de representação de superfícies 3D generalizadas, e Gouraud desenvolve um novo método de coloração de faces 3D. É desenvolvido, na Xerox Parc, a primeira matriz de pixels com 8 bits por pixel, e um novo algoritmo de cálculo de visibilidade de superfícies 3D usando técnicas de ordenação por Newell, Newell e Sancha.

Em 1973 é realizada a primeira conferência SIGGRAPH, e em 1974 é desenvolvido, por Catmull, um novo método de visibilidade e coloração de faces (z-buffer). Phong inventa, em 1975, um método de coloração de faces 3D capaz de reproduzir efeitos direcionais de

iluminação (reflexões simples). No mesmo ano, Mandelbrot desenvolve a teoria dos fractais. Em 1976, Blinn desenvolve novos métodos de mapeamento de textura, e em 1977 surge a primeira biblioteca gráfica de programação (GKS, Graphical Kernel System).

## **ANOS 80**

A década de 80 é conhecida por ser a década do computador pessoal, desaparecendo a caneta luminosa e as telas vetoriais, dando lugar aos mouses e às matrizes de pixels. O tema de discussão na comunidade da Computação Gráfica atualmente é a criação de imagens com alto grau de realismo, que possa ser facilmente confundida com uma foto. A tecnologia Ethernet se torna bastante difundida.

Em 1980, Carpenter apresenta na Conferência da SIGGRAPH, uma animação 3D gerada por métodos fractais sobre uma paisagem artificial muito realista. No mesmo ano, a Disney produz o filme Tron, com diversas técnicas de Computação Gráfica. Whitted introduz o método de traçagem de raios, que consiste no envio de raios luminosos a partir do ponto de observação e determina o ponto visível mais próximo, colorindo-o em função da visibilidade das fontes de luz e objetos de cena.

**Em 1982 James Clark cria a SGI (Silicon Graphic Incorporated)**, empresa especializada em equipamentos para computação gráfica, empresa que liderou a criação da biblioteca OpenGL e a especificação da linguagem de descrição de cenas de realidade virtual para a Internet (VRML). É criada no mesmo ano a SUN, introduzindo o conceito de estação gráfica em rede.

Nesta mesma década foi criada a AutoDesk, empresa fabricante do AutoCAD, usado até hoje nos mais variados lugares e foi proposta uma arquitetura para realizar operações gráficas (pipeline), e desenvolvido por Brigham o método de transformação de geometrias 2D entre duas imagens.

É realizada a introdução de um novo método, baseado numa matriz auxiliar de pixels, para tratamento de transparências via hardware (alpha-buffer).

Em 1984 é desenvolvido um método de síntese de imagem baseado em teorias de transporte de calor, o qual foi chamado de radiosidade, método que é resolvido de forma progressiva através de técnicas iterativas de resolução de sistemas de equações lineares, apresentando como ponto forte a característica que é o ponto fraco do método de traçagem de raios. Entre 1983 e 1984, com a criação do Macintosh, acontece a introdução da GUI (Graphic User Interface), assim temos o início de tudo que conhecemos hoje em dia em termos de interface com o usuário. No mesmo ano, Porter e Duff inventaram um algoritmo genérico e versátil para composição criativa de imagens 2D, e em 1986, Kajiya publicou um artigo científico que descrevia a equação matemática que governa os fenômenos de transporte da luz (rendering equation).

Nessa década, houve uma imensa evolução nos hardwares gráficos (algoritmos em hardware), e uma “guerra religiosa” entre os adeptos do método de traçagem de raios e adeptos da radiosidade, muitos pesquisadores tentaram fazer uma síntese dos dois métodos, mas os desenvolvimentos que se seguiram após a equação de Kajiya levaram a pesquisa de métodos de síntese realista de imagens para outros domínios.

## **ANOS 90**

**Em maio de 1990, a Microsoft lançou o Windows 3.0. Ele seguiu uma GUI gráfica similar ao da Apple Macintosh**, e apostou no início do futuro em multimídia. Enquanto em

1990 apenas dois dos dez maiores países usavam o Windows, isso aumentou para nove de dez em 1991.

Depois disso, em outubro, assinou um contrato de 2,3 milhões de dólares com a ILM. O negócio feito para fornecer 3D, sistemas de computação gráfica avançados onde a ILM produziria futuros vídeos. Por sua vez a ILM testaria estes sistemas novos e forneceria o gabarito.

NewTek, companhia fundada em 1985, NewTek, lançou o Toaster Video em outubro de 1990. Toaster Video é uma placa de vídeo produzida para os computadores pessoais. A Placa vem com animação 3D, e software de pintura com 24 bits e oferece as potencialidades de vídeo tais como um frame buffer de 24 bits, um switching, uns efeitos de vídeo digitais, e uma geração de caracteres. O uso prático para edição de vídeo feito pela Video Toaster a fez muito popular, e hoje é usada em programas de televisão tais como Sea Quest e Babylon 5 para gráficos 3D.

Também em 1990, AutoDesk lançou seu primeiro produto de animação 3D, 3D Studio. Criado pela AutoDesk por Gary Yost (o grupo Yost). O 3D Studio alcançou a posição de melhor software de animação 3D para computador.

Em 1991, Disney e Pixar anunciaram um acordo para criar o primeiro filme longa metragem feito por animação de computador, chamado "Toy Story". Dentro de dois a três anos.



"Terminator 2" (T2) foi lançado em 1991 e colocou um novo padrão de efeitos especiais em CG. O robô T-1000 em T2 foi alternado entre o ator Robert Patrick e a versão 3D animada de Patrick. Não foram somente os gráficos fotorealísticos, mas o mais impressionante foi que os efeitos foram produzidos no tempo e sob o orçamento.

No mesmo ano outro grande filme foi lançado sobre grande uso de CG, "Beauty and the Beast". Com um sucesso após o outro em Computação Gráfica, a Disney saltou os obstáculos e começou a usar computação gráfica durante todo o filme. Em termos de beleza, cor e design a Disney fez coisas que não teria possibilidade de fazer sem computadores. Muitas cenas continham objetos em animação 3D, contudo foram achatados com cores brilhantes para misturar-se com o desenho a mão dos personagens.

Em 1993, Wavefront adquiriu imagem digital de Thomson (TDI) que aumentou a parcela de mercado do Wavefront no topo do mercado de computação gráfica. O Wavefront começa imediatamente a integrar produtos de TDI em sua própria linha de software de computação gráfica.

Logo em 1993, as forças da IBM, James Cameron (escritor/diretor/produtor), Stan Winston (perito em efeitos especiais) e de Scott Ross (efeitos visuais da ILM) foram unidas para criar novos efeitos visuais e estúdios de produção digital chamado Domínio Digital.

TDI abriu seu "Digital Opticals Group" em Hollywood para criar efeitos especiais com imagem animada tal como "Terminator 2: Judgment Day", "Batman Returns", e "The Babe". Agora a TDI se tornou uma das líderes nesse tipo de trabalho.

A Nintendo anunciou em união com Silicon Graphics, Inc. (o líder em tecnologia de computação gráfica) que ia produzir uma plataforma 3D Nintendo de 64 bits para uso doméstico. O Console foi liberado em 1996 com o nome de Nintendo 64 a um preço de \$250.



Nos anos 90 Steven Spielberg estava trabalhando numa versão em filme de um dos últimos best sellers de Micheal Crichton, “Jurassic Park”. O filme era basicamente sobre dinossauros que caçavam (e comiam) pessoas, os efeitos especiais representaram um bom desafio. No filme Phil Tippett usou go-motion photography e stop-motion para fazer o movimento dos dinossauros, onde o go-motion adiciona borrões de movimento na imagem tornando o movimento mais real. Os resultados foram tão bons que geraram o Oscar de efeitos especiais em março de 1994.

Em fevereiro de 1994, a Microsoft comprou a Softimage por 130 milhões de dólares. Ela usa internamente a tecnologia TDI. A Microsoft vendeu Softimage para a Avid em Junio de 1998.

O verão de 1994 caracterizou os blockbusters full da computação gráfica. Alguns efeitos foram tão realistas que a presença do uso de computador era quase indetectável. Por exemplo, no filme “Forrest Gump”, onde os artistas da ILM usaram posição digital, unindo diferentes seqüências de vídeo dando a ilusão de que o ator Tom Hanks estava na mesma cena de Jonh F. Kennedy.

Em 1995 foi lançado o tão esperado longa metragem “Toy Story”. Não trazia nenhum efeito revolucionário, mais o fato de ser um filme longa metragem usando computação gráfica causou grande impacto. A produção brasileira Cassiopeia começou a ser produzido antes de Toy Story mas não conseguiu ser lançado antes dele por problemas técnicos e financeiros.

Também em 1995, foi lançado pela Sony o Playstation, um Vídeo Game revolucionário que trazia um chip de aceleração 3D capaz de processar 360.000 polígonos por segundo.

Em maio de 1996 foi lançado o jogo “Quake” com gráficos em 3D e o hardware acelerador 3D que era praticamente inútil já que o jogo não necessitava da aceleração para funcionar.

1997 foi outro ano importante para o CG nos filmes com o lançamento da seqüência de Jurassic Park, “The Lost World” onde as animações eram bem melhores que o predecessor. Outros filmes com CG avançado foram “Starship Troopers”, “5th element”, “Men in Black” e o clássico “Titanic”.

A indústria dos jogos novamente experimenta uma revolução, desta vez foi o 3DFX “Voodoo” acelerador 3D. Esse chip possuía um ótimo desempenho e muita utilidade. Depois da “Voodoo”, foi a vez de lançarem o Quake 2. Agora com todos os benefícios de um bom acelerador 3D.

Em 1998 o filme “Godzilla” foi lançado. O filme continha muitas cenas difíceis onde Godzilla interagia com o ambiente em real-life. Foi uma alta produção, mais a audiência não foi boa, pois no mesmo ano lançaram muitos filmes similares, “Armageddon” e “Deep Impact” os dois com CG interessante. E Também lançaram “Antz” and “A Bugs Life”, dois longa metragem em animação gráfica de alta qualidade mais sem nenhuma inovação.

A indústria evoluir e em 1998 lançamento da rival, a nVidia Life”.



dos jogos para PC continuou a foi outro ano bom com o Voodoo 2 accelerator e a primeira TNT. E também foi lançado “Half

Em 1999 foi lançado “Matrix” e em dezembro “Toy Story 2”. Na indústria dos games a NVidia finalmente lança uma placa de alta performance com o seu processador TNT2. A Voodoo não alcançou o TNT2 e a nVidia não parou. Em outubro foi lançada a primeira GPU (Graphics Processing Unit), a GeForce 256. Com o lançamento de Quake III em dezembro que precisava de no mínimo 30 frames por segundo em 1600x1200x32 bits pra rodar tornou-se necessário o uso de acelerador 3D.

## SÉCULO XXI

**O ano de 2000 realmente foi “o ano da nVidia”. Em dezembro, a nVidia produziu um poderoso 3DFX.**

2001 é a continuação da dominação da nVidia em computação gráfica. A Nintendo lança o “Gamecube” em setembro de 2001 no Japão. O Gameboy Advance também foi lançado e provavelmente um grande evento foi o lançamento do vídeo game Xbox pela Microsoft. Com desenvolvimento gráfico da nVidia, HardDrive, processador Intel. Um grande competidor para o Xbox foi o Playstation 2.

As cenas de filme melhoram muito, com “Final Fantasy: The Spirits Within”, talvez a primeira criação de computador com realismo humano e também com “Monsters Inc” da Pixar com geração completa por computador.

O filme do ano foi “Lord of the Rings” com efeitos fantásticos. Lançado em janeiro de 2001.

Em 2002, nVidia lança uma nova geração de chips. O nv25 (GeForce 4 Ti). Este chip que fez os usuários do Xbox entenderem quão rápida a tecnologia gráfica está avançando.

Nos filmes as cenas de “Star Wars: Episode 2” feitas com incríveis cargas de CG. Eles não fizeram coisas que nunca tinha feito antes, mas foram mais perfeitos que em “Episode 1”.

No início de 2002 foi lançado “Lord of the Rings II” com artes ainda não utilizadas. E em 2003 foi lançado “Lord of the Rings III”.



Em termos de Cinema outros filmes foram criados:

- 2004 - The Incredibles
- 2005 – King Kong
- 2006 - Cars
- 2007 - Ratatouille
- 2008 - Wall-E
- 2009 - Up // Avatar
- 2010 - Toy Story 3
- 2011 - Cars 2 – Gnomeu e Julieta
- 2013 – Os Croods



- 2014 – Guardiões da Galaxia
- 2015 – Vingadores: Era de Ultron
- 2016 – Capitão América: Guerra Civil
- 2017 – Emoji: O Filme
- 2019 – Rei Leão
- 2020 – Canvas – Soul – A Caminho da Lua
- 2021 – Raya e o Último Dragão



Outra empresa de animações é a BlueSky, uma subdivisão da FOX que tem como principais filmes as sequências de “A Era do Gelo”, “Robôs”, e também o filme “Rio” e “Rio 2”.







## PERSONAGENS

- ❑ James Blinn - pioneiro em mapeamento de textura e reflexão de luz em superfícies curvas; planetário fly-bys, animações educacionais em JPL (1977-88).
- ❑ Jack Bresenham - algoritmos eficientes desenvolvidos para conversão de varredura de linhas e curvas.
- ❑ Loren Carpenter - ajudou a desenvolver o uso dos fractais nos gráficos, contribuinte principal na Pixar.
- ❑ Ed Catmull - inventou z-buffer e técnicas para visualização de superfícies curvas (1978), inventou o mapeamento de textura. Desenvolveu o programa de animação TWEEN. Primeiro presidente da Pixar (depois de sair da Lucasfilm em 1986), colaboração de longa data com Alvy Ray Smith.
- ❑ Robert Cook - desenvolveu uma amostra estocástica, para o uso na atialiasing e motion blur e inventou a shade trees.
- ❑ Frank Crow - inovações em anti-aliasing e os algoritmos de sombreado (1977).
- ❑ Charles Csuri - fez o trabalho em transformações análogas de imagens, criou o Computer Research Group e o Centro de Computação Avançada para Arte e Design na Universidade de Ohio State, co-fundador da firma de animação Cranston-Csuri (1982-87).
- ❑ William Fetter - responsável pelo termo Computação Gráfica (1960); primeiro a desenvolver um modelo computacional da forma humana (1964).

- ❑ Pat Hanrahan - desenvolveu o RenderMan Bill Reeves. Um grande contribuidor para o campo dos gráficos, ganhador do prêmio SIGGRAPH Computer Graphics Achievement em 1995.
- ❑ Ken Knowlton - criou a primeira linguagem animação de computador (1965).
- ❑ John Lasseter - escritor e diretor para Disney, Lucasfilm e Pixar. VP do desenvolvimento criativo na Pixar.
- ❑ Nelson Max - pioneiro na visualização científica e matemática no Laboratório Lawrence Livermore (1977 -...).
- ❑ A. Michael Noll - inovações na stereography e visualização multidimensional. Ajudou a coordenar a primeira mostra de arte gerada por computador (1965).
- ❑ Heinz Otto-Peitgen - contribuidor significativo para visualização matemática, incluindo o trabalho nos fractais.
- ❑ Alvy Ray Smith - maior contribuidor na NYIT e Lucasfilm/Pixar, dirigiu As Aventuras e Andre e Wally B., colaboração a longo prazo com Ed Catmull, VP na Pixar, e atualmente na Microsoft.
- ❑ Ivan Sutherland - desenvolveu o Sketchpad em 1963, primeiro display head-mounted em 1966, co-fundador da Evans and Sutherland.
- ❑ Edward Zajack - primeira película criada de animação de computador em 1961.
- ❑ Marcos Wagner – ministrou esta disciplina de Computação Gráfica, a partir de 2011.

#### COMPANHIAS

- ❑ Robert Abel and Associates - inovadores nas primeiras animações comerciais, incluindo o robô sexy em Brilliance e encabeçando as Amazing Stories (1971-86).
- ❑ Digital Effects - pioneirizando a produção de animação de computador, formado por Judson Rosebush e outros em 1978.
- ❑ Digital Productions - firma de animação fundada por John Whitney Jr. e Gary Demos, explorou o uso da supercomputação para a animação.
- ❑ Evans and Sutherland - uma das primeiras companhias de computação gráfica, fundada em 1968.
- ❑ Information International, Inc. (Triple I) - produziu muito da animação publicamente vista nos anos 70. Os talentos incluíram Gary Demos, John Whitney Jr, Frank Crow, e James Blinn.
- ❑ Pixar - o grupo anterior da computação gráfica da Lucasfilm. Comprada por Steve Jobs em 1986, encabeçada por Ed Catmull e Alvy Ray Smith, e mais tarde incorporando por Loren Carpenter, William Reeves e John Lasseter, responsáveis pelo efeito do genesis em Star Trek II, pelas aventuras Andre e Wally B., de John Luxo Jr., Red's Dream e Tin Toy (ganhador do Oscar em 1988), e Toy Story. E criou também Renderman, que ganhou um Oscar em 1993.
- ❑ MAGI - um dos primeiros no campo da animação em computador, formado em 1966 por Phillip Mittelman. Conhecido por usar sólidos e raios que seguem melhor que modelos poligonais.
- ❑ Pacific Data Images - fundada por Carl Rosendahl em 1980, PDI é um dos estúdios mais bem sucedidos em produção de animação em computador. O Locomotion é um de seus projetos mais impressionante.
- ❑ Ray Tracing Corporation - primeira companhia a usar o Ray Tracing para a produção da televisão e de película (1982). Tornou-se uma companhia multimilionária. Comprada eventualmente no fim dos anos 80, para uso militar do Ray Tracing (radar, sonar).

**[?]** Silicon Graphics, Inc. - fundada em 1982 por James Clark, SGI tem sido por muito tempo o líder na produção de Workstations e supercomputadores direcionados a Computação Gráfica.

### 3 – Aplicações

Indiscutivelmente a Computação Gráfica hoje encontra aplicações em praticamente todas as áreas do conhecimento humano. Em qualquer dessas aplicações explora-se uma das três características que enumeramos em seguida:

- A Computação Gráfica permite visualizar objetos que ainda se encontram em fase de projeto;
- A Computação Gráfica permite visualizar objetos que estão fora do alcance de nossa percepção visual;
- A Computação Gráfica permite visualizar objetos que fogem de nossa realidade tridimensional.

No primeiro caso, o modelo do projeto é concebido e construído no computador. Esse modelo, chamado maquete eletrônica, pode ser utilizado para analisar e fazer simulações de forma a obter informações fundamentais sobre o modelo real ainda na fase de projeto.

No segundo caso, podemos citar aplicações da Computação Gráfica na área de modelagem molecular, onde estruturas atômicas podem ser simuladas, visualizadas e analisadas, e a síntese de novas substâncias pode ser obtida nesse processo de simulação.

Para compreender a terceira característica, observamos que nossa realidade cotidiana consiste de um universo tridimensional regulado pelas leis da mecânica clássica e da geometria euclidiana. No computador podemos visualizar dados multidimensionais, e estudar o comportamento de objetos independente do tipo de geometria ou das leis do sistema físico do universo onde eles residem. Esse fato é bastante explorado nas aplicações de Computação Gráfica nas áreas de matemática, estatística e física.

As aplicações da Computação Gráfica se dividem em três grandes áreas:

- Projeto e Produção auxiliados por computador;
- Visualização de Dados e Visualização de Movimento;
- Interação Homem-Máquina

A utilização de Computação gráfica na área científica sofreu um impulso tal nos anos recentes que deu origem a uma nova área chamada visualização científica, a qual está se tornando uma ferramenta indispensável para a pesquisa em diversas áreas da ciência pura e aplicada.

#### **3.1 Efeitos Especiais**



É possível gerar efeitos especiais que irão gerar um enorme impacto em suas cenas, como por exemplo, explosões, fogo, cenários nebulosos, derretimento,



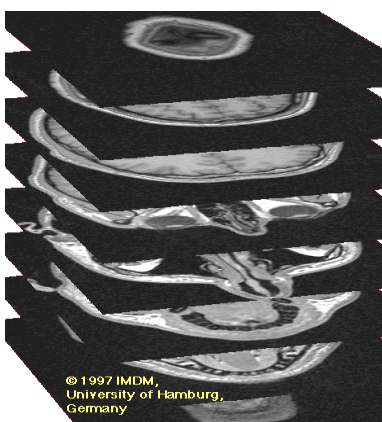
efeitos de reflexo, brilho, luzes volumétricas, simulação de água, nuvens, composição de animações com cenas reais e muito mais, do que você possa imaginar .

### 3.2 Jogos

Os video-games combinam os melhores aspectos do desenho animado e da computação para a criação de um mundo mágico de entretenimento. O resultado da mistura desses dois fatores requer o talento de muitas pessoas ligadas a criação de um video-game.



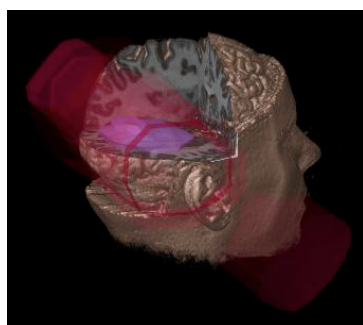
### 3.3 Visualizações Médicas



precisa ainda progredir muito. Os computadores são utilizados principalmente na aquisição das imagens, mas o passo atual e do futuro é o uso da computação gráfica para auxiliar na quantização da imagem e tratamento para a melhor extração da informação possível. O objetivo é oferecer os deste processo, bem como para a reconstrução da

O objetivo do imageamento médico é a avaliação médica de tecidos e funções orgânicas do corpo humano, normais e anormais - causadas por doenças ou acidentes, - por meio de imagens. O objetivo é passar da imagem qualitativa clássica para a quantização das imagens, em formato tridimensional, para obter a máxima informação destas imagens, e diagnosticar doenças o mais cedo possível, com maior precisão, e com a menor exposição à radiação ionizante.

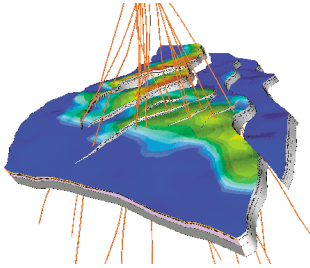
Embora mais de 75% de todas as imagens médicas ainda sejam de placas de raio X (radiografia), com o advento da Tomografia Computadorizada em 1972, o uso de computadores na medicina tem se desenvolvido bastante, mas



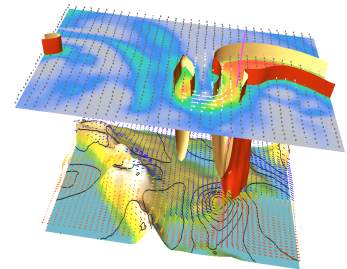
princípios físicos e matemáticos das ferramentas computacionais imagem.



### **3.4 Sistemas de Informações Geográficas**



Com o desenvolvimento e a popularização de softwares para computação gráfica, a informática vem também ampliando o universo de usuários e produtores de informações cartográficas em meio digital, destinadas principalmente para compor as bases de dados gráficos dos Sistemas de Informações Geográficas. A tecnologia de



geoprocessamento tem hoje na computação eletrônica um instrumento imprescindível, amplamente empregado nas diversas etapas da construção das bases de dados, ou seja, da aquisição do dado primário através dos levantamentos até a disponibilização da informação final, a informática está presente no processo.

### **3.5 Simulações**

Através da Computação Gráfica podemos pilotar espaçonaves, voar/caminhar em ambientes construídos com recursos de visualização tridimensional.

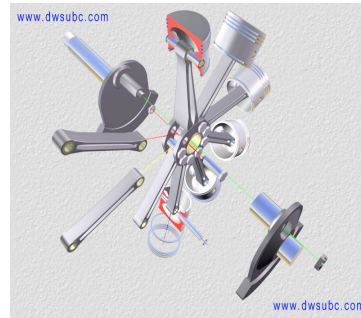


### **3.6 CAD**

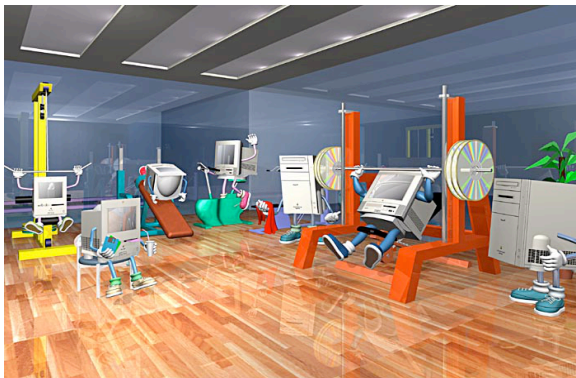
Na área de projeto e produção auxiliado por computador, conhecida em inglês por CAD/CAM de “Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing”, a Computação Gráfica permite a criação, representação e análise de modelos em fase



de projeto, possibilitando visualizar e experimentar soluções ainda não realizadas fisicamente. Além disso, na fase de fabricação a produção pode ser automatizada com auxílio da Computação Gráfica incluindo em alguns casos até mesmo a geração do produto final. Isso ocorre, por exemplo, na produção do fotolito de uma página na área de editoração eletrônica, ou na construção de peças mecânicas usando uma máquina ferramenta de controle numérico.



### **3.7 Artes Gráficas & Design**



A computação gráfica, que revolucionou a área de artes gráficas, consolidou um novo patamar no setor de publicidade/criação.

### **3.8 Arquitetura**

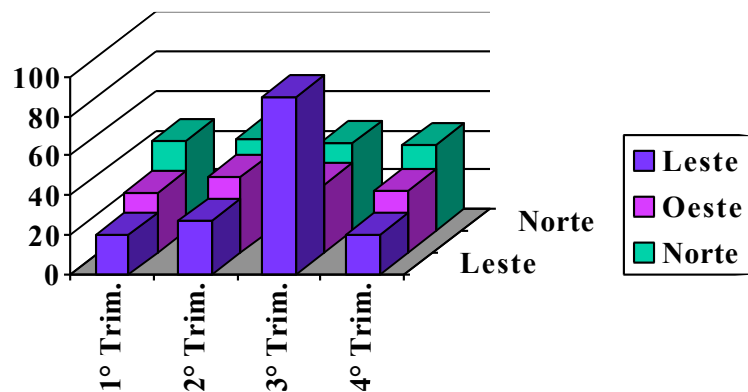
Com a computação gráfica podemos também gerar impressionantes situações, como por exemplo, gerar uma animação ou perspectiva de um prédio pronto em seu local original, sem que ele ainda tenha acabado de sair da criação de seu engenheiro.



E ainda mais, gerar animação em toda sua área externa partindo para sua área interna toda decorada.

### 3.9 Gráficos

Outro importantíssimo campo dentro da Computação Gráfica é a visualização de dados através de gráficos. Ela consiste basicamente na geração de imagens a partir de um conjunto de dados. Estes dados podem ser gerados por de forma interativa ou por modelos que simule um fenômeno real como, por exemplo, o comportamento de partículas durante uma reação química.



### ? 3.10 Propaganda



A computação gráfica, esta fazendo parte cada vez mais de nossa vida e com recursos mais impressionantes. Hoje nos acostumamos a ver fascinantes comerciais de TV com recursos de animações 3D e os fantásticos efeitos usados no cinema.

### 3.11 Realidade Virtual

A realidade virtual envolve tecnologias revolucionárias para o desenvolvimento de aplicações, em função de novas possibilidades que oferece para

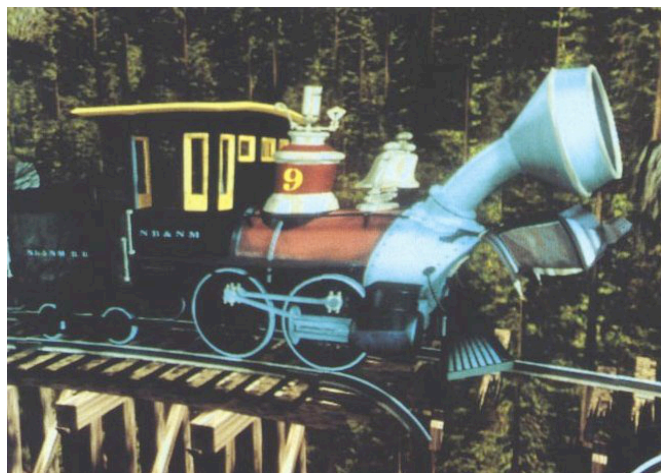




interfaceamento com o uso de dispositivos multi-sensoriais, navegação em espaços tridimensionais, imersão no contexto da aplicação e interação em tempo real.

### **3.12 Animações Computadorizadas**

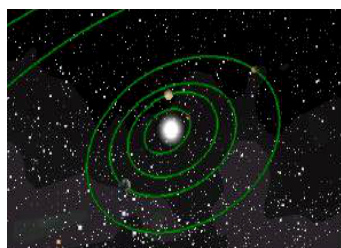
A Animação corresponde à área da Computação Gráfica na qual são realizadas as simulações dos fenômenos físicos associados ao movimento e a deformação de corpos. Além



disto é ainda a responsável por movimentar a câmera no cenário virtual gerando uma seqüência de imagens, correspondentes a assim denominada animação computadorizada.

Uma vez realizada a modelagem geométrica dos objetos constituintes da cena, pode-se gerar imagens dos mesmos, a partir de processos de simulação os mais variados, mas que tem por princípio gerar imagens da cena observada.

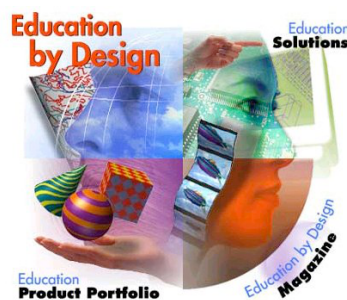
### **3.13 Educação**



de ensino e aprendizagem. Porém, podem ser vistos como ferramentas de apoio didático ou mesmo, meios estratégicos, empregados em diversos momentos do ensino-aprendizagem em salas de aula presencial ou virtual.

Os avanços tecnológicos têm causado modificações significativas no ensino com a utilização cada vez maior de computadores, de softwares educativos e Internet, estes constituem pontos centrais em todo debate sobre o emprego de novas tecnologias na educação.

Isoladamente não dão conta da complexa tarefa



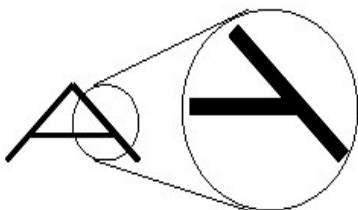
## 4 – Equipamentos

Como o objetivo da Computação Gráfica é gerar e manipular imagens é essencial que os dispositivos periféricos ligados ao computador sejam capazes de lidar (ler/escrever) com dados em forma gráfica. Muito dos avanços e técnicas desenvolvidos em Computação Gráfica, até hoje, tem uma estreita relação o aprimoramento destes dispositivos. Isto se deve ao fato de que o objetivo é sempre produzir a melhor imagem dentro das possibilidades do equipamento disponível.

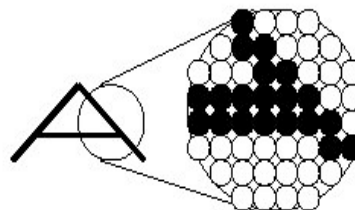
Os sistemas para computação gráfica precisam de alguns dispositivos gráficos de entrada e saída ligados a um computador. Assim, dispositivos gráficos são elementos críticos de um sistema de computação gráfica. Através dele, interagimos com o sistema na busca de uma extensão dos limites de nosso corpo e uma melhor comunicação com a máquina. Ao contrário do software, que encontra nas novas arquiteturas de CPUs e memórias, um ambiente adequado para sua evolução contínua, o hardware enfrenta diversos obstáculos para sua evolução. Um dos principais obstáculos está no preço ocasionado pelo elevado custo de desenvolvimento que, apesar das freqüentes quedas, ainda está muito aquém da realidade do mercado consumidor. Outro grande obstáculo está no peso e tamanho desses componentes que devem ser reduzidos para que possam ser facilmente utilizados.

Os dados gráficos, de acordo com a forma como são realizadas sua entrada, armazenamento e saída, podem possuir natureza **vetorial** (*stroke*) ou **matricial** (*raster*). Dados **vetoriais** são definidos através de segmentos de reta entre cada dois pontos de uma malha de contornos que determina a superfície do objeto gráfico que essa malha representa. Dados **matriciais** se definem como uma matriz bidimensional de pontos que determinam o espaço da imagem onde o objeto está sendo representado e tal que cada um desses pontos possui uma localização única nesse espaço, além de uma intensidade de cor associada.

- Vetoriais: Dados representados por pontos coordenados e linhas, capazes de ligar tais pontos:
  - Coordenadas relativas: mouses (ópticos e mecânicos), joysticks, bolota e diais
  - Coordenadas absolutas: teclados, mesas digitalizadoras, - caneta óptica - “light pen”, tela óptica - “touch screen”
- Matriciais: Consiste de uma matriz de pontos no espaço e a cada ponto é associado um atributo de Intensidade:
  - Digitalizadores de vídeo: a partir de um sinal de televisão gera uma matriz de pontos em um monitor de vídeo; - FRAME GRABBER -
  - Varredores digitais (SCANNER): são baseados na absorção da luz; versão do FRAME GRABBER para papel, FILM SCANNER: o equivalente para filme.



: Ampliação da representação de uma letra "A", como um **Dado Vetorial**.



: Ampliação da representação de uma letra "A", como um **Dado Matricial**.

## 4.2 Classificação dos Dispositivos Periféricos Gráficos

Os dispositivos gráficos podem ser classificados, entre outras, segundo 2 visões:

- **Quanto à finalidade:** dispositivo de entrada ou de saída
- **Quanto ao formato dos dados:** dispositivos matriciais ou vetoriais.

Para **dispositivos de entrada** o termo **matricial** define uma classe de dispositivos em que os dados (pontos) são colhidos em conjunto e armazenados em forma de matrizes. Por outro lado **dispositivos vetoriais de entrada** denotam equipamentos através dos quais se pode colher dados (pontos) de forma isolada.

Para **dispositivos de saída**, por sua vez, o termo **matricial** designa dispositivos cuja geração de imagens dá-se pelo "*acendimento*" ou "*apagamento*" de pontos sobre uma matriz. Por outro lado, **dispositivos vetoriais de saída** são aqueles em que as imagens são criadas através de comandos específicos para a geração de entidades como, por exemplo, retas e círculos.

### 4.2.1 Dispositivos Gráficos de Entrada

Dentre os diversos usos que podem ser dados aos dispositivos gráficos de entrada podemos destacar como mais comuns:

- Controlar um cursor que se move sobre a superfície de um monitor de vídeo (uma grande variedade de dispositivos periféricos gráficos de entrada deve ser utilizado em conjunto com um monitor de vídeo).
- Facilitar a digitalização de informações gráficas externas ao computador e
- Selecionar comandos e funções.

#### **Teclado**

O teclado é um agrupamento de letras e números dispostos como num teclado de máquina de escrever, e usualmente está acoplado aos consoles e aos terminais de vídeo. A cada toque, envia-se ao computador um código que corresponde ao carácter seleccionado. A combinação de teclas especiais pode enviar código de controle.



#### **Mouse**

É um dispositivo que consiste de uma pequena caixa, com rodas ou esferas em sua parte inferior. A medida que o usuário desloca o "mouse" sobre uma mesa este movimento produz rotações em suas rodas (ou esferas). Estas rotações são então convertidas e enviadas para o computador sob forma de números que definem o deslocamento do "mouse" em relação a sua posição anterior. Um "mouse" é, normalmente, utilizado para mover um cursor sobre a tela e permitir a criação de desenhos ou a escolha de opções em menus, entre outras funções. Para a



escolha de opções ou marcação de pontos o "mouse" possui, em sua parte superior, um ou mais botões que ao serem pressionados também geram sinais para o computador. Os "mouse" de rodas ou esferas são mecânicos e por vezes podem falhar em detectar movimentos na diagonal ("mouse" de rodas) ou em superfícies muito lisas ("mouse" de esfera ou de rodas). Para contornar esse tipo de problema surgiram mais recentemente os "mouse" óticos. O "mouse" ótico desliza sobre uma superfície refletora especial que permite que seu sistema ótico perceba seu deslocamento;

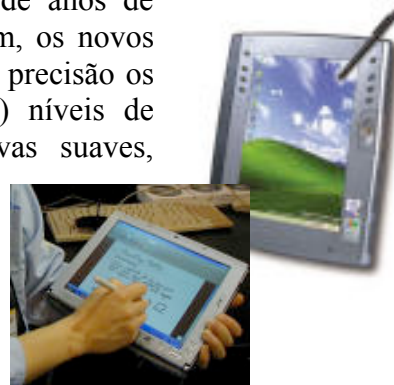
### **Joysticks**



São alavancas de comando que determinam a direção e velocidade do cursor na tela. São usados geralmente nos jogos de vídeo games, estações de realidade virtual e estações industriais de controle de robôs.

### **Tablet**

São extensões dos monitores sensíveis ao toque. Fruto de anos de pesquisas sobre como os profissionais realmente trabalham, os novos tablets são calibrados com perfeição para ler com absoluta precisão os movimentos da caneta, que opera com 1024 (ou mais) níveis de sensibilidade à pressão. Estes são traduzidos em curvas suaves, transições graduais e controles precisos do traço. Um software incluso nos pacotes dos hardwares de tablet possibilita o reconhecimento da escrita.



### **Mesa Digitalizadora**



Dispositivo vetorial que consiste de uma mesa e de um apontador. A cada vez que o usuário toca a mesa com o apontador é informado ao computador a coordenada deste ponto da mesa.

### **Telas Sensíveis ao toque**



É uma mistura de digitalizadores e canetas óticas pois funcionam com contato do dedo do operador com a tela do monitor. É usada com mais frequência em sistemas comerciais.

## Scanner

É um equipamento capaz de detectar as mudanças de coloração de uma superfície (desenhos e letras), transferindo ao computador uma matriz de pontos. Existem, basicamente, dois tipos de "scanners": "scanners de mesa" que se assemelham a uma máquina de xerox e "scanners de mão" que se assemelham a um mouse onde no lugar das rodas ou esferas temos um sensor de coloração. Em geral as imagens produzidas por um "scanner" de mão são de qualidade inferior devido ao fato que elas estão sujeitas à perícia do operador. Em geral os "scanners" são monocromáticos e produzem imagens em tons de cinza utilizando-se de técnicas de "Halftone". "Scanners" coloridos utilizam-se de filtros para compor imagens a cores.



## Dispositivos de Entrada 3D

Com a popularização dos sistemas 3D e o barateamento dos componentes eletrônicos, surgiu uma diversidade de dispositivos de entrada 3D. Em qualquer casa de jogos eletrônicos podemos ver simuladores de esqui, skate entre outros. Basicamente, esses dispositivos permitem a movimentação e interação dentro de um espaço 3D qualquer.

### Digitalizador tridimensional

Trata-se de um dispositivo vetorial e consiste em uma espécie de braço mecânico com um sensor de toque na ponta. A cada vez que o sensor atinge um ponto na superfície de um objeto, a coordenada deste ponto em relação a um ponto referencial (origem) é transmitida ao computador.



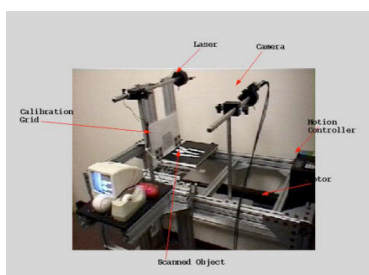
### Scanners tridimensionais

Existem diversas tecnologias de scanners disponíveis no mercado. As mais baratas utilizam câmeras digitais acopladas a uma mesa especial que fornece as coordenadas para os sistemas. Esta tecnologia quase sempre requer a intervenção de modeladores para o acabamento das peças. A tecnologia de scanners a laser é





sem dúvida a tecnologia de dispositivos de entrada que vem atraindo mais atenção no mundo.



### Luvas

São dispositivos que, através de sensores, detectam e medem as flexões e abduções dos dedos. Os sensores podem ser mecânicos, ópticos ou híbridos.



### Capacetes

Existem diversos tipos de capacetes para interação em Realidade Virtual disponíveis no mercado. A principal característica desses equipamentos é que podem ser: estereoscópicos ou monoscópicos (isto é, usados com uma ou duas cenas); Binoculares ou monoculares (um ou os dois olhos são estimulados); opacos ou translúcidos (substituem ou complementam a realidade).



### 3D Controllers

São dispositivos para interatividade com ambientes 3D capazes de tornar o ambiente participativo, seguindo os movimentos executados pelo usuário. Trabalham tanto em cima de uma mesa como no ar, pois possuem um giroscópio que tem comunicação por rádio com o computador. São capazes de medir a velocidade e a força que estão sendo aplicadas pelo usuário.



### Roupa de RV

A roupa para Realidade virtual (ou data suits) permite a interação com o mundo virtual. A comunicação pode ser realizada de várias maneiras, sendo que o acompanhamento óptico de marcadores vem sendo o mais utilizado. Essas roupas são usadas para gerar informações



do movimento humano, a partir daí surge uma infinidade de aplicações para animações, esporte, etc.

#### **4.2.2 -Dispositivos Gráficos de Saída**

##### **Impressoras Jato de tinta**

Possuem no cabeçote minúsculos tubos que jogam tinta sobre o papel. Utilizando-se tintas de várias cores obtém-se imagens semelhantes a fotografias, sendo esta sua grande vantagem;



##### **Impressoras Laser**



São as que possuem melhor qualidade de imagem em preto e branco. Funcionam de maneira semelhante às máquinas de cópias popularizadas com os modelos da Xerox. A imagem é magnetizada por laser em um tambor sobre o qual é espalhado "tonner" que se concentra nos pontos magnetizados. Em seguida o tambor é pressionado sobre o papel que absorve a tinta. O grande problema das impressoras a LASER é que para poder gravar a imagem sobre o tambor é necessário que a mesma seja mapeada em memória. Como a resolução é muito

alta esta memória tende a ser bastante grande (da ordem de 2 Mega bytes). Por esta razão o tempo de transferência dos dados do computador para a impressora cresce;

##### **Impressoras térmicas**



São equipamentos silenciosos, com boa resolução, podem trabalhar com ampla gama de cores. As impressoras térmicas precisam utilizar um papel termo-sensível especial.

##### **Plotters**

São dispositivos que utilizam uma caneta para riscar o papel. Existem dois modelos básicos. Um onde o papel permanece fixo e a caneta produz sobre o mesmo pela combinação de movimentos e verticais e outro onde o desenho é produzido pela combinação dos movimentos do papel e da caneta (um ortogonal ao outro). Independente do modelo os traçadores são, em geral, dispositivos que recebem comandos de alto nível que especificam o traçado de pontos, retas, círculos, arcos, regiões hachuradas, etc;



desenhos horizontais

## Monitores

A maioria dos modelos atuais se baseia na tecnologia de tubos de raios catódicos (CRT Catode Ray Tube), já madura e capaz de oferecer uma boa relação custo/benefício, para produzir imagens de qualidade em computadores pessoais. Em várias partes do mundo já é difícil encontrar um modelo



CRT nas lojas. A queda drástica nos preços dos monitores LCD (Liquid Cristal Displays), seu pouco peso e espessura são as principais causas dessa derrocada. Porém, os CRTs têm ainda uma vantagem em relação aos LCDs no que diz respeito ao brilho e à versatilidade da resolução.

## Monitores CRT

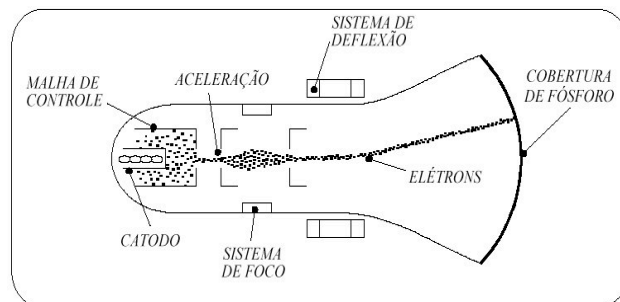


magnéticos  
d.d.p.



Até há pouco tempo era praticamente o único tipo de vídeo utilizado. Os monitores CRT são compostos por um canhão que gera um feixe de elétrons. Um cátodo aquecido emite um feixe eletrônico que é convenientemente focalizado por um conjunto de lentes e acelerado. Ao incidir na superfície de tubo, que é recoberta de fósforo:

pontos bombardeados pelos elétrons emite luz e a associação de pontos acesos forma a imagem. O feixe eletrônico é desviado pela ação de campos produzidos por bobinas à qual é aplicada uma proporcional ao desvio desejado.



## Monitores CRT coloridos

A cor da luz emitida vai depender do fósforo usado. Os monitores monocromáticos, mais simples, produzem imagens na cor verde, branco ou âmbar e, durante muito tempo, foram os únicos a oferecer custo acessível para o usuário de computadores de mesa. Esses modelos usam o padrão RGB (Red, Green e Blue), um sistema de todas as cores com base no vermelho, verde e azul. Para geral qualquer cor do espectro, os monitores coloridos precisam de três sinais separados, que vão sensibilizar os pontos de fósforo das três cores primárias, suficientemente pequenos para parecer ao olho humano com um



único ponto de luz.

## Monitores LCD



Os monitores de cristal líquido (LCD – Liquid Crystal Display) não possuem um canhão de elétrons, o que lhes confere uma série de vantagens e algumas desvantagens. Em substituição ao tubo de raios catódicos, existe um sistema de células contendo cristal líquido e filtros coloridos polarizados.



### Head Mounted Displays

Também conhecidos como “óculos de realidade virtual” ou “capacetes de realidade virtual”, ou HMDs (Head Mounted Displays) operam exibindo em duas pequenas telas (uma para cada olho) imagens de cena virtual. Os HMDs são construídos, normalmente, usando dois tipos de monitores: CRT ou LCD. Acoplados aos HMDs, em geral existem sistemas de rastreamento da posição da cabeça, a fim de permitir que se atualize as imagens do mundo virtual de acordo com a direção para onde o usuário está olhando.



### Stereo Glasses

São úteis em aplicações onde várias pessoas precisam observar a mesma imagem estéreo, como visualização científica, cirurgias e passeios virtuais em parques de diversão. A idéia é colocar nos usuários pares de óculos com lentes de cristal líquido capazes de bloquear a visão de um dos olhos quando necessário.



## Cave



Os primeiros registros de simulações



realizados pelo homem são da época das cavernas. Na pré-história, os guerreiros desenhavam nas cavernas cenas de batalhas e caça de animais. Usando uma tocha, iluminavam a seqüência e passos para demonstrar às crianças e aos jovens como seria na prática. Daí vem o nome Cave (caverna). Esses dispositivos usam a idéia de colocar o usuário em uma sala com paredes que são na verdade telas para projeções de imagens.

## Placas Aceleradoras de Vídeo

Os monitores interpretam sinais analógicos para apresentar imagens na tela. Para isso, o processador existente na placa de vídeo precisa transformar os sinais digitais em analógicos antes de enviá-los ao monitor. Nem todo o processamento de imagens é realizado pelo processador de vídeo. Parte desse trabalho é realizada pelo processador principal, mas quanto mais poderoso o processador de vídeo, menos sobrecarregado fica o processador principal, ficando disponível para efetuar outras tarefas. Processar imagens é, basicamente fazer cálculos. Quanto mais complexa uma imagem, maior o número de pontos que devem ser criados.



## AGP

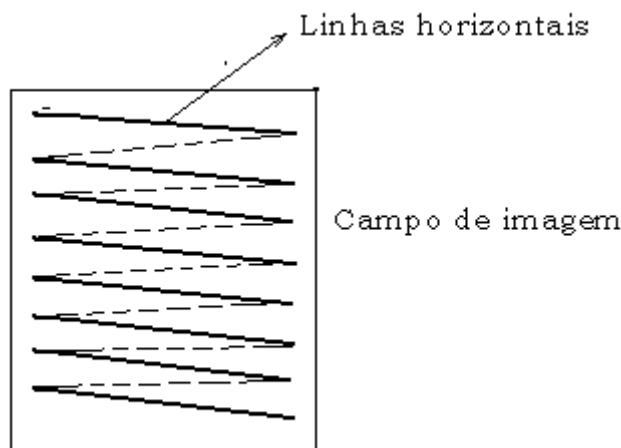
A porta AGP (Accelerated Graphics Port) segue como padrão mínimo para boas placas gráficas. É usada para conectar placas gráficas diretamente para a CPU e para a memória principal. O modo AGP permite que as placas gráficas se comuniquem com a CPU e com a memória principal. O modo AGP permite que as placas gráficas se comuniquem com a CPU e com a memória principal a taxas de dados de cinco a oito vezes mais rápido do que o barramento PCI.

## Varredura horizontal

Uma sucessão de pontos em uma tela de um monitor são representados por uma linha horizontal. Uma imagem é, portanto obtida a partir da composição de várias linhas horizontais. O total de linhas representa um campo de imagem. A frequência das linhas de varredura em um monitor é de aproximadamente **31kHz** (dependendo do modo de resolução

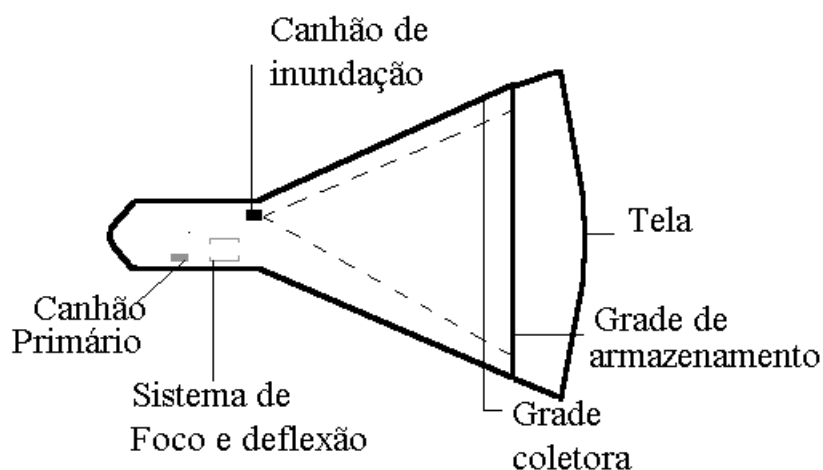
da cpu) isso significa que teremos aproximadamente 31.000 linhas por segundo varrendo a tela.

### Varredura vertical



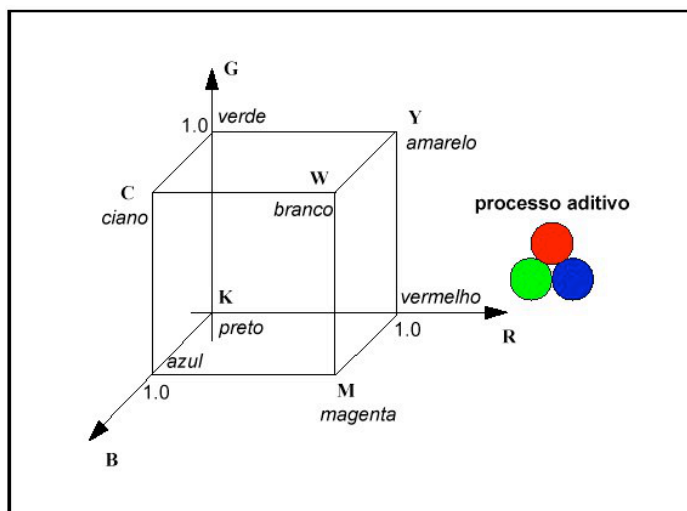
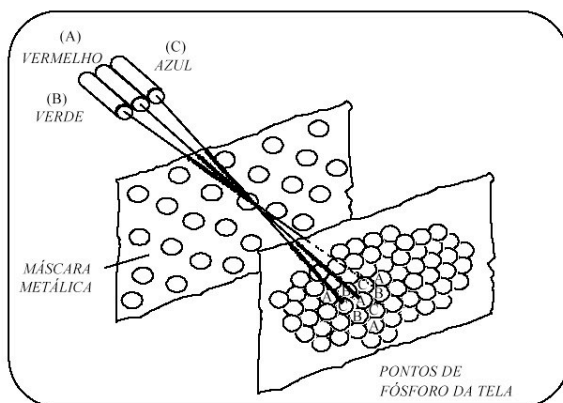
Após o traçado da última linha horizontal teremos um campo de imagem. A frequência de campo em um monitor é de aproximadamente **70Hz** (dependendo do modo de resolução da cpu). Isso significa que teremos aproximadamente 70 campos de imagem por segundo.

O tubo é composto de 3 camadas de fósforo diferentes e sensíveis às cores “vermelho, verde e azul”. O tubo possui 3 diferentes canhões de luz. Estes canhões podem ser montados numa configuração triangular ou linear. Os fósforos na tela são formados como tríades. A convergência é feita por uma placa metálica chamada “shadow-mask”. Funciona como CRT convencional. Há, no entanto, no seu interior, um monitor auxiliar (o canhão de inundação) - “Flood Gun”.



Funcionamento: O canhão primário é usado para desenhar a definição da imagem sobre a grade de armazenamento, formada de material não-condutor. Elétrons de alta

velocidade do canhão primário colidem a grade de armazenamento fazendo sair alguns elétrons que são atraídos para a grade coletora, de carga positiva. Como a grade de armazenamento é não-condutora, a área onde os elétrons foram removidos manter-se-a positiva. Esta área positiva armazenada é a definição da figura. O canhão de inundação produz um contínuo jato de elétrons de baixa velocidade que passam através da grade coletora e são atraídos para as áreas positivas da tela de armazenamento. Estes elétrons atingem a tela de fósforo através da grade de armazenamento sem afetar sua carga.



### Displays de Cristal-líquido

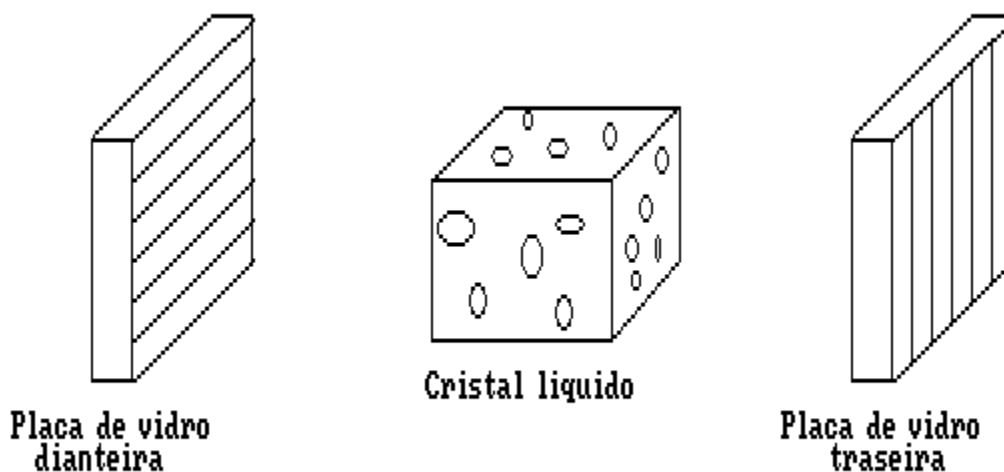
São os mesmos *displays* utilizados em mostradores de relógios e calculadoras. Estes monitores possuem uma camada de cristal líquido (é comprimida entre duas placas de vidro). Internamente essas placas de vidro possuem condutores de espessura bastante fina, praticamente transparentes ao observador. Esses fios estão dispostos em malha. Inicialmente as moléculas do cristal estão desorganizadas e permitem a passagem da luz. Ao aplicar-se uma tensão nos fios elas se organizam próximas aos nós da malha e bloqueiam a passagem da luz. Adicionando-se cor aos cristais é possível criar "displays" coloridos.

Fundamentos: Uma camada de gás neon, misturada com outros gases é comprimida entre duas placas de vidro. Essas placas possuem no seu interior fileiras de condutores

milimétricos. O gás é ionizado pela passagem de corrente elétrica nestes condutores. Ao passar por uma interseção a corrente provoca emulsão de luz pelo gás.

No caso do display de cristal líquido, as moléculas de cristal líquido encontram-se, inicialmente, sem direcionamento. Aplicando-se um potencial elétrico aos condutores, tais moléculas se arranjam, impedindo a passagem de luz através das superfícies de polarização, com isto, certas células tornam-se escuras, mostrando a figura nos cruzamentos.

O grande problema desse tipo de tecnologia é o tempo que as moléculas do cristal levam para reagir.

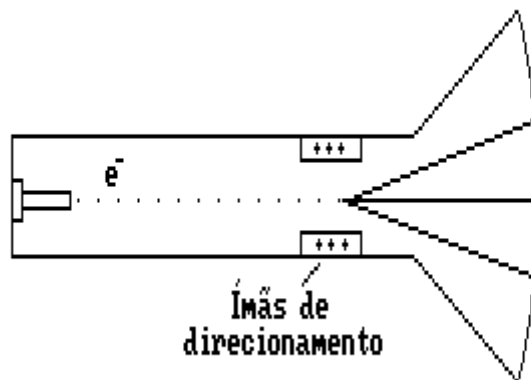


### **Display de Varredura rastreada**

É o tipo de "display" mais utilizado hoje em dia devido a seu baixo custo e boa qualidade de imagem. Esse tipo de "display" é baseado em um tubo de raios catódicos (CRT display). Seu funcionamento é bastante simples: uma cápsula de vidro de formato especial constitui seu corpo e é suporte para todos os seus componentes internos. A parte frontal do tubo é revestida com uma camada de fósforo, produto químico capaz de emitir luz quando bombardeado por elétrons.

O canhão de elétrons situa-se na extremidade oposta do tubo e é capaz de direcionar seu feixe para uma determinada posição da tela gerando assim um pixel. A habilidade de se fazer desenhos sobre a tela é resultante do controle que temos sobre o feixe de elétrons. À medida que deslocamos o feixe, o rastro de brilho que fica sobre a tela irá compor a imagem.

Em geral o controle do canhão é feito através de comandos que são passados a uma placa controladora do vídeo. Dificilmente controlamos diretamente o canhão. Para que possamos localizar pontos sobre a superfície do fósforo, geralmente os controladores usam mapear sobre a mesma um plano cartesiano.



### Tubo de Raios Catódicos

Ocorre que um elétron que atinge a superfície do vídeo produz um brilho que decai com o tempo. Esse tempo que um fósforo é capaz de conservar-se aceso é chamado de **Tempo de Persistência do Fósforo**.

Não importando qual a persistência do fósforo é certo que de tempos em tempos será necessário fazer um "*refresh*" da imagem, ou seja, será necessário que o canhão redesenhe a mesma imagem antes que o fósforo se apague. Desta maneira tem-se a ilusão de que a imagem permanece "acesa". Obviamente o tempo de "refresh" terá de ser menor que o tempo de decaimento do fósforo. Em geral a imagem tem de ser refeita de 30 a 60 vezes por segundo.

### Memória de vídeo

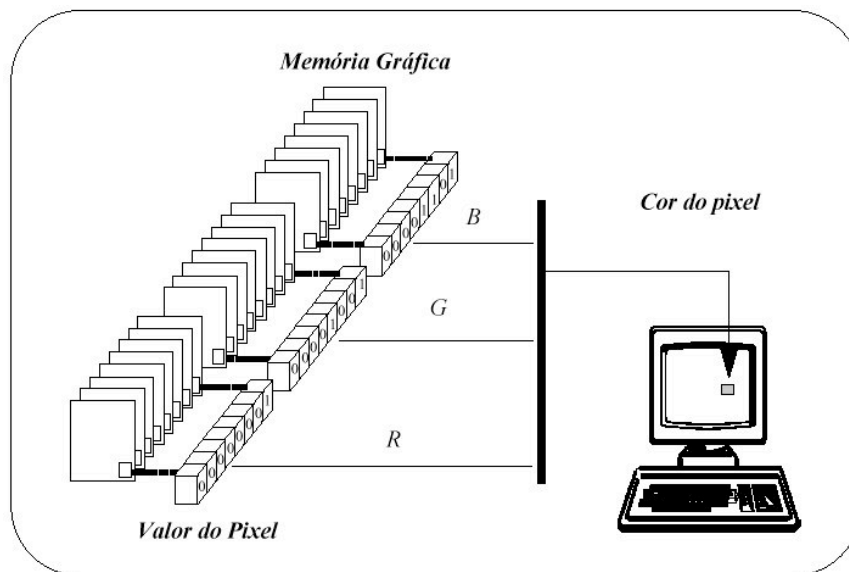
Conforme já foi mencionado os vídeos de varredura fixa possuem a imagem mapeada em memória. Cada posição da memória imagem corresponde a um "pixel" da tela. No caso dos vídeos monocromáticos, a quantidade de memória necessária para indicar o estado de um PIXEL é um BIT (0 = apagado, 1 = aceso). Para podermos trabalhar com mais cores teremos de aumentar o número de bits por pixel.

De fato, no caso de monitores coloridos, o que se precisa é registrar, na memória de vídeo, a intensidade de cada uma das três componentes (R, G e B) para cada ponto.

Como número de cores que os vídeos podem produzir é muito grande, a limitação do número de cores (resolução de cor) é imposta pelo tamanho da memória do controlador. Diz-se, então, que a resolução de cor de um controlador é determinada pelo tamanho de sua memória ou pela relação bit/pixel. Quanto maior o número de intensidades disponível para cada canhão (R,G,B) maior será a quantidade de memória necessária para armazenar a cor de um ponto e, conseqüentemente, maior terá que ser o tamanho da memória de vídeo.

Por exemplo, se for necessário ter-se 256 intensidades diferentes de cor para cada canhão serão gastos 8 bits por canhão ( $2^8=256$ ) serão consumidos, por pixel, 3 bytes. Em uma tela de 1024x1024 o tamanho da memória de vídeo será de 3Mb ( $1024 \times 1024 \times 3 = 3\text{Mb}$ ). Já em uma tela de 640x480 a memória de vídeo deverá ter 900 Kb.

A este tipo de controlador, que armazena para cada ponto o valor de cada componente RGB, foi dado o nome de **True-color Systems**.



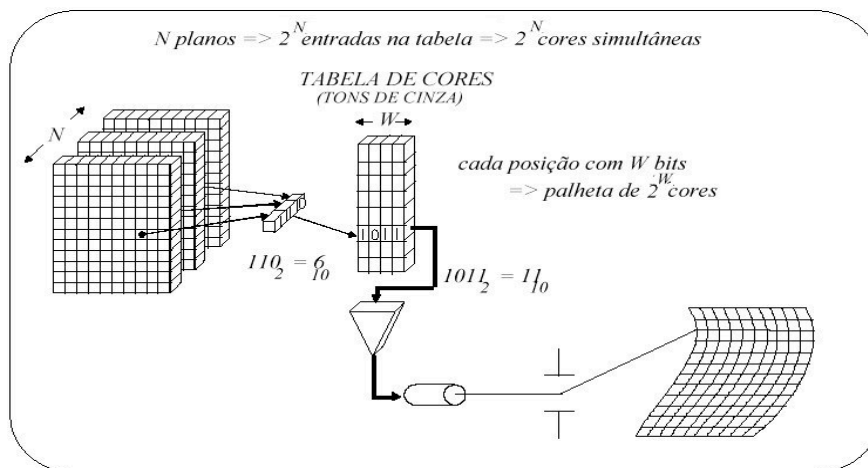
O problema deste tipo de técnica, para a organização da memória de vídeo, é seu custo. Isto porque, a memória de vídeo é formada, na realidade, por um conjunto de registradores de cor (que têm um preço mais elevado que as memórias comuns).

### Sistemas de Palette

Em função do alto custo apresentado pelo método de armazenamento acima descrito, os técnicos de "hardware" introduziram o conceito de **PALETTE** ou **tabela de cores**. Com esta nova técnica, para cada ponto não se armazena mais os valores das componentes R, G e B e sim apenas um número que indica um índice em uma **Tabela de Registradores de Cores**. Nesta tabela representa-se, então, as quantidades de R, G, B para cada certa cor.

A primeira vantagem desta técnica é que a memória de vídeo passa a ser formada não mais por registradores e sim por elementos de memória de custo mais reduzido.

Além disso ocorre uma redução no tamanho da memória de vídeo. Tome-se o caso descrito anteriormente de uma tela de 1024x1024 e de um controlador com uma tabela de 256 registradores de cor, cada um deles com 8 bits para cada componente RGB. Para endereçar cada uma das entradas do "palette" necessita-se de 8 bits por "pixel" ( $2^8=256$ ). Com esta configuração tem-se um consumo de 1Mb ( $1024 \times 1024 \times 1 = 1\text{Mb}$ ) para a memória de vídeo e de apenas 768 ( $256 \times 3 = 768$ ) registradores de cor para o "palette".



A desvantagem dos sistemas de "palette" em relação aos sistemas "true-color" reside no fato de que a tabela de registradores de cor tem um número de entradas finito e, por consequência, o número de cores diferentes possíveis de se exibir em um mesmo momento fica restrito a seu tamanho.



# 5 – Sistemas de Coordenadas

## Resolução

Todos dispositivos gráficos usam uma grade retangular de localizações endereçáveis. Este retângulo é chamado de “*Display Rectangle*” ou “*Graphics I/O Rectangle*”. Dispositivos gráficos são fixados de acordo com sua resolução gráfica (*aspect-ratio*), ou seja, o número de horizontais versus posições verticais.

Parâmetros importantes:

- ❓ ndh : N° de localizações gráficas endereçáveis horizontalmente;
- ❓ ndv : N° de localizações gráficas endereçáveis verticalmente;
- ❓ width : a largura física do retângulo em milímetros;
- ❓ height : a altura física do retângulo em milímetros.

Por exemplo, o monitor PC:

width - 245,0	ndh - 640
height - 186,0	ndv - 200

Baseado nestes conceitos define-se:

1. Resolução horizontal  
 $\text{Res-horiz} = \text{ndh}/\text{width}$
2. Tamanho de pontos na horizontal (horizontal dot size)  
 $\text{Hor-dot-size} = \text{width}/\text{ndh}$
3. Resolução vertical  
 $\text{res-vert} = \text{ndv}/\text{height}$
4. Tamanho de pontos na vertical (vertical dot size)  
 $\text{vert-dot-size} = \text{height}/\text{ndv}$
5. Total de pontos endereçáveis  
 $\text{total-nr-dot} = \text{ndv} * \text{ndh}$
6. Graphics aspect ratio  
 $\text{aspect-ratio} = \text{vert-dot-size}/\text{horiz-dot-size}$
7. Physical aspect ratio  
 $\text{Phys-aspect-ratio} = \text{height}/\text{width}$

## Definições

Podemos utilizar diferentes sistemas de coordenadas para descrever os objetos modelados em um sistema 2D ou 3D. O sistema de coordenadas serve para nos dar uma referência em termos de medidas do tamanho e posição dos objetos dentro de nossa área de trabalho.

Um determinado sistema de coordenadas é denominado de Sistema de Referência se for um sistema de coordenadas cartesianas para alguma finalidade específica. Ao definirmos um sistema de coordenadas de referência, devemos especificar dois aspectos principais: a unidade de referência básica e os limites extremos dos valores aceitos para descrever os objetos. Alguns sistemas, como os mostrados no esquema a seguir, recebem uma denominação

especial, são os Sistemas de Coordenadas do Mundo (WC), Sistemas de Coordenadas Normalizadas (NDC) e Sistema de Coordenadas do Dispositivo (DC).

## Sistema de Coordenadas do Mundo (WC)

É chamado de coordenadas do mundo o sistema de referência utilizado para descrever os objetos em termos das coordenadas utilizadas pelo usuário em determinada aplicação. Sendo assim, cada tipo de aplicação especifica o seu universo de trabalho próprio, por exemplo, para sistemas de CAD de arquitetura, o universo poderá ser em metros ou em centímetros; e para um CAD de mecânica de precisão, o universo provavelmente estará em milímetros ou nanômetros.

O tipo de sistema mais utilizado é o sistema cartesiano; e uma outra opção é o sistema polar que as coordenadas são descritas por um raio e um ângulo. Também, encontraremos o WC sendo denominado por sistema de coordenadas do usuário.

Os objetos (gráficos) são especificados no sistema de coordenadas do usuário e devem ser convertidos em coordenadas apropriadas do dispositivo físico.

A porção do desenho que deve aparecer na tela é chamada de JANELA. Uma janela é geralmente definida por seus limites mais altos e menores.

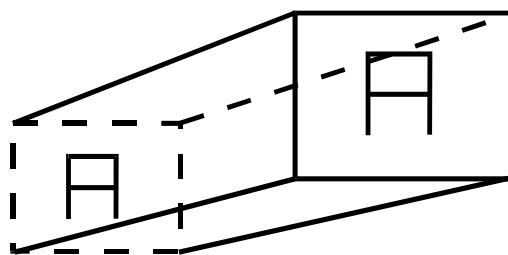
Formato geral da definição de uma janela:

**WINDOW(min-x,max-x,min-y,max-y)**

A janela pode apresentar porção do objeto, o objeto inteiro ou o objeto mais uma área vazia. Ou seja:

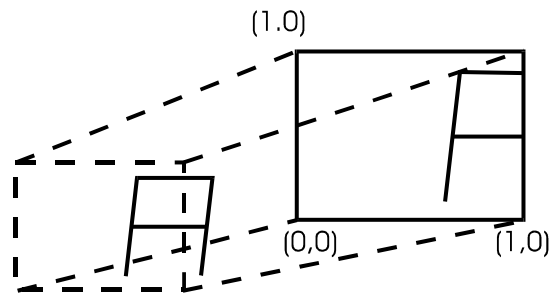
*Wraparound*: envolve a vizinhança

*Clipping*: efeito pelo qual há uma porção visível do objeto na janela e porções invisíveis de objeto fora da janela.



A Janela possibilita visão de todo (*No Clipping*).

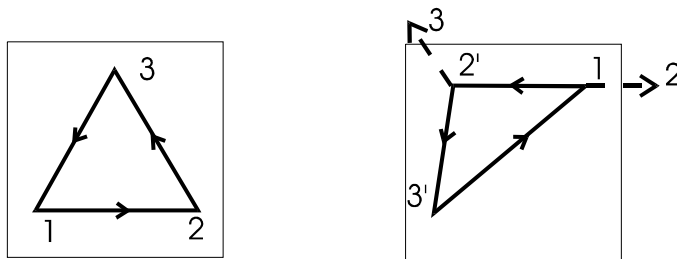
De maneira análoga, a janela possibilita visão do todo e de grande área em branco:



Janela com *Clipping*.

A figura anterior (Janela com *Clipping*) demonstra a aplicação de escalas arbitrárias para mapeamento de um objeto dentro de uma janela.

O uso de escalas diferentes por programadores diferentes pode gerar problemas de um desenho aparecer recortado, ao se mudar o dispositivo de saída. A falta de uso de escalas normalizadas pode gerar tal problema. Observe a figura abaixo.



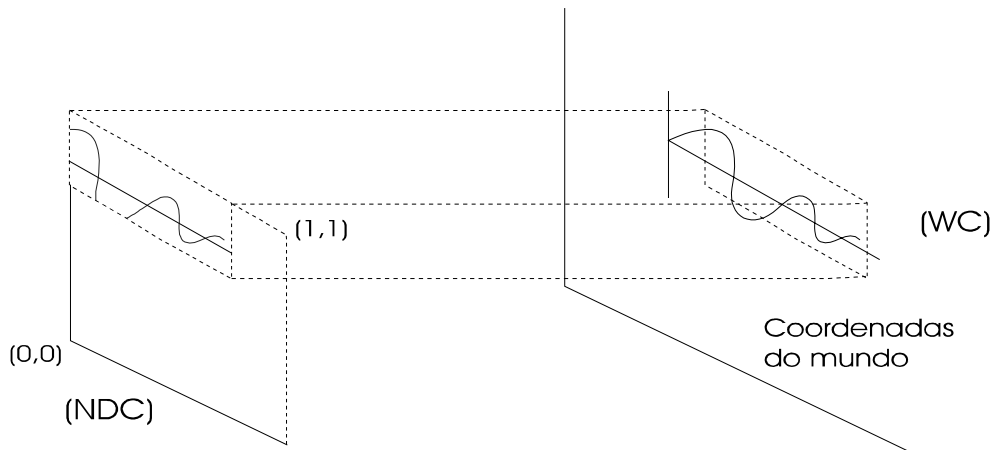
Para resolver o problema da dependência de dispositivo, criou-se um mundo intermediário: o sistema de coordenadas normalizadas (NDC).

## Sistemas de Coordenadas Normalizadas (NDC)

Considerando a grande diversidade de equipamentos existentes com diferentes resoluções gráficas e com um sistema de coordenadas para cada tipo de dispositivo, propõe-se o sistema de coordenadas normalizadas - NDC - (*Normalized Device Coordinates*).

Esse sistema trabalha com as coordenadas normalizadas, isso é com valores entre 0 e 1 onde  $0 \leq x \leq 1$  e  $0 \leq y \leq 1$ , sendo  $x$  e  $y$  as coordenadas horizontais e verticais possíveis. O NDC serve como um sistema de referência intermediário entre o WC e o sistema de coordenadas do dispositivo (DC). Sua principal aplicação é tornar a geração das imagens independente do dispositivo, pois as coordenadas do WC são convertidas para um sistema de coordenadas padrão normalizado.

A porção retangular da tela sobre a qual a janela e todo seu conteúdo são mapeados, é chamada de VIEWPORT.

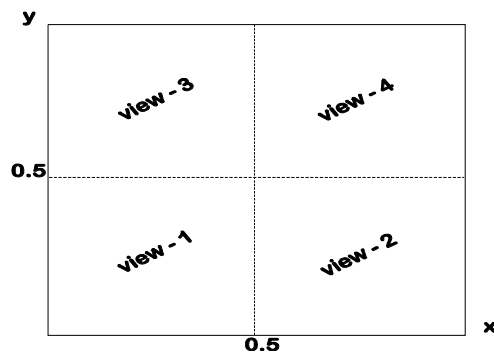


Definição de uma *viewport*:

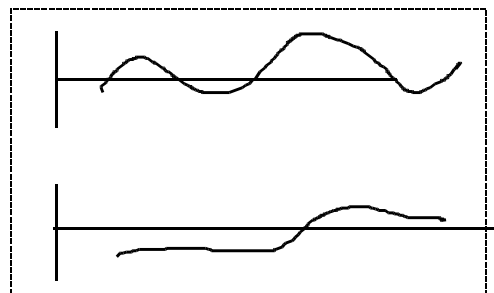
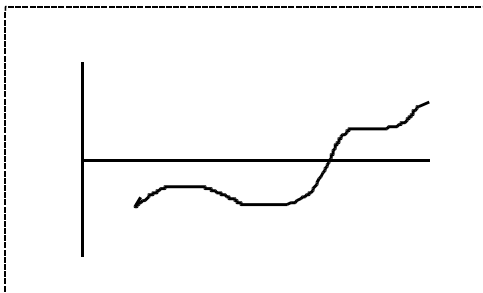
**VIEWPORT(min-x,max-x,min-y,max-y)**

Exemplos de diferentes *viewports*:

VIEWPORT-1	(0.0 , 0.5 , 0.0 , 0.5)
VIEWPORT-2	(0.5 , 1.0 , 0.0 , 0.5)
VIEWPORT-3	(0.0 , 0.5 , 0.5 , 1.0)
VIEWPORT-4	(0.5 , 1.0 , 0.5 , 1.0)



Obs.: Pode ser que o mapeamento para uma *viewport* gere soluções com desfiguração de imagem caso os *aspect ratios* da janela e *viewport* não correspondam. Ou seja, as dimensões dos lados da janela não correspondem às dimensões de lados da *viewport*. O mapeamento dos lados das WC para as NDC produz a imagem com escalas diferentes.

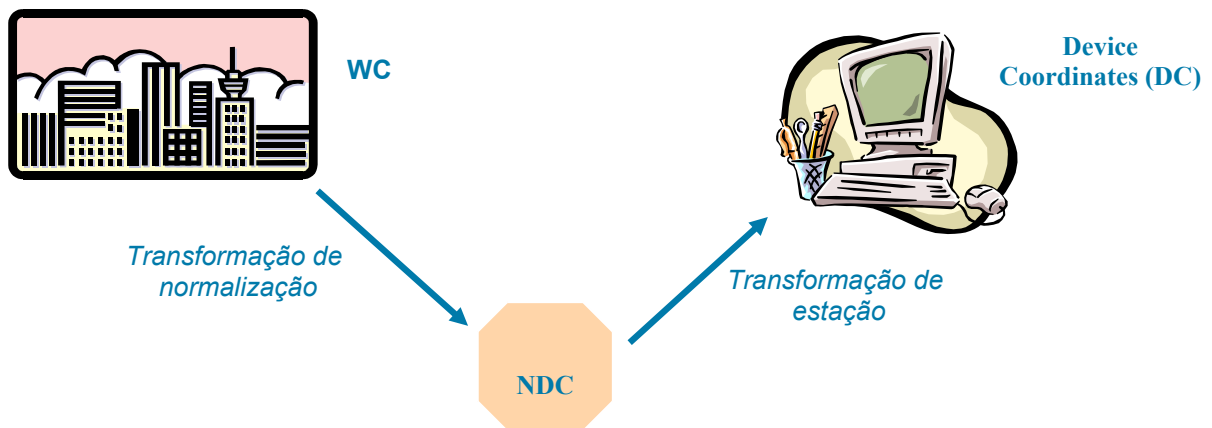


*Janela e viewport com diferentes aspectos aspect-ratio.*

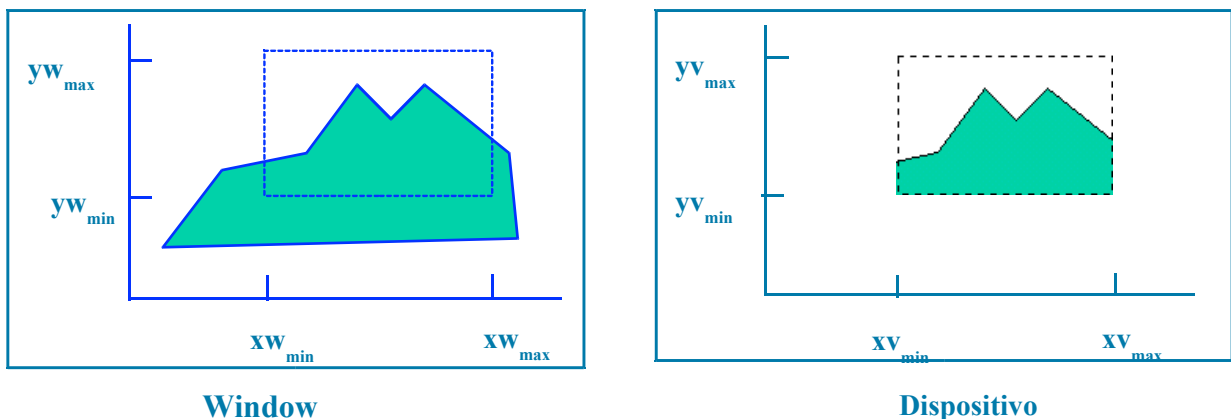
## Sistemas de Coordenadas do Dispositivo (DC)

Utiliza coordenadas que podem ser fornecidas diretamente para um dado dispositivo de saída específico. Por exemplo, em um vídeo esses valores podem ser o número máximo de pixels que podem ser acesos (640x480, 800x600 etc) ou podem indicar a resolução especificada em determinada configuração do sistema operacional, por exemplo 800x600xTrueColor (32bits) para vídeos. Assim, nos hardwares, o sistema de coordenadas depende geralmente da resolução possível e da configuração definida pelo usuário entre um conjunto de configurações possíveis.

## Transformação WC-NDC



O mapeamento das coordenadas do mundo para as NDC, é descrito através de fórmulas que surgem da proporcionalidade, ou seja, de um posicionamento relativo de um ponto na janela(WC) que deve refletir num ponto correspondente na viewport (NDC). Por interpolação, obtém-se:



$$1^{\circ} \text{ passo) } \frac{XW - XW_{\min}}{XW_{\max} - XW_{\min}} = \frac{XN - XN_{\min}}{XN_{\max} - XN_{\min}}$$

$$2^{\circ} \text{ passo) } XN = \left( \frac{XW - XW_{\min}}{XW_{\max} - XW_{\min}} \right) * (XN_{\max} - XN_{\min}) + XN_{\min}$$

$$3^{\circ} \text{ passo) } XN = \frac{(XN_{\max} - XN_{\min})}{XW_{\max} - XW_{\min}} * (XW - XW_{\min}) + XN_{\min}$$

e finalmente;

$$XN = XN_{\min} + \text{fat-vis-x} * (XW - XW_{\min})$$

ou

$$XN = S_x \cdot (XW - XW_{\min}) + XN_{\min}$$

$S_x$  = fator de escala window/viewport

$$\text{fat-vis-x} = \frac{XN_{\max} - XN_{\min}}{XW_{\max} - XW_{\min}}$$

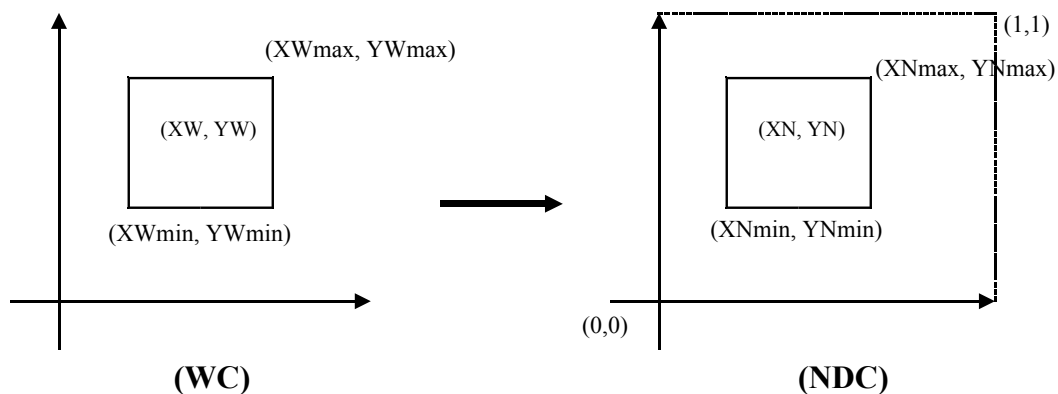
Analogamente:

$$YN = YN_{\min} + \text{fat-vis-y} \cdot (YW - YW_{\min})$$

sendo o fator de visualização do tipo:

$$\text{fat-vis-y} = \frac{YN_{\max} - YN_{\min}}{YW_{\max} - YW_{\min}}$$

Graficamente:



Para realizar a Transformação de Estação, que é do sistema de coordenadas NDC para o DC. Em outras palavras:

map-ndc-dc( $X_n, Y_n, X_d, Y_d$ ):-  
 $X_{d1}$  is  $X_n * NPX$ ,  
 $Y_{d1}$  is  $Y_n * NPV$ ,  
 $\text{round}(X_{d1}, 0, X_{d2})$ ,

round(Yd1,0,YD2),  
Xd is integer(XD2),  
Yd is NPV - integer(YD2).

onde: round( X, N, Xz) => arredonda X com N casas decimais, devolvendo o resultado e Xz.  
É importante destacar que:

$$NPX = ndh - 1; \quad NPV = ndv - 1$$
$$CGA - ndh - 640; \quad ndv = 200 \text{ (baixa resolução)}$$