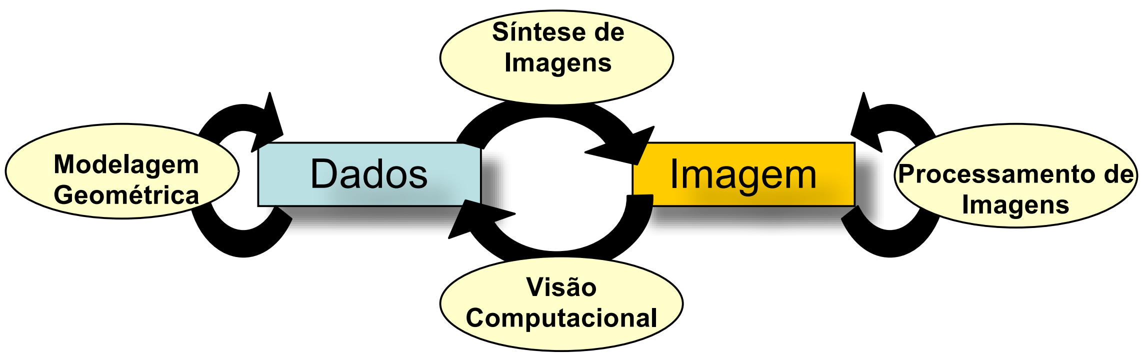
Computação Gráfica Interativa

conceitos, fundamentos geométricos e algoritmos

1. Introdução

"Computação Gráfica é a criação, armazenamento e a manipulação de modelos de objetos e suas imagens pelo computador". Associa-se à Modelagem Digital para oferecer formas de se observar os modelos computadorizados, assim como, apoiar a fase de Projeto do Modelo.



As principais áreas da |Computação Gráfica são *Modelagem Geométrica*, *Síntese de Imagens, Processamento de Imagens* e *Visão Computacional*. Este curso aborda noções básicas das áreas de Modelagem e Síntese de Imagens.

Modelagem é a descrição tri-dimensional de um objeto para um Sistema Gráfico de Visualização operando em um computador. Refere-se aos aspectos da Geometria e Forma dos objetos.

Síntese de Imagens é o processo de criação e exibição de imagens ou desenhos com um computador, a partir de modelos geométricos. Este processo de criação da imagem a partir do modelo, conhecido como processo de *Renderização*, leva em conta os atributos como cor, texturase opacidade etc. do objeto, além da iluminação, etc. A síntese de imagens abrange também a etapa de visualização, onde leva-se em conta o ambiente básico, ou seja, os sistemas de janelas que nos permitem observar os resultados da modelagem e da renderização.

2. Revisão da Geometria Plana

- **Pontos**

O que é um Ponto? Intuitivamente, podemos dizer que é uma Posição no Espaço. O Espaço tem infinito número de Pontos. Cada Ponto, possui uma única e exclusiva localização no Espaço.

Qual o tamanho de um Ponto? Um Ponto é dito ser infinitesimal. O que significa dizer - não possui tamanho físico (finito) mensurável.

Figura 1.1 Um ponto, uma posição no espaço.

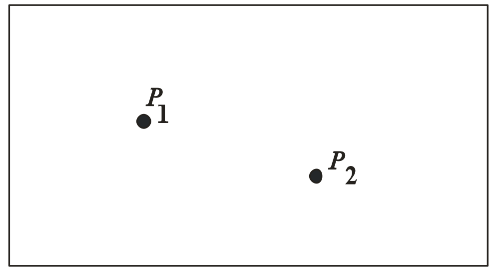


Fig. 1.2 Dois pontos distintos, ocupando osições as.

Dados dois Pontos quaisquer, são eles iguais? Pode-se dizer que dois Pontos são iguais se eles são o mesmo Ponto. Dois Pontos são duas Posições no Espaço. Sendo iguais, ocupam a mesma Posição no Espaço. Quando dois Pontos - P_1 e P_2 - são ditos iguais, na realidade não temos dois Pontos, mas sim, dois nomes distintos para um único Ponto.

- **Vetores**

O que é um Vetor? É uma entidade geométrica definida por uma direção e um deslocamento. Diferente dos pontos, os vetores não estão relacionados com uma posição fixa no espaço. Eles nos dizem a magnitude (tamanho), a direção (declividade) e o sentido do deslocamento (indicado pela seta), mas, não nos dizem onde se iniciam. Podemos definir vetores usando dois pontos: uma origem e uma extremidade. Chamamos também a magnitude de um vetor de módulo.

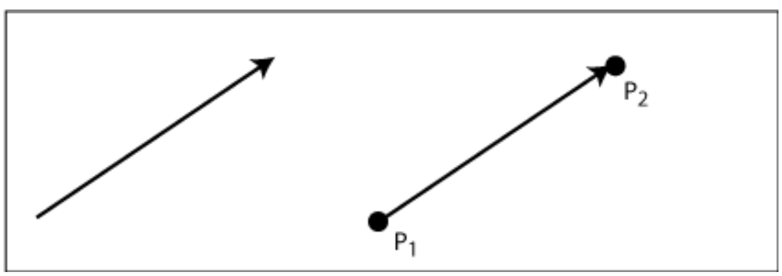


Fig. 1.3 Um vetor (esquerda) e um vetor definido por dois pontos (direita)

Podemos realizar operações com vetores? Duas operações com vetores são bem definidas: soma de vetores e multiplicação de escalar com vetor.

A soma de dois vetores u e v, denotado por u+v, resulta em um novo vetor, cuja origem está na origem do primeiro vetor, e a extremidade é obtida posicionando-se a origem do segundo vetor na extremidade do primeiro, e tomando-se a extremidade resultante do segundo vetor.

A multiplicação de um escalar m e um vetor u, denotada por mu, altera o comprimento (ou magnitude) do vetor. O sentido do vetor resultante depende do sinal do escalar, ou seja, o sentido do vetor será alterado caso o escalar seja negativo. Além disso, o vetor será “encolhido” caso a magnitude do escalar seja menor que 1, e “esticado” caso a magnitude seja maior que 1.

Dois casos particulares de vetores são:

- vetor nulo: vetor cuja magnitude é zero. Pode ser obtido como resultado da multiplicação do escalar zero com qualquer vetor.

- vetor oposto: todo vetor u não nulo tem um vetor oposto, denotado por -u, resultante da multiplicação do escalar -1 com o vetor u. Este vetor tem mesma direção e magnitude do vetor original, mas tem sentido contrário. Note que a soma de um vetor u com seu vetor oposto resulta no vetor nulo.

Fig. 1.4 Um vetor (esquerda) e um vetor definido por dois pontos (direita)

Podemos realizar operações envolvendo pontos e vetores? Existem duas operações envolvendo pontos e vetores fundamentais:

- adição ponto-vetor: dado um ponto P qualquer, representando uma posição no espaço, podemos usar um vetor u para nos "mover" do ponto P para outro ponto Q = P + u, respeitando a direção, sentido e magnitude de u.

- Subtração ponto-ponto: podemos definir um vetor u como o resultado da subtração de dois pontos: sua extremidade Q e sua origem P, ou seja: u = Q – P.

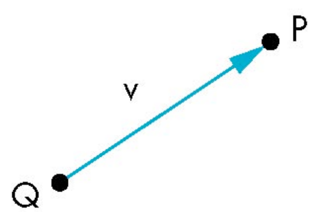


Fig. 1.5 Adição ponto-vetor: P = Q + v. Subtração ponto-ponto: v = P - Q

- **Espaços**

Matematicamente, pontos e vetores estão no mesmo espaço? Não. Esses objetos possuem propriedades matemáticas distintas, e por isso seus espaços são considerados distintos matematicamente. Vamos destacar três espaços:

- Espaço vetorial: é um espaço composto por vetores, onde duas entidades são consideradas: vetores e escalares. Neste espaço duas operações são bem definidas: a soma de vetores e a multiplicação de escalar com vetor.

- Espaço euclidiano: é um espaço que estende o espaço vetorial, adicionando uma medida de comprimento ou distância, que permite definir coisas como comprimento de vetores e segmentos de reta.

- Espaço afim: é um espaço que estende o espaço vetorial, adicionando uma nova entidade: o ponto. Neste espaço, são consideradas, além das operações dos espaços vetoriais, a adição ponto-vetor e a subtração ponto-ponto.

- **Linhas**

O que é uma Linha? Para responder a esta questão podemos usar a noção intuitiva de Direção. Dois Pontos distintos definem uma Direção no Espaço e dois sentidos possíveis de percurso - adiante e para trás. Consideremos um terceiro Ponto, diferente dos dois primeiros. Este terceiro e o nosso primeiro Ponto caracterizam também uma Direção. Se a Direção 1-2 for a mesma de 1-3 podemos dizer que estes três Pontos estão numa mesma Linha reta.

Falando em termos de vetores, três pontos estão numa mesma linha reta se os vetores definidos pelos pontos P_1P_2 e P_1P_3 forem colineares, ou seja, tenham a mesma direção.

Assim, uma Linha definida por dois Pontos é a coleção desses dois Pontos e de todos outros pontos que satisfaçam ao teste da Direção. Ou ainda, uma Linha é o conjunto de todos os Pontos coincidentes em sua Direção.

Nota: consideramos equivalentes os termos Linha e Reta e os usaremos indistintamente em nossas exposições.

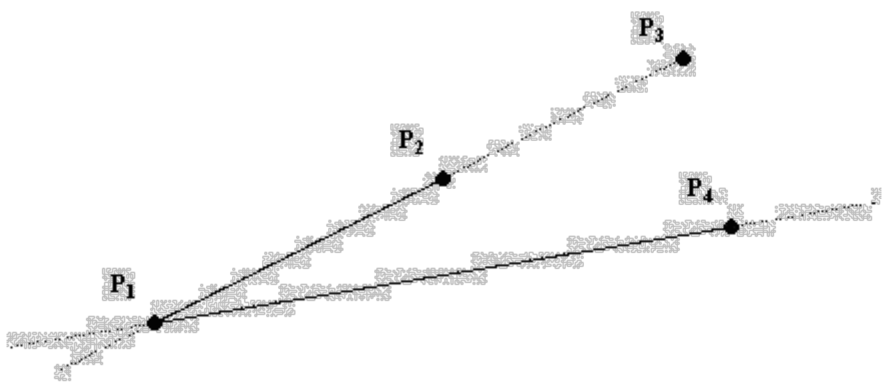


Fig. 1.6 Uma linha, uma única direção: $P_1 – P_2 – P_3$.

Como podemos especificar (ou individualizar) um Ponto? Vamos primeiro considerar esta questão num caso mais particular. Como especificar um Ponto numa Linha ?

Tomemos dois Pontos (0) e (1) que, como já sabemos, caracterizam uma Linha. Como chamaríamos ao Ponto situado a meio caminho entre (0) e (1)? Como está a meio caminho, poderia ser (½) ou (0.5). O Ponto situado ao lado do Ponto (0) e em sentido oposto ao do Ponto (1), poderia ser chamado Ponto (-1). O Ponto situado a uma distância do Ponto (0) igual ao dobro da distância entre o Ponto (0) e o Ponto (1), poderia ser o Ponto (2).

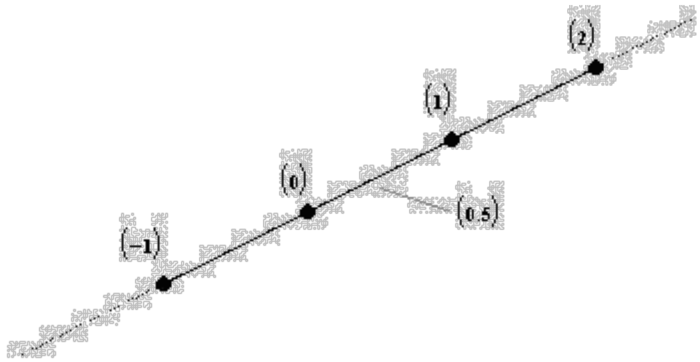


Fig. 1.7 Identificando os pontos de uma linha.

Ou seja, podemos utilizar a distância ao Ponto (0) para dar nomes aos outros Pontos de uma Linha. Este é o princípio da Fita Métrica. Ela especifica uma determinada Posição (n) como uma Distância tomada ao longo de uma Linha e a partir de um Ponto particular (0), desde que conheçamos as Posições (0) e (1) dessa Linha.

- **Planos e Coordenadas**

O que é um Plano? Linhas são objetos uni-dimensionais, têm somente Comprimento. Um Plano é um objeto bi-dimensional, possui Comprimento e Largura. Podemos conceber um Plano como sendo uma fina folha de papel que se estende infinitamente na sua Largura e Comprimento.

Coordenadas Cartesianas

Como especificar um Ponto em um Plano? Como vimos, para uma Linha que é um objeto uni-dimensional, basta um único número para especificar um Ponto sobre ela. Mas, a superfície de um Monitor de Vídeo ou uma Folha de Papel são objetos bi-dimensionais. Possuem Comprimento e Largura. Como especificar um Ponto ? Uma solução é utilizar duas Linhas diferentes que se interceptam nessa superfície bi-dimensional. Por convenção, as Linhas são escolhidas de forma a serem perpendicular entre si (sendo uma Horizontal e outra Vertical). A Linha Horizontal é chamada Eixo-X e a Linha Vertical é chamada Eixo-Y.

Como no caso uni-dimensional, usamos essas Linhas para medir Distâncias. O Eixo-X mede a distância Horizontal (à direita ou à esquerda) e o Eixo-Y mede a distância Vertical (acima ou abaixo). O ponto onde as Linhas se cruzam é o Ponto (0) que também é chamado Origem. Dessa forma, podemos especificar qualquer Ponto em um Plano bi-dimensional, usando dois números.

O primeiro número, chamado Coordenada-x, mede a distância de um Ponto à Origem (0) tomada sobre a Direção do Eixo-X. O segundo número, chamado Coordenada-y, mede a distância de um Ponto à Origem (0) tomada sobre a Direção do Eixo-Y. As Coordenadas são escritas como um par ordenado X,Y e representadas entre parênteses (X,Y).

Chamamos "Sistema de Coordenadas Cartesianas" à Grade Retangular necessária para especificar os Pontos em um Plano. Em cada eixo e relativo à Origem, definimos um lado para ser Positivo e o outro lado para ser Negativo. Na fig. 1.6, escolhemos o Eixo-X e Y positivos como sendo as Linhas OX e OY respectivamente. Usualmente, essa escolha é feita de tal forma que, rotacionando no sentido de OX para OY obtemos um movimento Anti-horário.

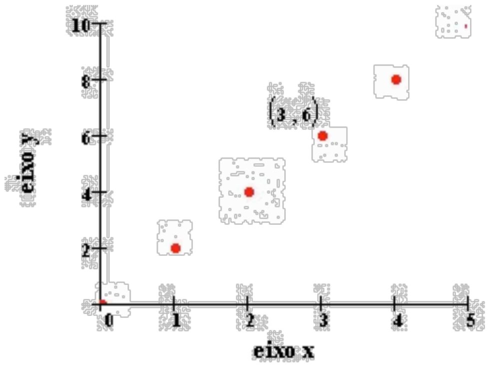


Fig. 1.8 Sistema de Coordenadas Cartesianas

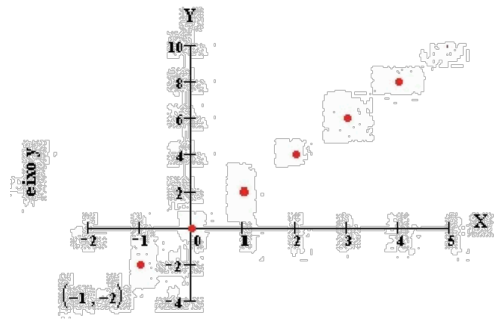


Fig. 1.9 Eixos positivos e negativos no Sistema de Coordenadas Cartesianas

As Coordenadas de qualquer Ponto (P) no Plano são definidas pelo traçado de linhas que passando por (P) são paralelas a OX e OY e interceptam esses eixos em Y e X respectivamente. As Coordenadas (x, y) do Ponto (P) são as Distâncias OX e OY. No caso de caírem no lado negativo dos eixos, são representadas com o sinal de menos (-x, -y).

Coordenadas Polares

Existem outros Sistemas de Coordenadas para usos mais específicos, tal como, o Sistema de Coordenadas Polares. É conveniente quando desejamos descrever formas que possuem algum grau de simetria rotacional. As Coordenadas de um Ponto (r,θ) são definidas pelo Raio (r) e o Ângulo (θ) - conforme fig. 1.7.

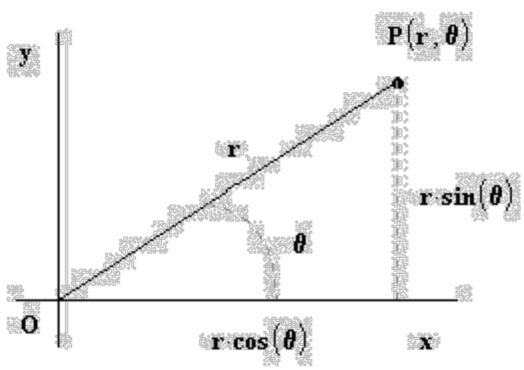


Fig. 1.10 Sistema de Coordenadas Polares.

São relacionadas com as Coordenada Cartesianas pelas seguintes equações:

$$x = r\ \mathbf{cos}(\theta) \qquad e \qquad y = r\ \mathbf{sen}(\theta)$$

- **Vetores em coordenadas cartesianas**

Podemos representar vetores no plano usando coordenadas cartesianas? Sim. Basta considerarmos que qualquer vetor é definido pela subtração de 2 pontos P(x1,y1) e Q(x2,y2). Assim, se v = Q – P, então v = (x2-x1 , y2-y1). Se convencionarmos que a origem dos vetores será sempre a origem O do sistema de coordenadas, então um vetor v = Q – O será representado por v = (x2 , y2).

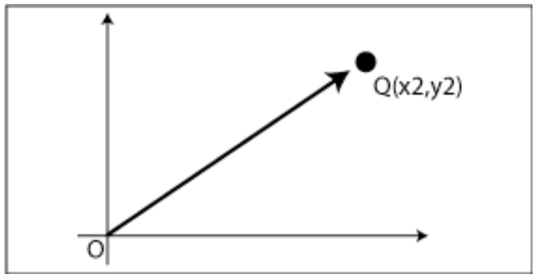


Fig. 1.11 Vetor definido pelo ponto Q, com origem em O.

Podemos representar as operação com vetores e pontos no plano usando coordenadas cartesianas? Sim. Definimos as operações com vetores da seguinte maneira:

- Adição de vetores: Se u=(x1,y1) e v=(x2,y2) são vetores, então u+v = (x1+x2,y1+y2).
- Multiplicação de escalar com vetor: Se m é escalar, então mu = (mx1, my1).

As operações envolvendo pontos e vetores são análogas.

Podemos calcular o módulo de um vetor usando suas coordenadas cartesianas? Sim. Para isso precisamos definir o produto escalar de dois vetores.

Sejam u=(x1,y1) e v=(x2,y2) vetores. Definimos o produto escalar <u,v> da seguinte maneira:

$$<u,v> = x1x2 + y1y2.$$

Usando produtos escalares, é fácil mostrar que o comprimento, ou módulo, de um vetor u, denotado como |u|, é dado por

$$|u| = \sqrt{< u, u >}$$

Podemos usar o produto escalar para calcular o ângulo entre dois vetores u e v, usando a formula abaixo:

$$\cos\theta = \frac{< u, v >}{|u| \cdot |v|}$$

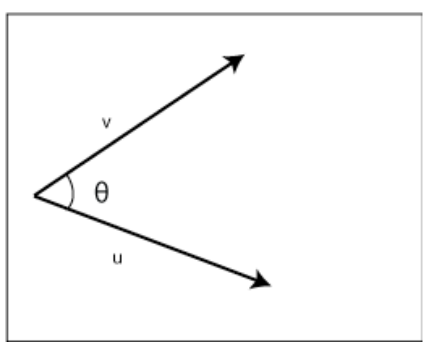


Fig. 1.12 Ângulo entre os vetores u e v.

- **A Linha que passa por dois Pontos**

Podemos especificar uma Linha em termos de Coordenadas? Sim, para isso, vamos considerar um Ponto (x, y). Podemos pensar numa equação em X e Y descrevendo uma Linha, tal que, será verdadeira se e somente se (x, y) é um Ponto pertencente a essa Linha.

Primeiro, vamos especificar essa Linha. Lembramos que isto requer dois Pontos distintos. Vamos chamá-los P_1 (x_1, y_1) e P_2 (x_2, y_2). Veja Fig. 1.8.

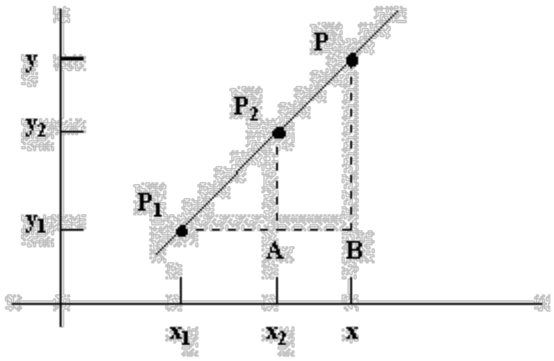


Fig. 1.12 Especificando uma linha.

Consideremos o terceiro Ponto P (x, y) que pertence à nossa Linha. Podemos construir dois triângulos que ajudarão em nossas deduções. Estendemos uma linha horizontal passando por P_1 e podemos observar que todos os Pontos nela terão a mesma Altura (na Vertical), acima da Origem. A essa Altura denominamos y_1 , por correspondência a P_1.

Agora, deixemos cair uma linha vertical a partir de P_2, onde, todos os Pontos terão a mesma coordenada X, que é x_2, por correspondência a P_2. Essas duas linhas se interceptam no Ponto A (x_2, y_1).

Outra linha vertical a partir de P intercepta a horizontal no Ponto B (x, y_1).

Observamos que essas linhas formam os triângulos semelhantes P_1P_2A e P_1PB e pela análise de suas proporções deduzimos as seguinte relações:

as Alturas

$$P_2A = y_2 - y_1 \quad e \quad PB = y - y_1$$

as Larguras

$$P_1A = x_2 - x_1 \quad e \quad P_1B = x - x_1$$

portanto

$$\frac{y_2 - y_1}{y - y_1} = \frac{x_2 - x_1}{x - x_1}$$

e assim,

$$(x - x_1)(y_2 - y_1) = (y - y_1)(x_2 - x_1) \qquad \text{(Eq. 1)}$$

que é uma equação da Linha passando pelos Pontos P_1 e P_2. Com um pouco mais de álgebra, resolvendo para Y, temos:

$$y = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (x - x_1) + y_1$$

ou ainda

$$y = m\,x + b \qquad \text{(Eq. 2)}$$

onde

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

e

$$b = y1 - m\,x_1$$

A forma descrita pela (Eq. 2) é chamada de Forma Explícita da Equação da Linha Reta, ou, Forma da Declividade-Interseção. Uma equação na forma explícita tem a notação y = f(x). Ela nos permite computar Y, diretamente, para qualquer valor de X. No entanto, tem a desvantagem de não permitir solução para representar Linhas Verticais. Por exemplo: a Reta x = 1, onde $x_2 = x_1 = 1$, resulta em divisão por zero no cálculo da declividade (m).

Já a forma descrita pela (Eq. 1) é chamada Forma Implícita, pois Y somente pode ser computado para um dado valor de X resolvendo-se a Equação Linear. Geralmente uma equação Implícita é escrita na forma f(x,y) = 0. Esta forma permite a solução para Linhas Verticais, ou seja, se $x_2 = x_1 = 1$ e y_2 # y_1, obtemos a equação da reta x = 1.

- **O Ponto de Interseção entre duas Linhas**

Podemos determinar onde duas Linhas se interceptam? Sim, para que duas Linhas se interceptem imaginamos que elas possuam um Ponto em comum, ou seja, pertencente a ambas. Portanto, tal Ponto irá satisfazer às equações das duas Linhas. Nosso problema se resume em encontrar esse Ponto. Suponhamos as equações na forma explícita:

$$\text{linha 1:} \quad y = m_1 x + b_1$$

$$\text{linha 2:} \quad y = m_2 x + b_2$$

Se existe um Ponto (x_i, y_i) comum às duas Linhas, então

$$y_i = m_1 x_i + b_1 \quad \text{e} \quad y_i = m_2 x_i + b_2$$

são verdadeiras.

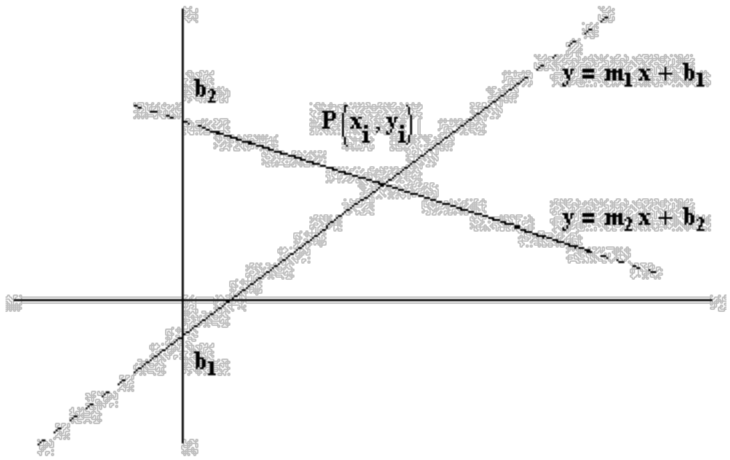


Fig. 1.9 Interseção entre duas Linhas.

Equacionando para (y_i) vem

$$m_1x_i + b_1 = m_2x_i + b_2$$

Resolvendo para (x_i) vem

$$x_i = \frac{b_2 - b_1}{m_1 - m_2}$$

Substituindo na equação para Linha 1 ou 2 vem

$$y_i = \frac{b_2 \cdot m_1 - b_1 \cdot m_2}{m_1 - m_2}$$

Assim o Ponto

$$(x_i, y_i) = \left(\frac{b_2 - b_1}{m_1 - m_2}, \frac{b_2 \cdot m_1 - b_1 \cdot m_2}{m_1 - m_2}\right)$$

é o Ponto onde se Interceptam as duas linhas.

Devemos notar que, Linhas Paralelas não se Interceptam e possuem a mesma declividade ($m_1 = m_2$). Novamente, caímos na Divisão por zero. Este é um problema para o qual devemos estar sempre atentos, quando desenvolvemos soluções na Computação Gráfica. Normalmente as Soluções devem ser acompanhadas das suas Restrições e assim, ser devidamente tratadas nos algoritmos implementados.

- **Segmentos de Linha**

O que são Segmentos de Linha? Nossas equações para Linhas abrangem todos os Pontos em uma dada Direção. As Linhas estendem-se indefinidamente nos dois sentidos - adiante e para trás. Isto não é exatamente o que necessitamos na nossa Computação Gráfica. Queremos apresentar somente pedaços de Linhas.

Assim, vamos considerar somente os Pontos que pertencem a uma dada Linha mas estão contidos entre os dois Pontos extremos - P_1 e P_2. A isto, chamamos Segmento de Linha. (Veja a Fig. 1.10.)

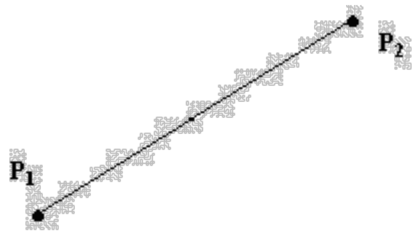


Fig. 1.10 Um segmento de linha.

Um Segmento de Linha pode ser especificado pelos seus dois Pontos extremos. A partir desses Pontos extremos, podemos determinar a equação da Linha. A partir dos Pontos extremos e da equação da Linha, podemos decidir se um Ponto qualquer pertence ou não ao Segmento de Linha.

Dados os Pontos extremos P_1 (x_1, y_1) e P_2 (x_2, y_2) e considerando que satisfazem à equação $y = mx + b$, então um terceiro Ponto P_3 (x_3, y_3) pertence ao segmento P_1P_2 se:

$$\mathbf{y_3 = mx_3 + b}$$

$$\mathbf{\min(x_1, x_2) <= x_3 <= \max(x_1, x_2)}$$

$$\mathbf{\min(y_1, y_2) <= y_3 <= \max(y_1, y_2)}$$

A notação $\min(x_1, x_2)$ significa "o menor entre x_1 e x_2" e a notação $\max(x_1, x_2)$ significa "o maior entre x_1 e x_2".

- **O Tamanho de um Segmento de Linha**

Qual o tamanho de um Segmento de Linha? Se conhecemos os dois Pontos extremos de um Segmento de Linha, P_1 e P_2, podemos determinar a Distância entre eles. Construímos o triângulo retângulo P_1P_2A conforme a Fig. 1.11. Pelo teorema de Pitágoras, a Distância L será

$$\mathbf{L^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

assim,

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

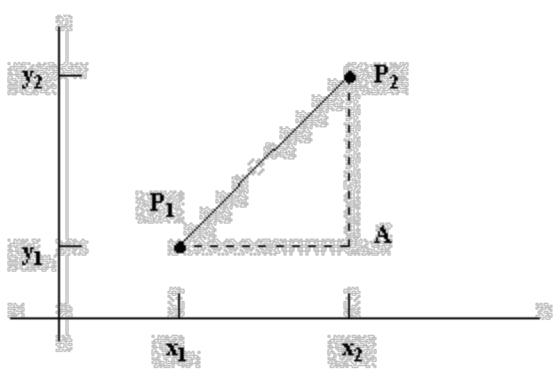


Fig. 1.11 Tamanho de um Segmento.

- ## O Ponto Médio de um Segmento de Linha

Qual o Ponto médio de um Segmento de Linha? É o Ponto pertencente ao Segmento dado e situado à meia distância de seus extremos. Assim,

$$x_m = \frac{(x_1 + x_2)}{2} \quad e \quad y_m = \frac{(y_1 + y_2)}{2}$$

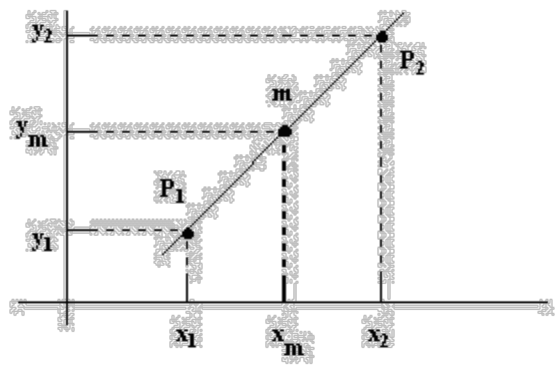


Fig. 1.12 Ponto Médio.

- ## Linhas Perpendiculares

Podemos dizer se duas linhas são Perpendiculares ? Podemos fazer esta avaliação através do exame de suas Declividades.

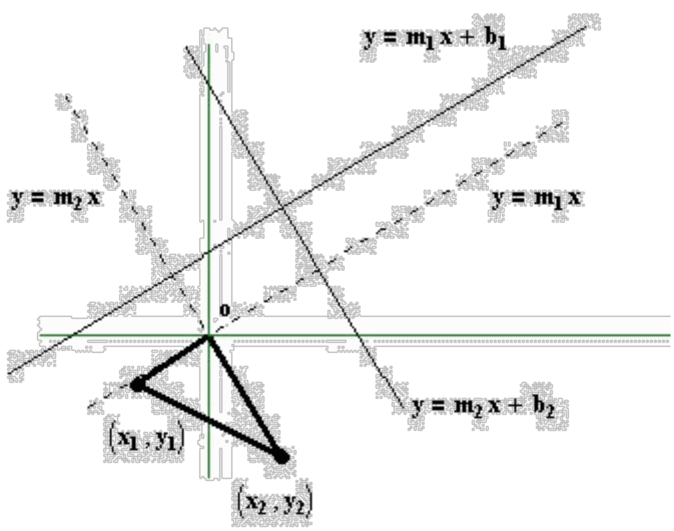


Fig. 1.13 Condição de perpendicularidade.

Tomemos duas Linhas,

$$y = m_1x + b \quad e \quad y = m_2x + b_2$$

Vamos usar o artifício de deslocar as linhas em análise para uma posição mais confortável, que é a Origem do Sistema de Coordenadas. Tomaremos o cuidado de não alterar suas propriedades Geométricas relacionadas com a condição de perpendicularidade.

Assim, se a primeira linha é perpendicular à segunda, então uma outra linha paralela à primeira, também será perpendicular à segunda. Devemos lembrar que linhas paralelas possuem a mesma declividade.

Dessa forma, a linha $y = m_1x$ (que passa pela origem) deve ser, também, perpendicular a $y = m_2x + b_2$. Da mesma forma, a linha $y = m_2x$ deve ser perpendicular a $y = m_1x$.

Tomamos agora, os Pontos (x_1, y_1) e (x_2, y_2) pertencentes às linhas

$$\mathbf{y = m_1x \ \text{ e } \ y = m_2x}$$

respectivamente.

Os Pontos (x_1, y_1) e (x_2, y_2) mais a Origem (0,0) formam um triângulo retângulo, se considerarmos que as linhas são perpendiculares entre si. Assim, podemos utilizar o teorema de Pitágoras em nossa análise.

Segundo a fórmula da distância,

$$(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2$$

corresponde ao quadrado da hipotenusa formada por

$$(x_1, y_1) - (x_2, y_2).$$

Ainda, segundo a fórmula da distância,

$$(x_1 - 0)^2 + (y_1 - 0)^2 \ \text{ e } \ (x_2 - 0)^2 + (y_2 - 0)^2$$

corresponde ao quadrado dos catetos formados por

$$(x_1, y_1) - (0,0) \ \text{ e } \ (x_2, y_2) - (0,0)$$

Fazendo a igualdade conforme Pitágoras, resulta

$$x_1^2 + y_1^2 + x_2^2 + y_2^2 = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2$$

Simplificando vem

$$0 = -2y_1y_2 - 2x_1x_2$$

$$\frac{y_1}{x_1} = -\frac{x_2}{y_2}$$

e como

$$y_1 = m_1x_1 \ \text{ e } \ y_2 = m_2x_2$$

temos

$$m_1 = -\frac{1}{m_2}$$

Conclusão: duas linhas são perpendiculares se a declividade de uma delas for igual ao negativo do recíproco da declividade da outra.

- ### O Contexto Gráfico - Resolução e Pixel

Como aplicar esses conceitos em um Contexto Gráfico no Computador? Para começar, a noção Matemática de infinito número de Pontos infinitesimais não é tecnicamente viável. Não podemos representar um infinito número de Pontos em um computador, da mesma forma que não podemos representar uma infinita quantidade de números. Os recursos físicos são finitos e, dessa forma, somos limitados a representar uma Linha através de um número finito de Pontos.

A medida desse limite ao número de Pontos que uma Linha pode conter é a Resolução do dispositivo de Vídeo. Quanto maior o número de Pontos, maior a Resolução. Todavia, essa limitação não nos deve trazer preocupação, uma vez que o olho humano é pouco sensível a detalhes tão finos.

Desde que vamos construir nossas Linhas com um número finito de Pontos, cada Ponto deve ter algum tamanho, portanto, não é realmente um Ponto. É chamado Pixel (picture element). O Pixel é o menor elemento gráfico (visual ou de desenho) endereçável. É a menor porção da Tela da Unidade de Vídeo que podemos controlar.

Cada Pixel tem um nome ou endereço. Os nomes que identificam os Pixels correspondem às Coordenadas (sistema cartesiano) que identificam os Pontos. Na Linguagem de Programação, isto é similar à maneira como os índices selecionam elementos em uma matriz. As imagens na Computação Gráfica são construídas pelo estabelecimento de Intensidade e Cor aos Pixels que compõe uma Janela de Visualização ou Window.

Podemos pensar numa Janela de Visualização (fig. 1.15) como um Sistema de Coordenadas Cartesianas, uma Grade ou Matriz de Pixels. Atribuímos Coordenadas com valores inteiros a cada Pixel. Iniciando com (0,0) no canto superior esquerdo. A Coordenada (i, j) indica a Coluna e a Linha de um Pixel na Janela de Visualização. No canto inferior direito temos as Coordenadas MaxX e MaxY, indicando os valores máximos para uma dada resolução do dispositivo de vídeo.