



Modelos de Objetos por Malhas Poligonais

Maria Cristina F. de Oliveira

2009



Modelo

- Representação construída artificialmente para tornar mais fácil a observação/análise de um objeto/fenômeno
 - Nível de detalhe definido pelas aplicações que o utilizam
 - Problemas práticos em CG: modelos geométricos



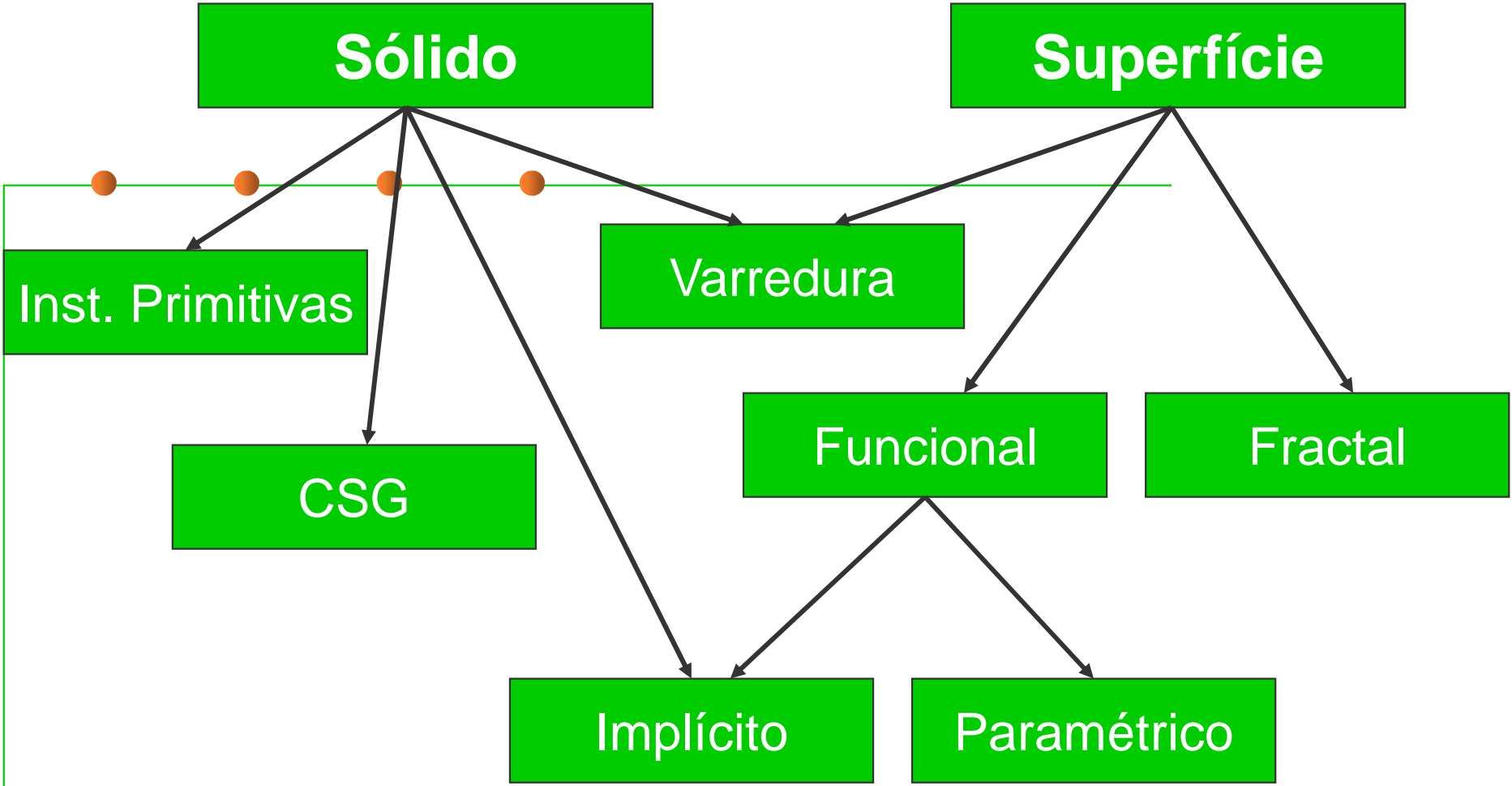
Modelagem Geométrica

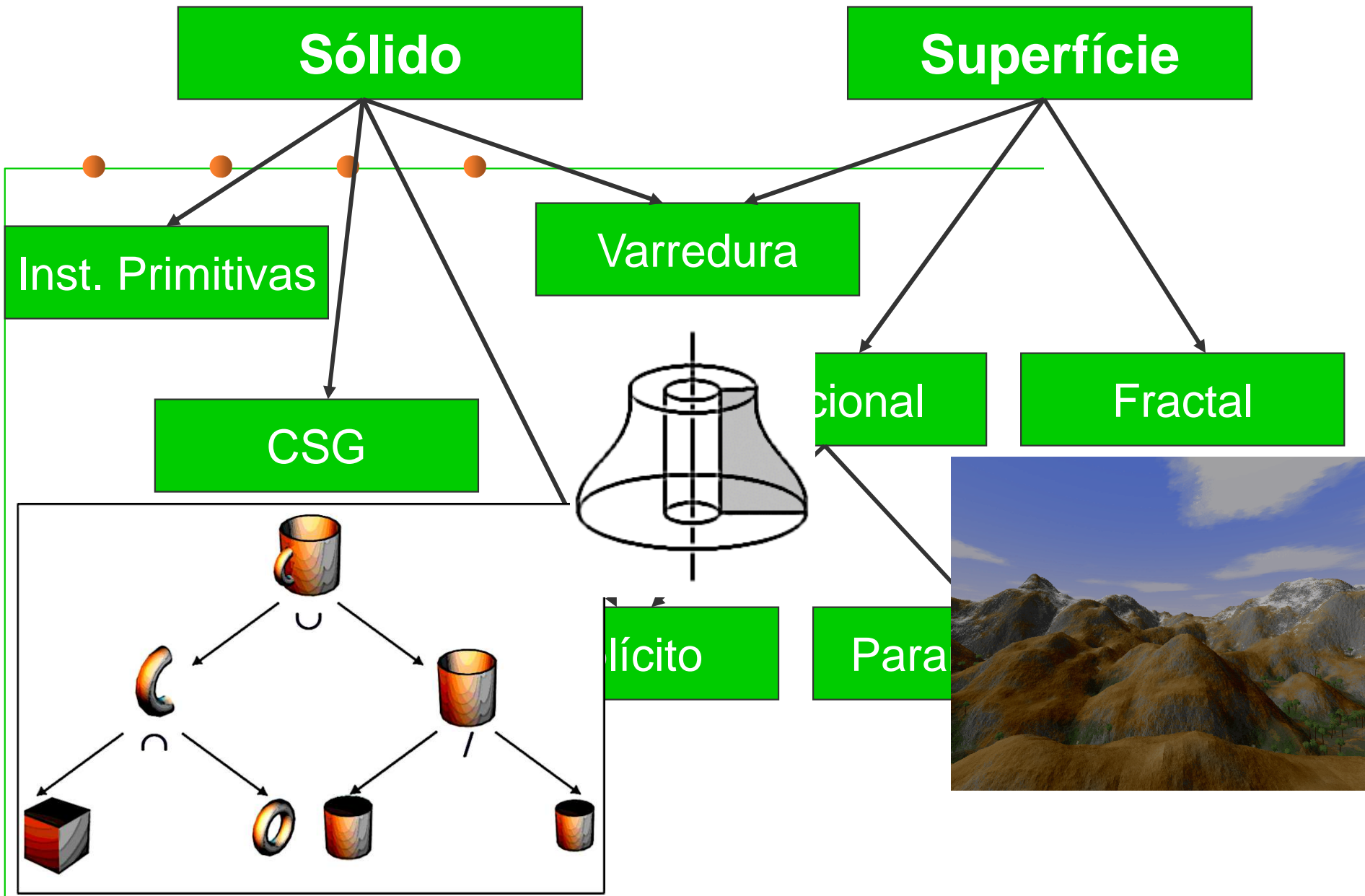
- Início dos anos 70
- Coleção de métodos usados para descrever a forma e outras características geométricas de um objeto, bem como para simular processos dinâmicos
- Sistema de modelagem geométrica: sistema computacional que permite a criação, modificação e acesso à representação de objetos por meio de modelos geométricos

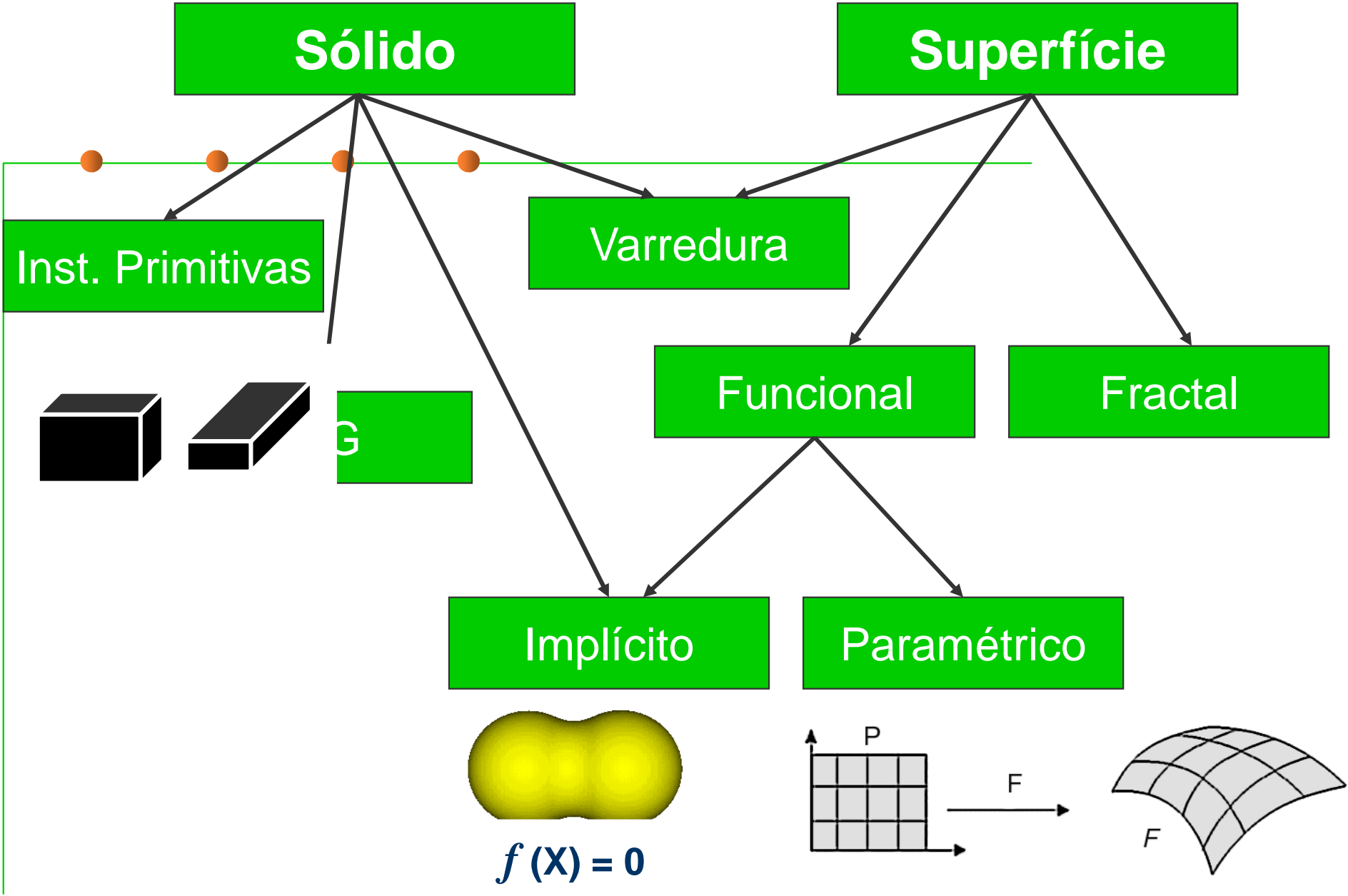


Modelos Geométricos

- Cenas gráficas podem conter muitos tipos diferentes de objetos e materiais
 - Não existe uma maneira única capaz de descrever e representar todos os tipos de objetos
- Descrição vs. Representação
 - Descrição do objeto pelo usuário: processo de modelagem
 - Representação do objeto no sistema gráfico: como manter as informações necessárias para renderizar o objeto (e aplicar simulações, por ex.)









Modelagem de Sólidos

- Ramo da M.G. que estuda técnicas para criar, manter e comunicar informação sobre a forma de objetos sólidos
 - envolve a criação e a manutenção de um modelo para futuro acesso e análise
 - permite formular e responder questões sobre propriedades volumétricas (volume, peso, momento de inércia, ...) e topológicas (conectividade, pertinência, ...)

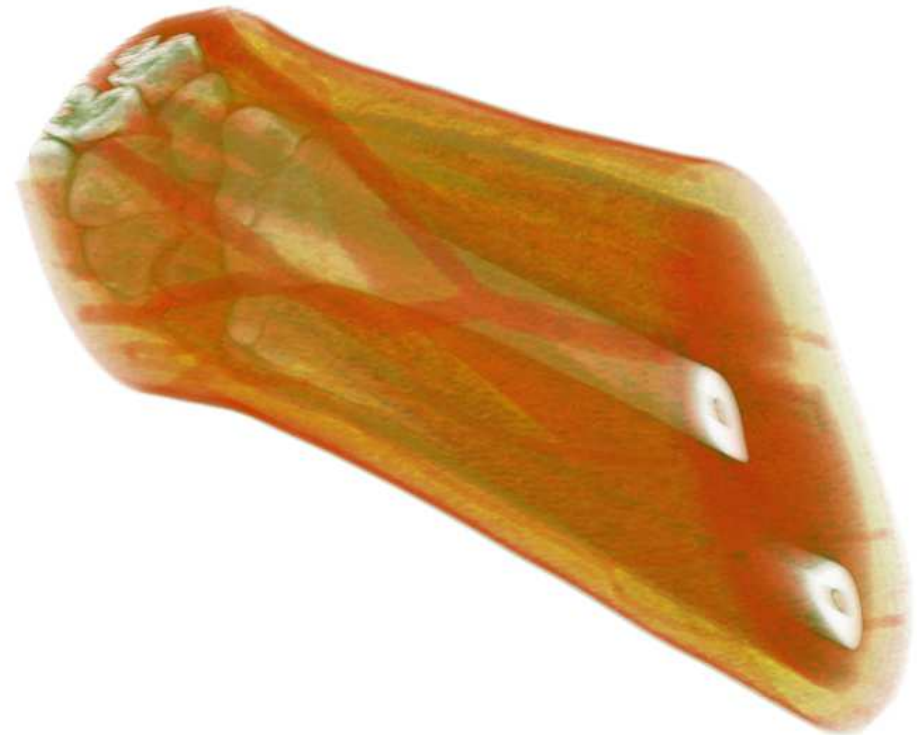
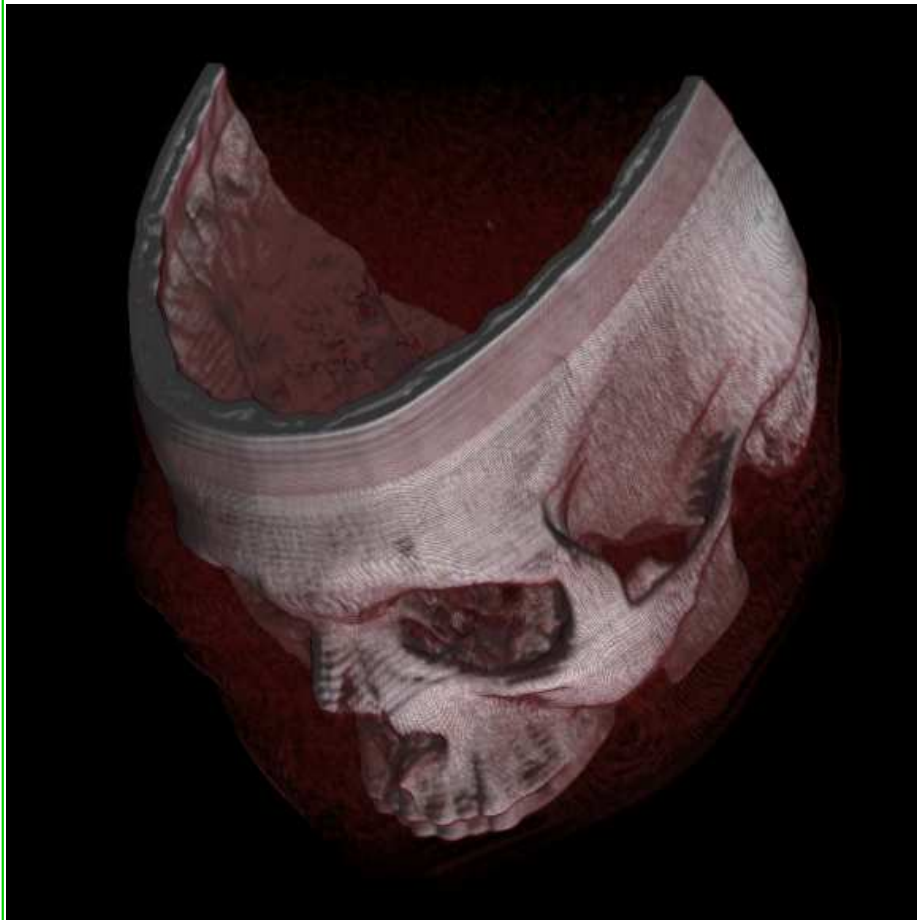


Volume vs. Superfícies

-
-
-
-
- **Objetos tridimensionais**

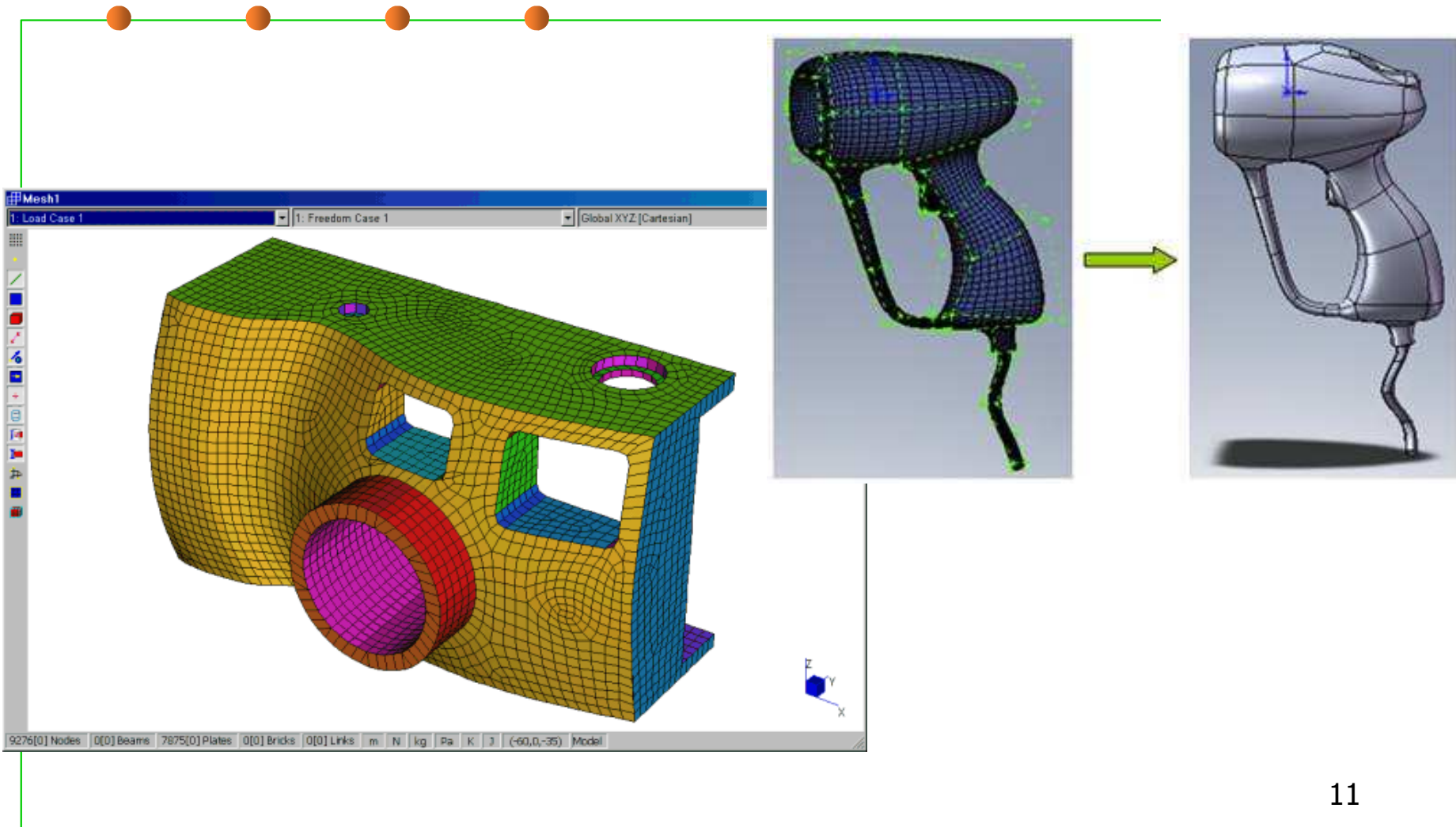
- Representados apenas pela sua fronteira
 - representações por fronteira: objeto 3D descrito como conjunto de **superfícies** que separa seu interior do meio externo (geralmente quadriláteros ou triângulos, alternativamente superfícies paramétricas)
- Representação explícita da superfície e do conteúdo interno
 - Representações por particionamento espacial particionam a região do espaço que contém objeto em conjunto de pequenos sólidos adjacentes não sobrepostos (geralmente cubos ou tetraedros)
 - Modelos volumétricos: <http://www.ablesw.com/3d-doctor/volume.html>

Rendering de modelo volumétrico



http://en.wikipedia.org/wiki/Volume_rendering

Rendering de modelos de superfície






Malhas Poligonais

- Atualmente: enorme diversidade de técnicas e modelos em CG
- Vamos estudar inicialmente uma forma de representação por fronteira muito simples, adotada em muitos sistemas gráficos
 - objetos descritos por malhas poligonais que representam a sua superfície (fronteira)
 - Conjunto de vértices, arestas e faces planares (triângulos)
 - Representação adequada para 'rendering' por placas gráficas: objetos gráficos padrão



Malhas Poligonais

- 
- Malhas poligonais: coleções de polígonos, ou faces, que em conjunto definem a fronteira da superfície de um objeto 3D
 - Forma padrão de representar objetos em CG



Malhas Poligonais



- Poliedros

- Ex. cubo, icosaedro, ...

- representação poligonal é exata

Malhas Poligonais

Exemplos

Fonte:

<http://www.bymath.com/studyguide/geo/geo21.htm>

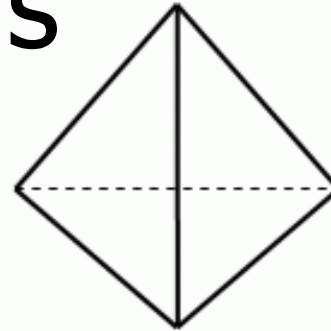


Fig. 99

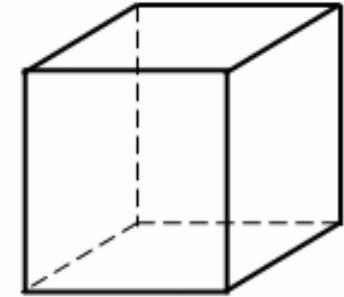


Fig. 100

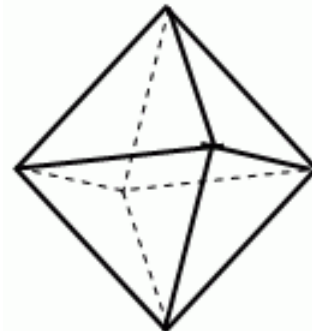


Fig. 101

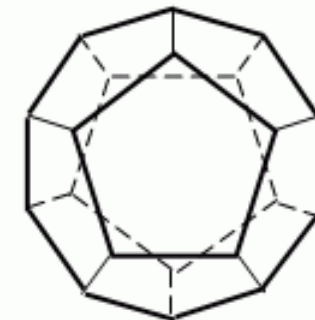


Fig. 102

Poliedros convexos regulares

tetraedro (4 faces, Fig.99)

hexaedro (cubo, 6 faces, Fig.100)

octaedro (8 faces, Fig.101)

dodecaedro (12 faces, Fig.102)

icosaedro (20 faces, Fig.103)

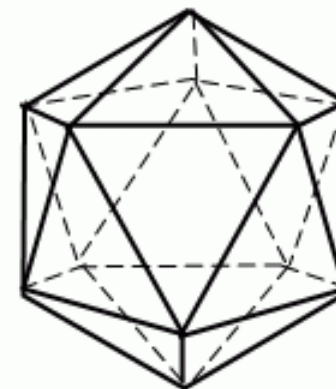


Fig. 103



Malhas Poligonais

- Objetos em geral
 - Fronteira é definida por superfícies curvas
 - Nesse caso, a malha poligonal é uma aproximação para as superfícies
 - Ex. esfera, cone, cilindro
 - Superfícies são decompostas em polígonos de modo produzir uma representação poligonal aproximada

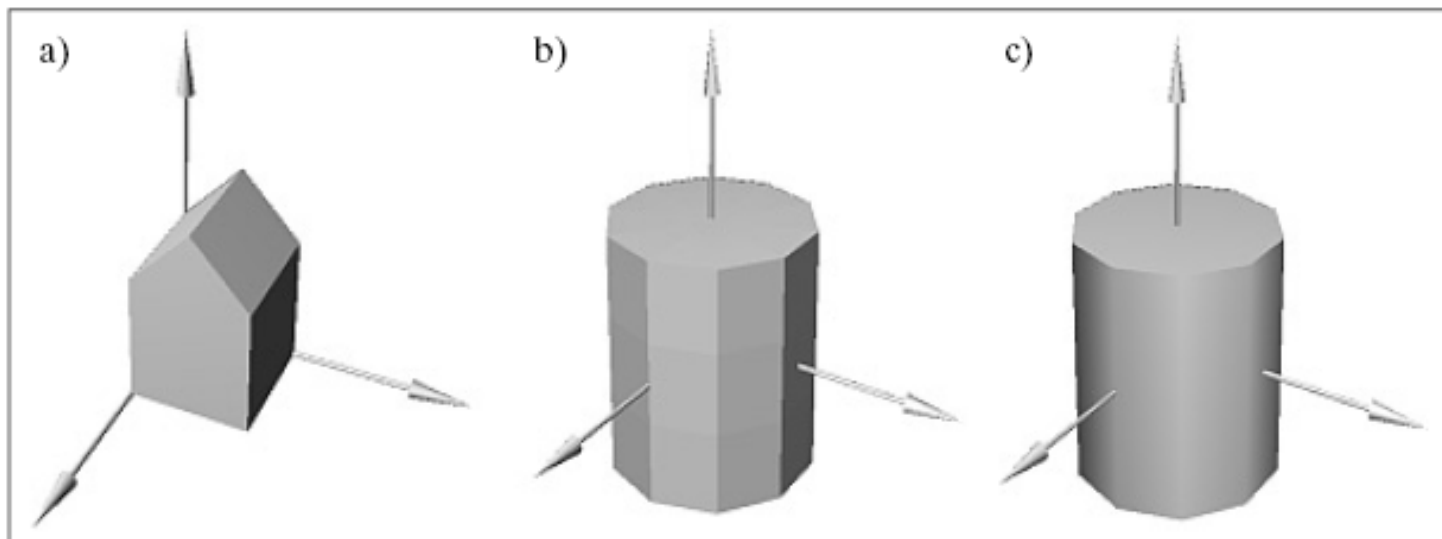


FIGURE 6.1 Various shapes modeled by meshes.

Técnica de *rendering* (*shading*) dá a aparência de suavidade à superfície aproximada.

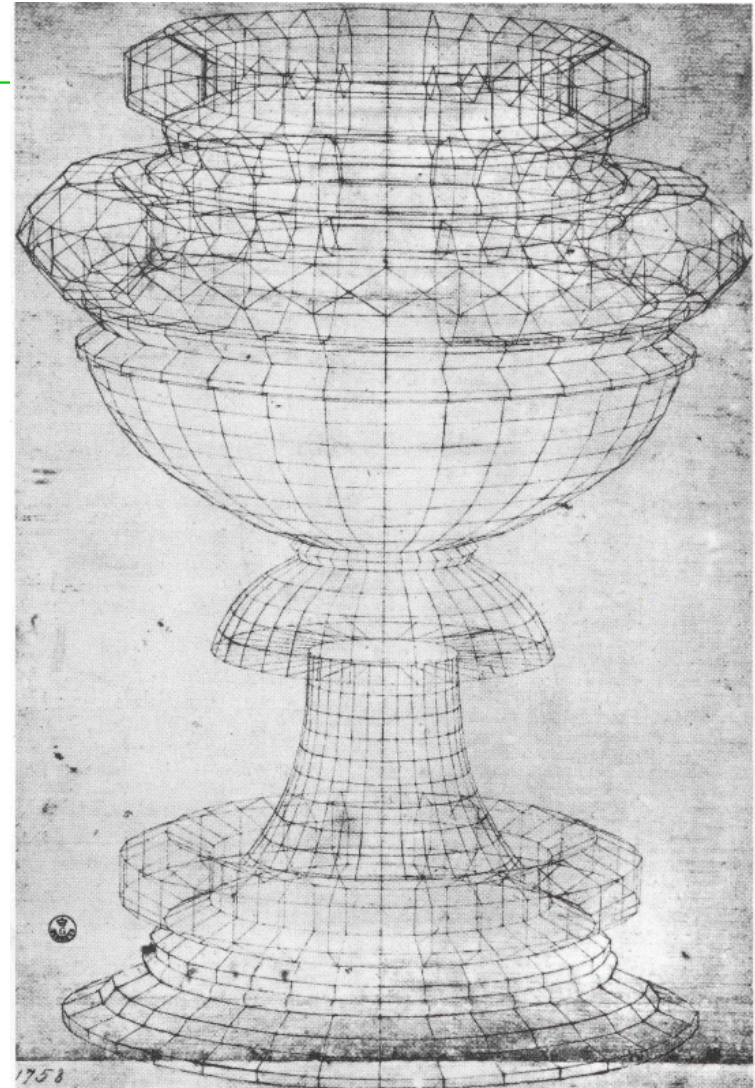
Fonte: Hill, Computer Graphics using OpenGL

Malhas Poligonais – Exemplos




Malhas Poligonais – Exemplos

<http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/modeling/polyMesh/polymesh.htm>





Malhas Poligonais

- 
- Nem toda malha poligonal define um sólido
 - Isso só é verdade se o conjunto de faces determina uma superfície fechada, em relação à qual pode-se definir uma região interior (finita) e uma região exterior.



Estrutura de Dados



■ Problema

- como armazenar a descrição de um objeto em termos das faces que descrevem sua superfície?
- Ou seja, como armazenar uma malha poligonal?

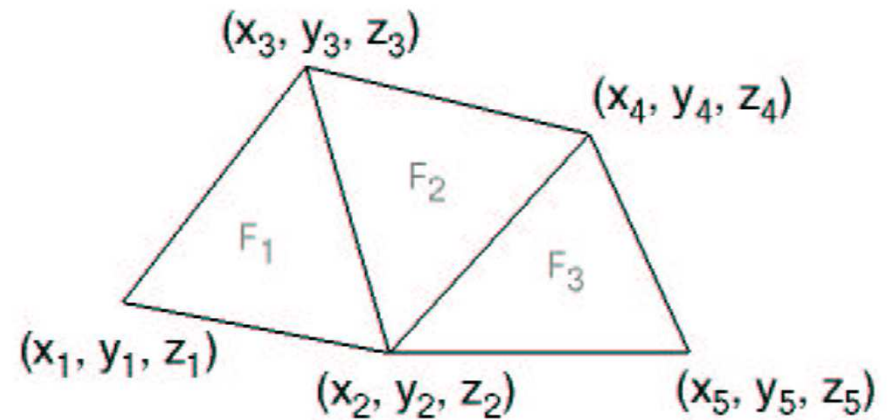
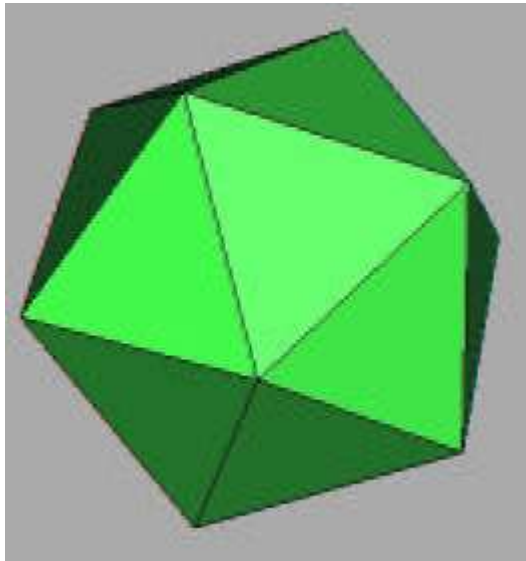
- Diversas soluções possíveis...

■ Sugestões??

Estruturas de Dados

- Solução simples

- Tabela de faces, cada face informa as coordenadas dos seus vértices



FACE TABLE

F ₁	(x ₁ , y ₁ , z ₁)	(x ₂ , y ₂ , z ₂)	(x ₃ , y ₃ , z ₃)
F ₂	(x ₂ , y ₂ , z ₂)	(x ₄ , y ₄ , z ₄)	(x ₃ , y ₃ , z ₃)
F ₃	(x ₂ , y ₂ , z ₂)	(x ₅ , y ₅ , z ₅)	(x ₄ , y ₄ , z ₄)

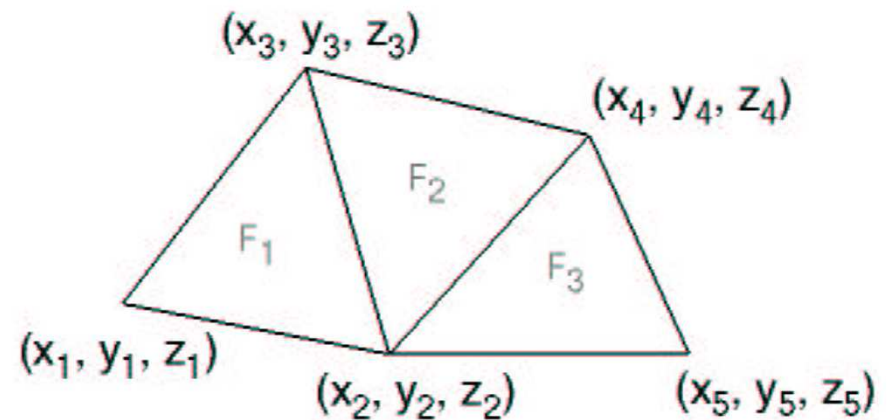
Estruturas de Dados

■ Problemas

- vértices redundantes, ausência de informação topológica

■ Alternativa

- tabelas de faces e de vértices
- cada face lista referências aos seus vértices
- resolve os problemas?



VERTEX TABLE			
V_1	X_1	Y_1	Z_1
V_2	X_2	Y_2	Z_2
V_3	X_3	Y_3	Z_3
V_4	X_4	Y_4	Z_4
V_5	X_5	Y_5	Z_5

FACE TABLE			
F_1	V_1	V_2	V_3
F_2	V_2	V_4	V_3
F_3	V_2	V_5	V_4



Estrutura de Dados

- Tipicamente, tem-se uma lista de polígonos (faces)
- Cada face é descrita em termos dos seus vértices
 - indexa uma lista de vértices
- Para cada face, armazena-se informação sobre a direção externa a ela
 - vetor normal à face poligonal
 - necessário para o *rendering* (*shading*) (estabelece a orientação da superfície em relação às fontes de luz)

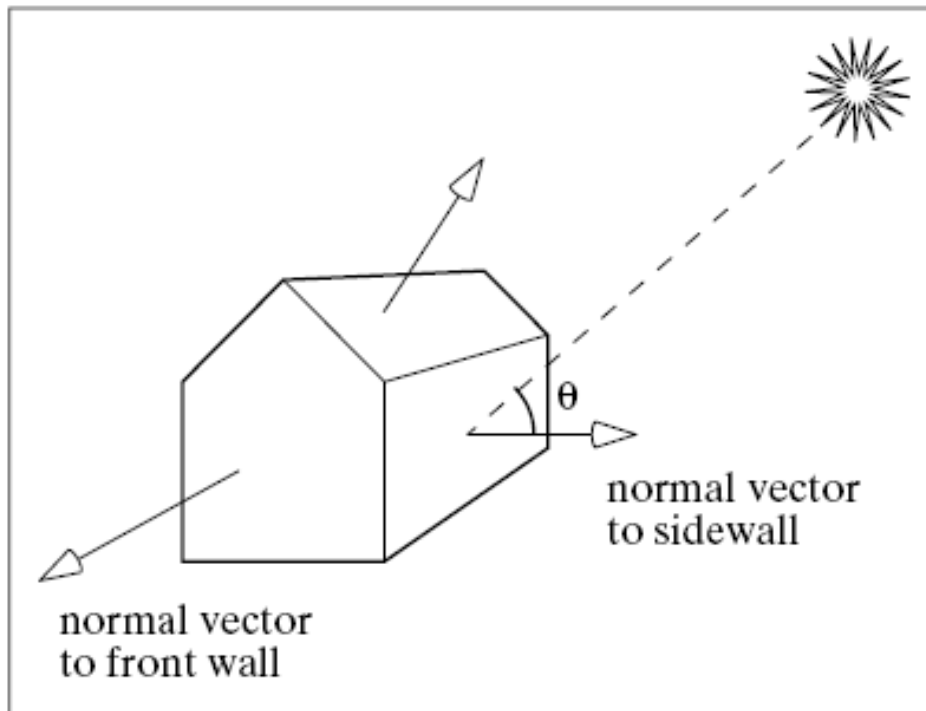


FIGURE 6.2 The normal direction to a face determines its brightness.

Fonte: Hill, Computer Graphics using OpenGL



Normais

- Na prática, é vantajoso associar um vetor normal à cada vértice, ao invés de a cada face
 - Facilita o processo de recorte, bem como o shading de superfícies curvas
 - Normais nos vértices computadas de maneira diferente para superfícies planas ou curvas

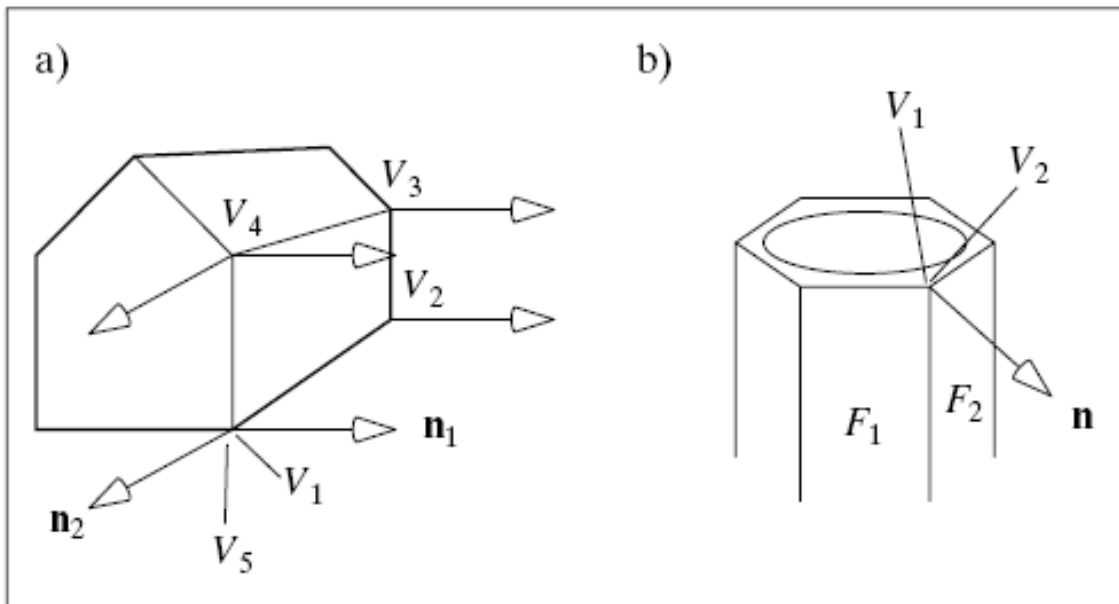


FIGURE 6.3 Associating a “normal” with each vertex of each face.

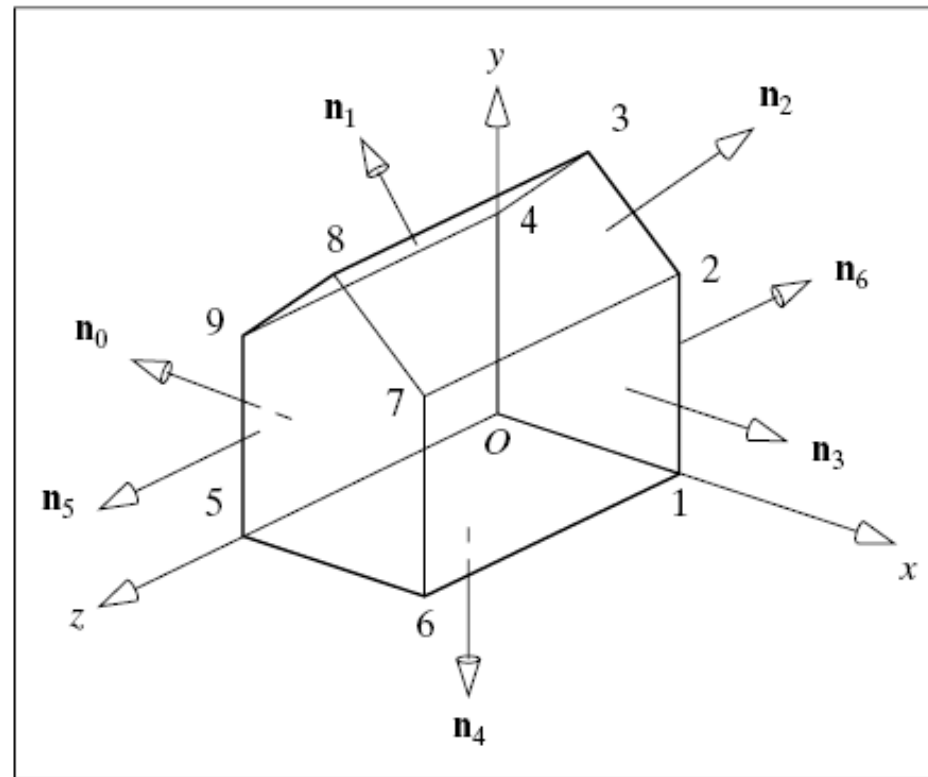
Fonte: Hill, Computer Graphics using OpenGL



Exemplo

- Tabelas de faces, de vértices e de normais para um objeto simples
 - 'barn': 10 vértices distintos e 7 faces (7 normais)
 - Fonte: livro Hill

FIGURE 6.4 Introducing the
“basic barn.”



Fonte: Hill, Computer Graphics using OpenGL

vertex	x	y	z
0	0	0	0
1	1	0	0
2	1	1	0
3	0.5	1.5	0
4	0	1	0
5	0	0	1
6	1	0	1
7	1	1	1
8	0.5	1.5	1
9	0	1	1

FIGURE 6.5 Vertex list for the basic barn.

normal	n_x	n_y	n_z
0	-1	0	0
1	-0.707	0.707	0
2	0.707	0.707	0
3	1	0	0
4	0	-1	0
5	0	0	1
6	0	0	-1

FIGURE 6.6 The list of distinct normal vectors involved.

Fonte: Hill, Computer Graphics using OpenGL



face	vertices	associated normal
0 (left)	0,5,9,4	0,0,0,0
1 (roof left)	3,4,9,8	1,1,1,1
2 (roof right)	2,3,8,7	2,2,2,2
3 (right)	1,2,7,6	3,3,3,3
4 (bottom)	0,1,6,5	4,4,4,4
5 (front)	5,6,7,8,9	5,5,5,5,5
6 (back)	0,4,3,2,1	6,6,6,6,6

FIGURE 6.7 Face list for the basic barn.

Fonte: Hill, Computer Graphics using OpenGL



Exemplo

- Lista de vértices: informação geométrica
- Lista de faces: informação topológica (conectividade)
 - Convenção: **regra da mão direita**, i.e., **vértices no sentido anti-horário para alguém observando a face do lado de fora do objeto**
- Lista de normais: vetores normalizados

Cálculo das normais

- Se face é planar, p.ex., é um triângulo
 - Dados os três vértices V_1 , V_2 e V_3 (orientação anti-horária)

$$\mathbf{N} = (V_2 - V_1) \times (V_3 - V_1)$$

- (normalizar após o cálculo)
- As normais nos vértices são iguais às normais nas faces
- O produto vetorial pode ser um valor muito pequeno se os vetores forem pequenos, ou quase paralelos...
 - Problemas numéricos



Cálculo das normais

-
-
-
-
- Se face é outro polígono planar
 - Uma opção é aplicar a fórmula do triângulo selecionando quaisquer 3 vértices
 - Sujeito a erros se o polígono não for perfeitamente planar
 - Outra opção é determinar a equação do plano a partir dos vértices
 - $ax + by + cz + d = 0$
 - Normal tem componentes (a, b, c)



Cálculo das normais

- Como obter a equação do plano, dados 3 pontos que estão no plano?
- v. Hearn & Baker, Seção 3.15



Cálculo das normais

- 
- Método robusto proposto por Newell
 - Hill, Cap. 6



Outras informações geométricas

- As coordenadas dos vértices contém a informação geométrica necessária para o *rendering* do modelo
 - A partir das coord's dos vértices, pode-se computar a inclinação das arestas, o retângulo envoltório (*bounding box*) de cada face, a equação do plano que contém cada face, etc.
 - Informações necessárias para algoritmos de recorte, remoção de superfícies ocultas e de *rendering*...



Propriedades das malhas

- **Solidez:** malha representa um objeto sólido se o conjunto de suas faces delimita uma região finita do espaço
- **Conectividade:** a malha é conexa se pode-se percorrer uma sequência contínua de arestas entre quaisquer dois vértices



Propriedades das malhas

- **Simplicidade:** uma malha é **simplex** se representa um objeto sólido que não contém buracos (topologicamente equivalente a uma esfera)
- **Planaridade:** uma malha é **planar** se todas as faces do objeto que ela representa são polígonos planares
- **Convexidade:** uma malha representa um objeto **convexo** se qqr linha que conecta dois pontos na superfície do objeto está inteiramente contida no objeto

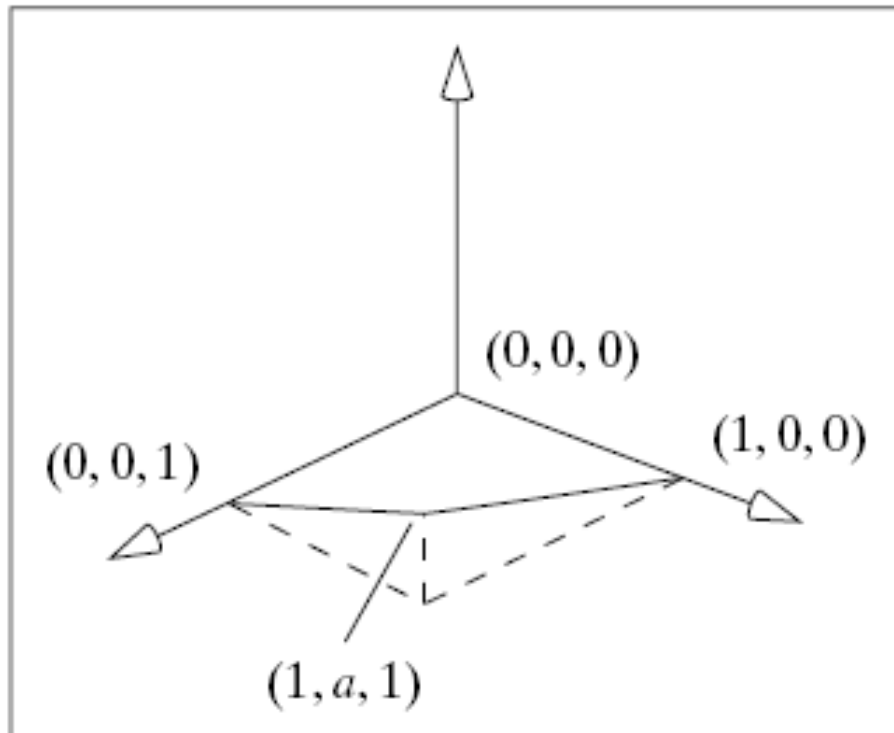
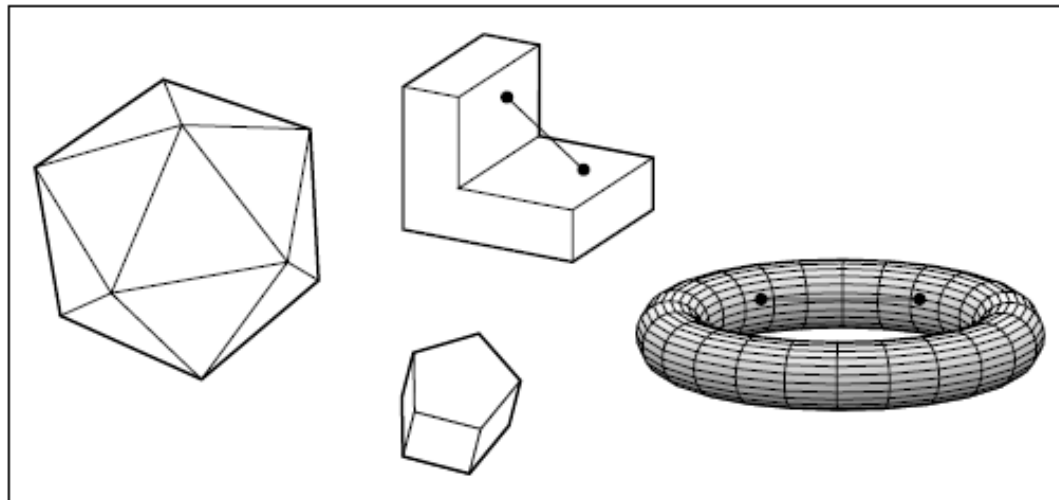


FIGURE 6.8 A nonplanar polygon.

Fonte: Hill, Computer Graphics using OpenGL

FIGURE 6.10 Examples of convex and nonconvex 3D objects.



Fonte: Hill, Computer Graphics using OpenGL



Propriedades das malhas

- Algumas dessas propriedades podem ser facilmente verificadas computacionalmente
- Outras, como solidez, são difíceis de verificar algoritmicamente
- Nem todas as malhas precisam satisfazer todas as propriedades
 - Depende do uso que se quer fazer dela!

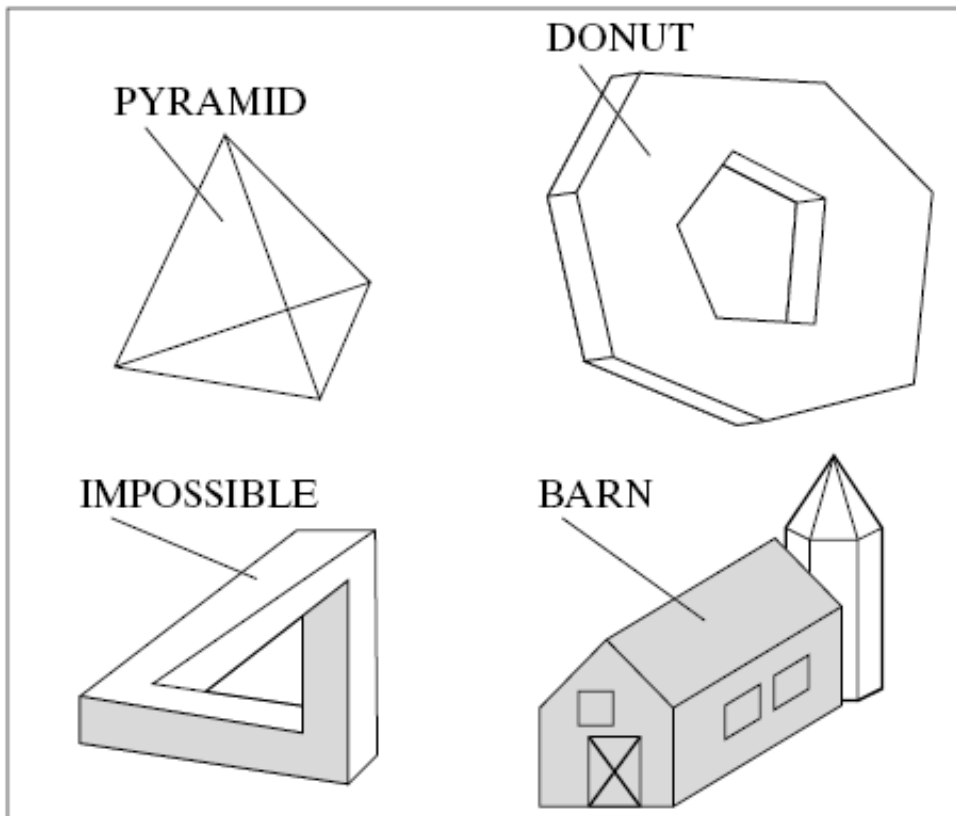
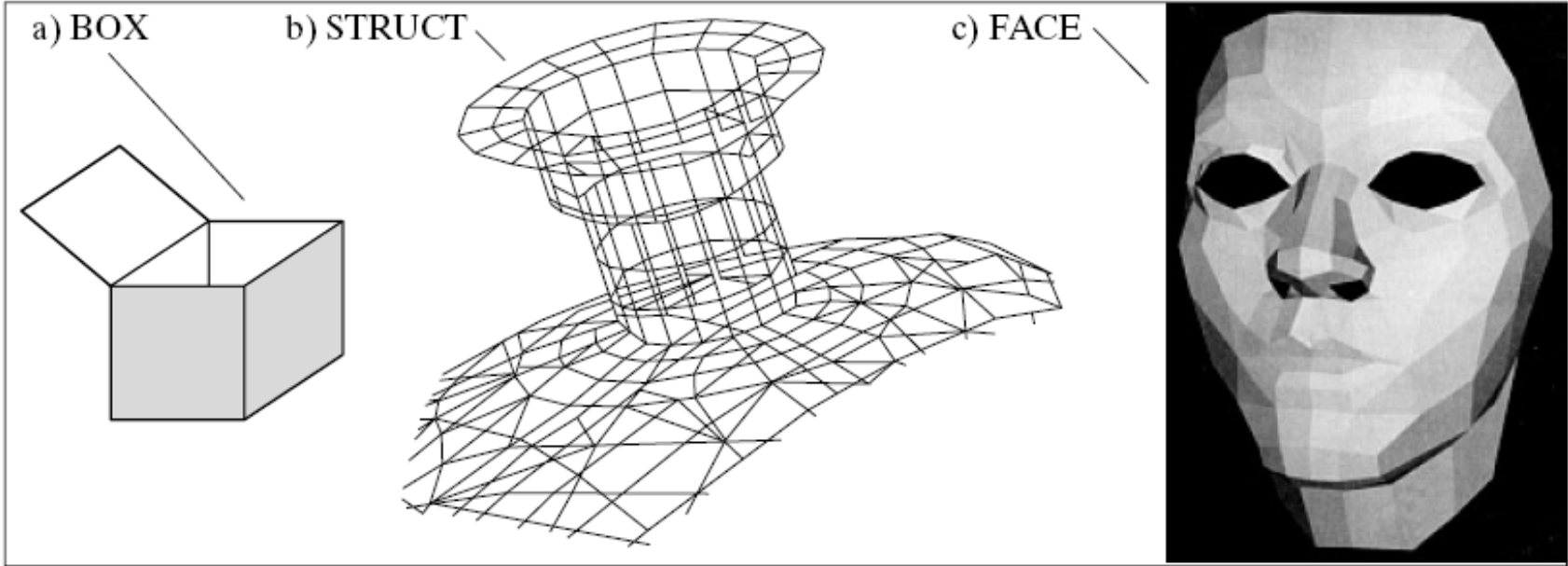


FIGURE 6.11 Examples of solids to be described by meshes.

Fonte: Hill, Computer Graphics using OpenGL



FIGURE 6.12 Some surfaces describable by meshes. [Part (c) is courtesy of the University of Utah.]



Fonte: Hill, Computer Graphics using OpenGL



Estruturas de Dados



■ Observação

- Software de modelagem geométrica
 - interfaces adequadas para a criação de objetos pelo usuário: descrição
 - estrutura de dados alimentada a partir da descrição
- Gerar malhas consistentes diretamente é difícil
 - Exceto para objetos muito simples



Estruturas de Dados

- Muitas E.D. para representação de malhas podem embutir inconsistências se o processo de geração da malha não for cuidadoso para evitá-las
 - a malha pode descrever objetos não 'factíveis'
 - Ex. vértices e arestas isolados, polígonos não fechados, polígonos isolados, etc.
- Certas estruturas de dados específicas não admitem inconsistências
 - p. ex., aresta alada, Baungart (*winged edge*)



Estruturas de Dados

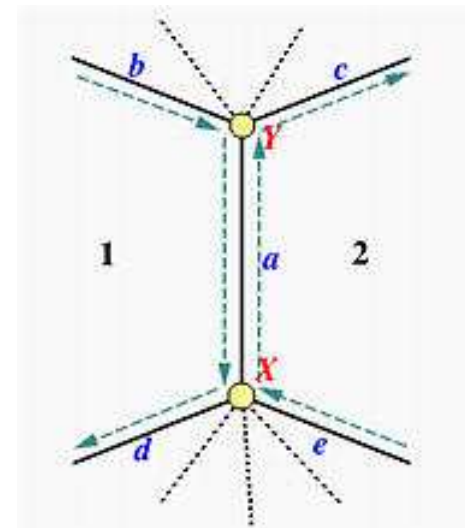
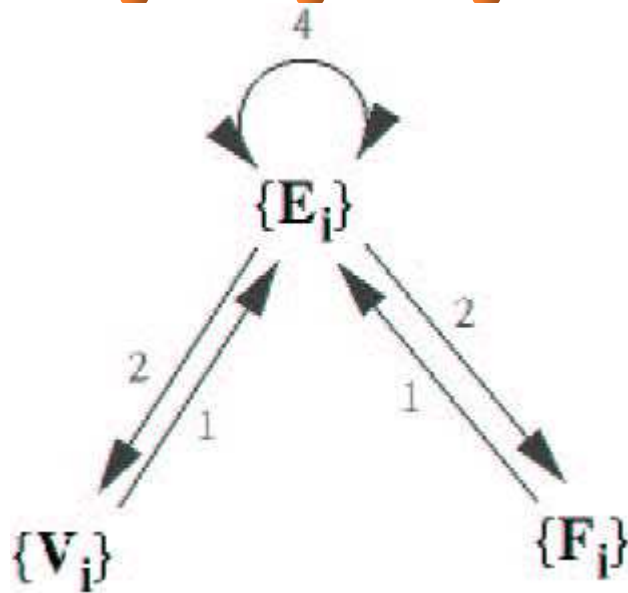


■ Winged-edge

- Associa informações de adjacência às arestas
 - Todas as adjacências entre elementos topológicos recuperadas em tempo $O(1)$
 - Custo extra de armazenagem pequeno (registros de tamanho fixo)
 - Consegue representar polígonos arbitrários

Estruturas de Dados

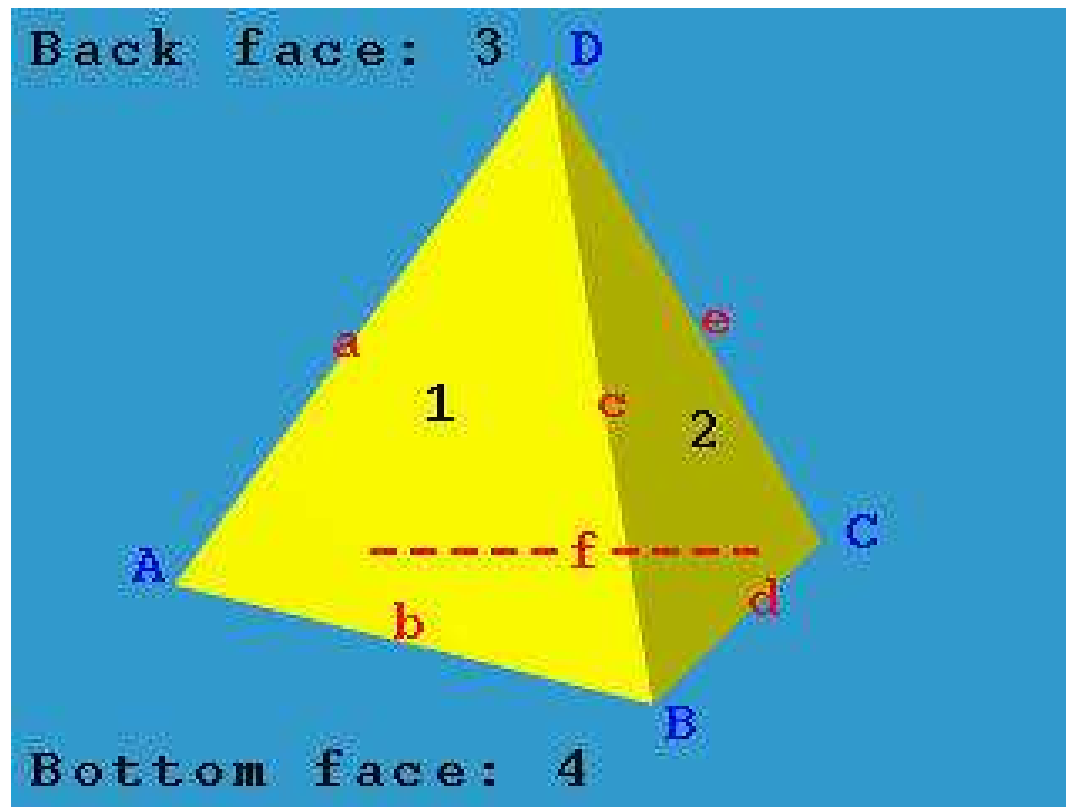
Winged-edge



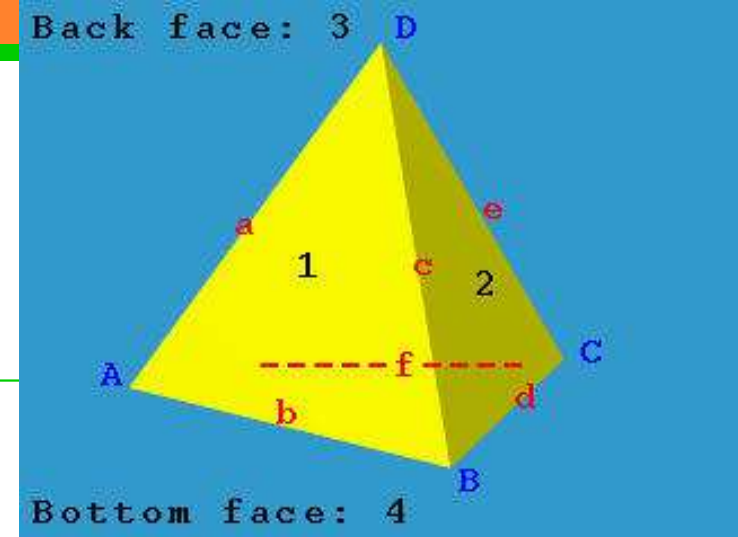
<i>Aresta</i>	<i>Vert.</i>		<i>Faces</i>		<i>Esquerda</i>		<i>Direita</i>	
<i>Id</i>	<i>Inic</i>	<i>Fim</i>	<i>esq</i>	<i>dir</i>	<i>Pred</i>	<i>Suc</i>	<i>Pred</i>	<i>Suc</i>
<i>a</i>	X	Y	1	2	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>c</i>

adap. de <http://www.cs.mtu.edu/~shene/COURSES/cs3621/NOTES/model/winged-e.html>

Exemplo: winged-edge do tetraedro



Estruturas de Dados



Winged-edge (exemplo)

<i>Aresta</i>	<i>Vert.</i>		<i>Faces</i>		<i>Esquerda</i>		<i>Direita</i>	
	<i>Inic.</i>	<i>Fim</i>	<i>Esq.</i>	<i>Dir.</i>	<i>Pred</i>	<i>Suc</i>	<i>Pred</i>	<i>Suc</i>
a	A	D	3	1	e	f	b	c
b	A	B	1	4	c	a	f	d
c	B	D	1	2	a	b	d	e
d	B	C	2	4	e	c	b	f
e	C	D	2	3	c	d	f	a
f	A	C	4	3	d	b	a	e



Aresta alada

- Note que, para cada aresta, tem-se as seguintes informações:
 - Os vértices incidentes
 - Suas faces esquerda e direita
 - Suas arestas sucessoras e predecessoras ao percorrer sua face esquerda
 - Suas arestas sucessoras e predecessoras ao percorrer sua face direita



Aresta alada

- Além da tabela de arestas, tem-se:
 - uma tabela de vértices, que informa uma aresta incidente a esse vértice
 - uma tabela de faces, que informa uma aresta incidente a essa face
- Com essa E.D., pode-se responder facilmente (as vezes em $O(1)$) a perguntas como:
 - O vértice X é adjacente à aresta a ?
 - As faces 3 e 5 são adjacentes?
- As tabelas tem tamanho fixo.



Malhas Poligonais



■ Superfícies curvas

- Poligonização: processo de aproximar uma superfície curva por uma coleção de faces poligonais planares
 - Ex. esfera, torus, ...
- Abordagem de *shading* garante aparência suave






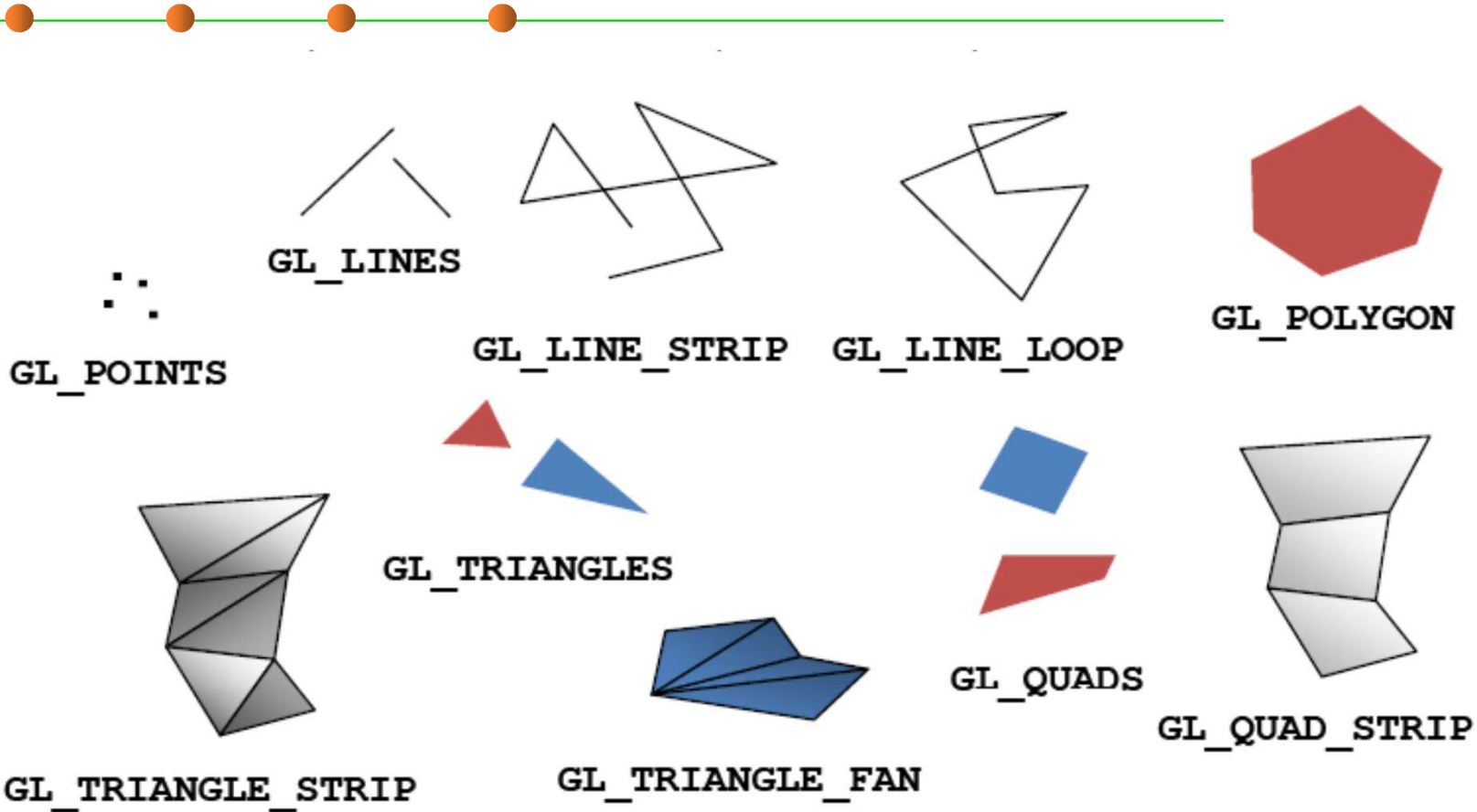
Malhas Poligonais

- Um problema bastante atual é o da simplificação de malhas (*decimação*)
 - Redução do número de polígonos/triângulos necessários para descrever um modelo
 - Veja, por exemplo
<http://amber.rc.arizona.edu/lw/decimate.html>
 - <http://www-tcad.stanford.edu/~nwilson/cs448/nwilson-cs448b-contrib.html>



Malhas Poligonais

- 
- Porquê?
 - *Rendering* mais rápido
 - Menor custo de armazenagem e transferência
 - Manipulação mais simples
 - Malhas de melhor qualidade para simulações numéricas...





Exercício

- (1) Dar as tabelas de vértices, faces e normais para um cubo centrado na origem, com arestas de comprimento 2
- (2) idem para um tetraedro cujos vértices são $(0,0,0)$, $(0,1,0)$, $(1,0,0)$ e $(0,0,1)$



Exercício

- (3) Dar a tabela de arestas de uma estrutura aresta alada para um cubo centrado na origem, com arestas de comprimento 2
- (4) idem para um tetraedro cujos vértices são $(0,0,0)$, $(0,1,0)$, $(1,0,0)$ e $(0,0,1)$



Bibliografia

- Computer Graphics Using OpenGL, F.S. Hill, Jr., 2nd. Edition, prentice Hall, 2001
- Seção 3.15 – Hearn & Baker Computer Graphics in OpenGL
- Lecture Notes by Thomas Funkhouser at Princeton University:
<http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall02/cs526/lectures/meshes.pdf>