

# 1

## Introdução

Muitas são as aplicações onde se faz necessário transmitir modelos 3D via Internet. Entre eles merece destaque o compartilhamento de dados entre ambientes colaborativos situados em diferentes localidades. Este compartilhamento permite a sua análise e visualização, porém restrições de largura de banda da rede (*Internet/Intranet*) assim como o custo de armazenamento limitam a complexidade do modelo a ser transmitido/armazenado (Figura 1.1).



Figura 1.1: Compressão e Transmissão de Dados.

O número e complexidade dos modelos 3D que são acessados via Internet crescem rapidamente, conseqüentemente existe uma grande necessidade de comprimir dados para transmiti-los de uma maneira simples e eficiente.

Muitas representações foram propostas para modelos 3D, dentre as quais as malhas triangulares são amplamente utilizadas para trocar dados e modelos 3D. Um malha tem dados dos vértices (isto é as coordenadas físicas de cada vértice pertencente a malha) e a conectividade dos dados (isto é como os vértices estão conectados para formar cada triângulo da malha).

Destaca-se também a importância de malhas quadrangulares e de malhas híbridas ou irregulares que são típicas de uma aplicação de métodos de elementos finitos (Figura 1.2). Valdivia implementou um pós-processador estático de elementos finitos em VRML [19], cujas malhas possuem componentes conexas.

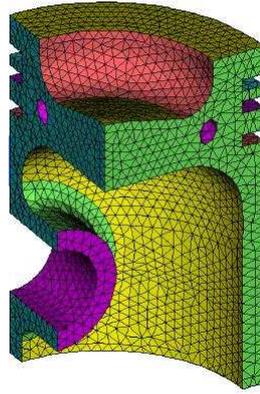


Figura 1.2: Malha de elementos finitos.

Desta forma uma malha é uma representação discreta de um domínio geométrico em formas menores e mais simples, como triângulos ou quadriláteros em duas dimensões, tetraedros e hexaedros em três dimensões.

Os modelos de representação por contorno (*Boundary Representation Models*) ou BReps, compõem uma representação indireta do sólido ou malha através da descrição de sua fronteira. Existem várias estruturas de dados para essas representações de sólidos como a *WingedEdge* [1], *HalfEdge* [11], *CornerTable* [14] entre outros.

A representação por modelos de contorno, especialmente baseada em polígonos é largamente utilizada nas mais diversas aplicações de computação gráfica. Durante a manipulação destes tipos de malhas é necessário obter a vizinhança de um determinado elemento, inserir ou remover faces, ou como neste trabalho, armazenar a malha num formato compacto.

Uma estrutura de dados deve oferecer estes tipos de operações a baixo custo em termos de complexidade. Neste trabalho apresenta-se uma nova estrutura de dados que é uma simplificação da *HalfEdge* original. Utiliza-se esta estrutura para apresentar a implementação dos algoritmos de compressão e descompressão de malhas compostas por triângulos e quadrângulos.

## 1.1

### Trabalhos Anteriores

Neste trabalho será proposta uma estrutura de dados para representação de superfícies e serão apresentados um algoritmo para compressão e um para descompressão geométrica. Nessa seção serão discutidos os trabalhos anteriores nesses dois assuntos.

#### 1.1.1

##### Estrutura de Dados Topológicas

Desde quando Baumgart introduziu a estrutura de dados *WingedEdge* e os operadores de Euler [1] para representação de sólidos em  $\mathbb{R}^3$ , muitas modificações foram propostas para poder representar tipos mais complexos de objetos geométricos.

Dentre os trabalhos apresentados pode-se destacar a estrutura de dados *HalfEdge* [11] que também representa sólidos pela sua fronteira. Ranta et al [13] apresentam uma extensão desta estrutura de dados para representar bordo para operações de copiar e colar.

Guibas e Stolfi [5] propuseram uma generalização para incluir variedades bidimensionais orientadas ou não, onde as funções de arestas e a correspondente álgebra de arestas foram implementadas na estrutura de dados *QuadEdge* com um conjunto de operadores. Dobkin e Lazlo [4] com a estrutura de dados *FacetEdge* e um conjunto de operadores expandiram o trabalho de Guibas e Stolfi para representar complexos celulares que são subdivisões da esfera tridimensional. Brisson [2] generalizou os dois últimos trabalhos para variedades n-dimensionais com a estrutura de dados chamada *CellTuple* e operadores que geralmente são chamados de construtores. A estrutura de dados *HC-Rep* possui uma diferença intrínseca quando comparado com os trabalhos de Guibas-Stolfi, Dobkin e Lazlo, e Brisson. Nestes esquemas uma célula é representados explicitamente e não como nós na estrutura de dados. Uma característica desta representação implícita é que esta lida com variedades não orientadas.

Castelo et al [3] utilizaram a teoria de alças para representar superfícies baseando-se no conceito de adicionar uma alça no bordo de uma superfície combinatória. Eles apresentaram um nova estrutura de dados para repre-

sentar superfícies combinatórias com bordo chamada *HandleEdge* e um conjunto de operadores para a geração de alças. Pesco e Tavares [12] expandiram a estrutura *HandleEdge* para incorporar superfícies do tipo spline. Lopes e Tavares [10] apresentaram a estrutura *HandleFace* e um conjunto de operadores para representar variedades tridimensionais.

### 1.1.2

#### Compressão Geométrica

Muitos métodos de compressão de malhas foram propostos, dentre os quais podemos destacar o método de compressão *Topological Surgery* proposto por Taubin [18] o qual comprime a árvore TST (*Triangle Spanning Tree*) assim como a sua árvore dual de vértices.

O padrão MPEG-4 para compressão 3D está baseado na técnica de compressão *Topological Surgery* [18] destacado no parágrafo anterior, o qual foi co-inventado por Rossignac quando ele ainda trabalhava na IBM.

Outra técnica de compressão também proposta por Rossignac [15] é o método de compressão *EdgeBreaker* que utiliza a estrutura de dados *CornerTable* para representar a conectividade de qualquer variedade de malha de triângulos por meio de dois arrays de inteiros. Rossignac também mostrou uma técnica de descompressão de malhas triangulares para malhas que foram codificadas pelo método *EdgeBreaker*. Este método de descompressão é conhecido como *Wrap&Zip* [16]. A descompressão do *Wrap&Zip* tem complexidade quadrática no pior caso.

Devido à sua simplicidade, o *EdgeBreaker* é visto como o padrão emergente para a compressão de modelos tridimensionais, e pode prover uma alternativa para o padrão corrente de compressão MPEG-4. O método de compressão apresentado por Rossignac se restringia a malhas fechadas homeomorfas a uma esfera sem bordo e sem genus. Lopes estendeu o método de compressão *EdgeBreaker* para suportar malhas que contenham bordo e genus [9].

King et al. apresentaram uma codificação e compressão para malhas quadrangulares [7] homeomorfas a uma esfera. Embora, nesse trabalho os autores tenham mencionado como seria possível estender o algoritmo para superfícies com alças e com malhas compostas também por triângulos, os autores não apresentaram de fato um algoritmo computacional para este

tipo de malhas.

O algoritmo de descompressão só para quadrângulos proposto por King et al, não está claro se é possível realizar a descompressão em tempo linear.

## 1.2

### Contribuições

Este trabalho apresenta um estrutura de dados simples chamada *CHalfEdge*, que utiliza duas tabelas de inteiros para representar a conectividade de uma superfície orientável composta por triângulos e/ou quadrângulos. A estrutura usa os conceitos e idéias da representação *HalfEdge* [11], porém possui um baixo custo de armazenamento e mantém um alto poder de expressão.

Apresenta-se também um novo algoritmo com tempo linear para compressão e descompressão de malhas compostas por quadrângulos e triângulos com ou sem alças. Esse esquema de compressão é de fato uma extensão do trabalho do King [7]. Esta nova abordagem de compressão de malhas apoia-se no trabalho feito por Lopes et al. [9].

## 1.3

### Organização da Dissertação

Esta dissertação esta dividida nos seguintes capítulos: No Capítulo 2, descrevem-se os conceitos básicos sobre topologia combinatória assim como conceito de teoria de alças (*handlebody*). No Capítulo 3 é apresentado uma representação compacta para malhas triangulares e/ou quadrangulares (malhas irregulares) baseado nos conceitos e idéias da estrutura de dados *HalfEdge*. No Capítulo 4 apresenta-se em detalhe um novo algoritmo para compressão de malhas irregulares. O Capítulo 5 trata do algoritmo de descompressão de malhas irregulares. No Capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos para diferentes malhas utilizadas e por fim são feitas conclusões e propostas de trabalhos futuros no Capítulo 7.