

## 4

# Malha em Multi-resolução com Simplificação e Refinamento

Este capítulo apresenta a descrição geral do método desenvolvido na tese. Trata-se de um método de extração de malha em multi-resolução a partir de volumes, de modo que a malha extraída possui todas as propriedades descritas na seção 3.1. O método é aplicado para reconstruir superfícies regulares, a multi-resolução é aplicada à malha (e não ao volume) e emprega tanto operações de simplificação quanto operações de refinamento da malha. A etapa de simplificação tem como objetivo extrair uma malha base a partir de um conjunto super amostrado de pontos obtido do volume original. A etapa do refinamento tem por objetivo obter uma representação da malha base em multi-resolução.

### 4.1

#### Simplificação: Extração da Malha Base

A etapa da simplificação aqui desenvolvida aplica basicamente a mesma estratégia do método desenvolvido em [54]. Porém, é importante ressaltar que, enquanto o objetivo aqui é a obtenção de uma malha simplificada, em [54] é obtida uma malha já em multi-resolução. O processo de multi-resolução em [54], porém, não permite estabelecer uma relação hierárquica entre malhas de diferentes níveis de resolução, ou seja, não é possível obter uma malha de um nível  $i + 1$  diretamente a partir de uma malha do nível  $i$ . Neste caso, para a obtenção de cada malha em uma determinada resolução, é necessário aplicar todo o processo de extração de malha a partir do volume, com os devidos parâmetros da resolução desejada. No método aqui apresentado, como a simplificação e o refinamento são processos bem definidos, a extração da malha (base) é aplicada uma única vez e, a partir desta, podem ser obtidas malhas com diversas resoluções devidamente relacionadas em uma estrutura hierárquica. O processo de simplificação é realizado através de aglomerações de pontos: a partir do

volume de dados é obtido um conjunto super amostrado de pontos que representa a iso-superfície; este conjunto vai sendo simplificado até que se obtenham outros conjuntos em baixa resolução que retêm a topologia correta da iso-superfície. Os pontos simplificados são então triangulados para definir a malha base. Esta etapa será tratada em detalhes no capítulo 5. Os conjuntos de pontos intermediários obtidos são: grafo de conectividade, cobertura de discos e cobertura de Voronoi.

### Grafo de Conectividade

A topologia do objeto é calculada a partir da extração do *grafo de conectividade* do objeto. O grafo de conectividade  $\mathcal{G}$  é uma representação super amostrada da superfície, contendo informações de como a superfície está conectada dentro do volume, ou seja, contém informações geométricas e topológicas da superfície. Os vértices do grafo de conectividade são pontos calculados dentro dos voxels que interceptam a iso-superfície. As arestas do grafo são definidas a partir da relação de vizinhança dos seus vértices. A figura 4.1a mostra um objeto volumétrico, a figura 4.1b mostra o seu grafo de conectividade e a figura 4.1c mostra, em destaque, a região correspondente ao retângulo cinza da figura 4.1b. A seção 5.1 discute a implementação do grafo de conectividade.

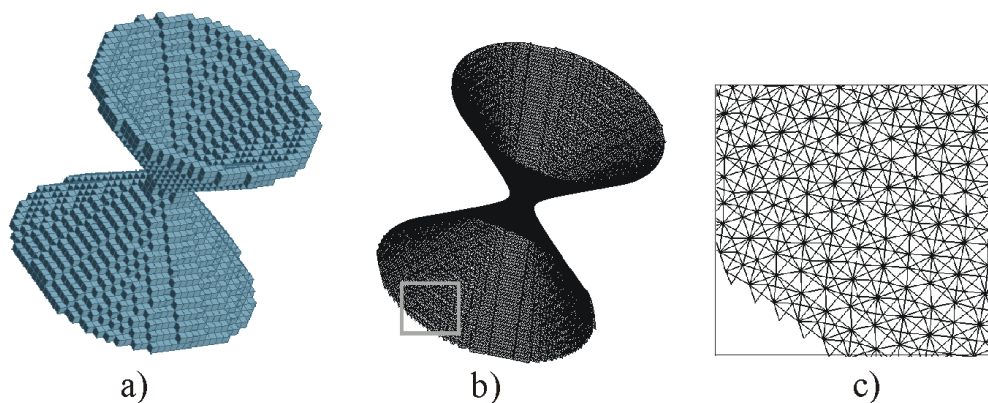


Figura 4.1: (a) Objeto volumétrico. (b) Grafo de Conectividade. c) Detalhe do Grafo.

### Cobertura de Discos

A cobertura de discos  $\mathcal{C}$  é um conjunto, conforme definido na seção 2.2, calculado sobre os vértices do grafo de conectividade. Os centros dos discos serão utilizados como vértices da malha base. A figura 4.2 mostra

a geração dos discos sobre o grafo de conectividade. Os centros dos discos estão em vermelho. A seção 5.2 discute a implementação da cobertura de discos.

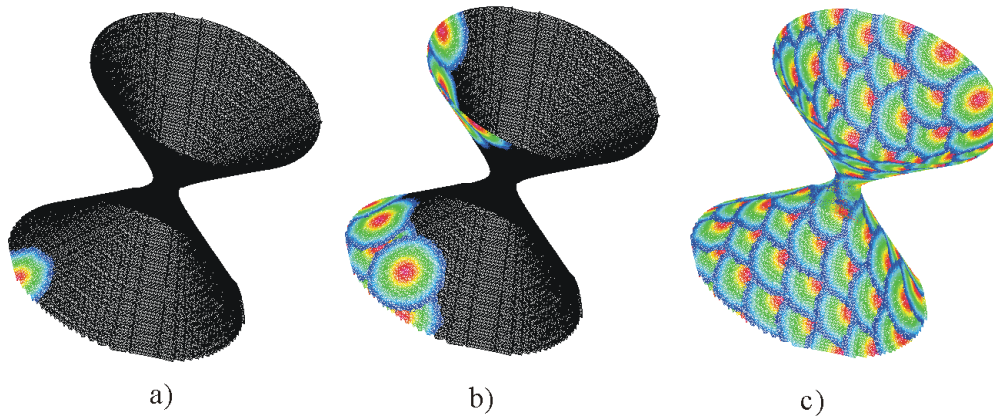


Figura 4.2: (a) Um disco gerado. (b) Vários discos. (c) Cobertura de Discos

### Cobertura de Voronoi

A partir do cobertura de discos  $\mathcal{C}$  é calculada uma *cobertura de Voronoi* (seção 5.3), que é uma estrutura onde cada célula de Voronoi corresponde a um disco  $D_v$ , de centro  $v$ , e é formada pelos vértices do grafo que estão mais próximos de  $v$  do que do centro de qualquer outro disco de  $\mathcal{C}$ . A figura 4.3a mostra as células de Voronoi geradas a partir da cobertura de discos.

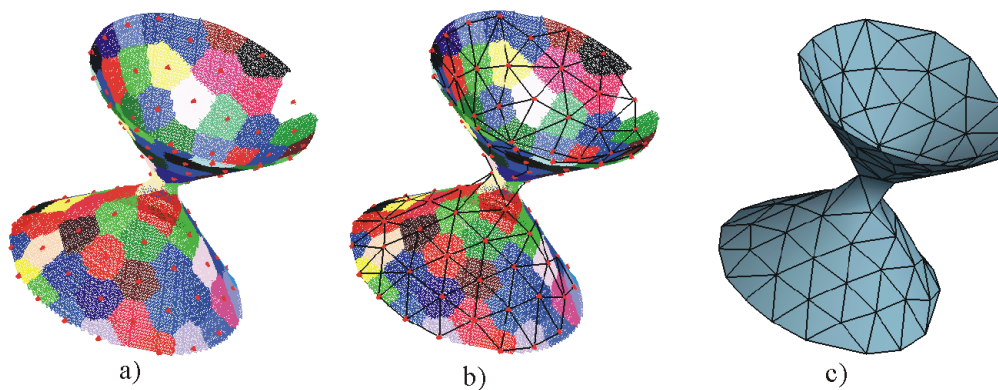


Figura 4.3: a) Cobertura de Voronoi. b) Dual de Voronoi. c) Malha base.

Uma vez calculada a cobertura de Voronoi, calcula-se o dual desta estrutura (figura 4.3b), do qual se obtém uma triangulação, que corresponde à malha base (figura 4.3c). Este processo será visto na seção 5.4.

## 4.2

### Refinamento da Malha

Nesta etapa os triângulos da malha base são subdivididos e vão se adaptando à iso-superfície. Assim, o refinamento pode ser dividido nas etapas de *subdivisão* e *adaptação* dos triângulos. O refinamento da malha base será tratado em detalhes no capítulo 6.

### Subdivisão dos Triângulos

Nesta etapa, que é baseada nos trabalhos [47, 48], os triângulos da malha base são subdivididos de forma a se ajustarem às características locais da iso-superfície. A adaptação é apenas topológica (não é geométrica), ou seja, apenas a conectividade da malha é alterada. O critério utilizado para decidir se um triângulo  $T$  deve ser dividido baseia-se na variância das distâncias do triângulo  $T$  à superfície.

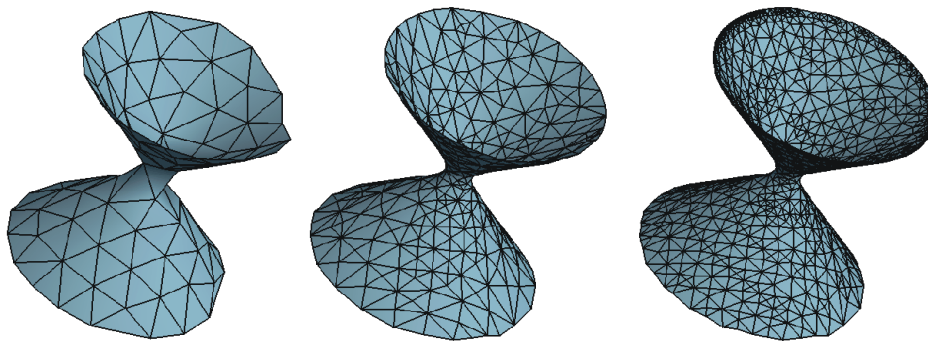


Figura 4.4: Refinamento da malha.

O modelo de representação em multi-resolução utilizado baseia-se na *estrutura semi-regular 4-8* [48], na qual os vértices da malha têm valência 4 ou 8. Esta estrutura permite que os triângulos sejam divididos de forma consistente, garantindo assim a propriedade da consistência da subdivisão dos triângulos, conforme descrito na seção 3.1. A figura 4.4 mostra o processo do refinamento da malha. O processo de subdivisão será discutido em detalhes na seção 6.1.

### Adaptação dos Triângulos

Nesta etapa é aplicada a adaptação da geometria da malha à iso-superfície. O objetivo desta etapa é a otimização da malha, no sentido

de torná-la o mais próximo possível da iso-superfície, além de manter a regularidade dos seus triângulos, sua suavidade e sua boa aparência.

A adaptação dos triângulos, que é baseada nos trabalhos [47, 34, 57], será obtida dinamicamente a partir da aplicação de deslocamentos aos novos vértices da malha. Estes deslocamentos são *aproximação à superfície e reparametrização da malha*.

**Aproximação à superfície** Os vértices da malha devem ser deslocados em direção à iso-superfície. Este deslocamento é calculado de duas maneiras: através do cálculo de geodésicas sobre o grafo de conectividade e através da *transformada de distância* (seção 6.2.1 e apêndice A).

**Reparametrização da malha** A aplicação deste deslocamento aos vértices ajuda a manter a regularidade dos triângulos da malha. Os vértices são deslocados em direções tangentes à superfície [47, 57] (seção 6.2.2).

### 4.3

#### Descrição Geral do Método

A função **ExtrairMalhaMulti** abaixo mostra o pseudo código do processo de extração da malha em multi-resolução. Esta função recebe, como entrada, um dado volumétrico  $V$ , um valor da iso-superfície  $d$  e um erro  $e$  para avaliar o processo de refinamento dos triângulos, ou seja,  $e$  será usado para estabelecer a precisão do refinamento da malha. As funções **ExtrairMalhaBase** e **RefinarMalhaBase** estão descritas respectivamente nos capítulos 5 e 6.

---

**Algoritmo 1** ExtrairMalhaMulti (volume  $V$ , densidade  $d$ , erro  $e$ )

---

$M \leftarrow$  **ExtrairMalhaBase** ( $V, d$ )  
**RefinarMalhaBase**( $M, e$ )  
 Retornar  $M$

---

A figura 4.5 mostra o esquema geral do método e o *pipeline* com as etapas de geração da malha: a partir do volume  $V$  e da iso-superfície  $F(x, y, z) = d$  é extraído o grafo de conectividade  $\mathcal{G}$ . A cobertura de discos  $\mathcal{C}$  é então calculada sobre o grafo  $\mathcal{G}$ . Em seguida é calculada a cobertura de Voronoi  $\mathcal{V}_\mathcal{C}^\mathcal{G}$  sobre o grafo  $\mathcal{G}$ , de modo que cada disco de  $\mathcal{C}$  define uma célula de  $\mathcal{V}_\mathcal{C}^\mathcal{G}$ . A partir do dual da cobertura de Voronoi é calculada a triangulação

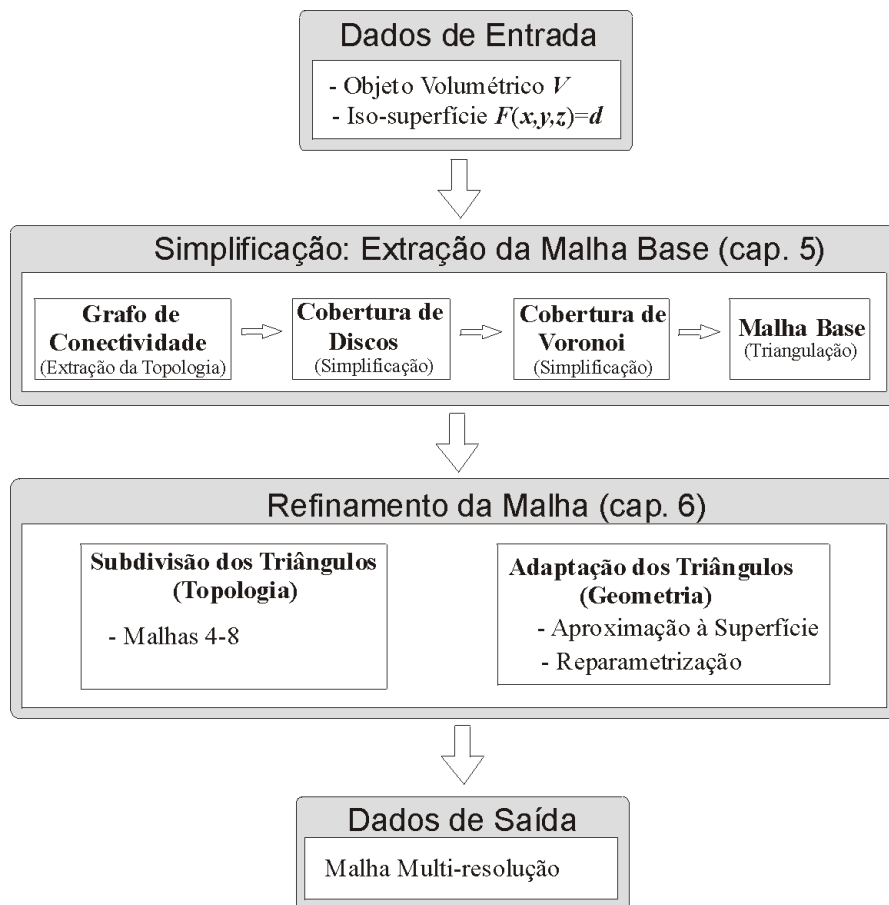


Figura 4.5: Esquema geral para extração de malha adaptativa em multi-resolução.

que define a malha base. A esta malha é aplicado o processo de refinamento de modo que o dado de saída é uma malha em multi-resolução.