

7

Resultados

O método foi aplicado a vários dados volumétricos e os resultados foram comparados com o método marching cubes. Para cada exemplo foi gerado um histograma das razões de aspecto dos triângulos da malha resultante, que compara a regularidade dos triângulos nos dois métodos.

A convergência da malha para a superfície do objeto pode ser analisada a partir de um erro $\epsilon_{arestas}$ calculado nas arestas da malha, e de um erro $\epsilon_{normais}$, calculado nas normais dos triângulos [57]. O erro $\epsilon_{arestas}$ é definido como

$$\epsilon_{arestas} = \frac{1}{\sum_{\forall T} A(T)} \sum_{\forall e} U(e), \quad (7-1)$$

onde $A(T)$ é a área de cada triângulo T , $U(e) = D(p)^2(A(T_1) + A(T_2))/2$ é o erro avaliado em cada aresta e , $D(p)$ é a distância do ponto médio p de e à superfície e $A(T_1)$ e $A(T_2)$ são respectivamente as áreas dos triângulos T_1 e T_2 que compartilham a aresta e . Sendo $m(T)$ o vetor normal unitário no centróide do triângulo T e $n(T)$ o vetor normal unitário em T , o desvio total das normais é definido como

$$\epsilon_{normais} = \frac{1}{\sum_{\forall T} A(T)} \sum_{\forall T} [A(T)(1 - |n(T).m(T)|)] \quad (7-2)$$

7.1

Objeto Implícito - Esfera

A figura 7.1a mostra o resultado da extração de uma malha em multi-resolução representando uma esfera. A figura 7.1b mostra, em detalhe, a região correspondente ao retângulo da figura 7.1a. A figura 7.1c mostra a mesma região triangulada com o método marching cubes. Enquanto a malha resultante do método em multi-resolução contém 3632 triângulos, o método marching cubes gerou uma malha com 10520 triângulos.

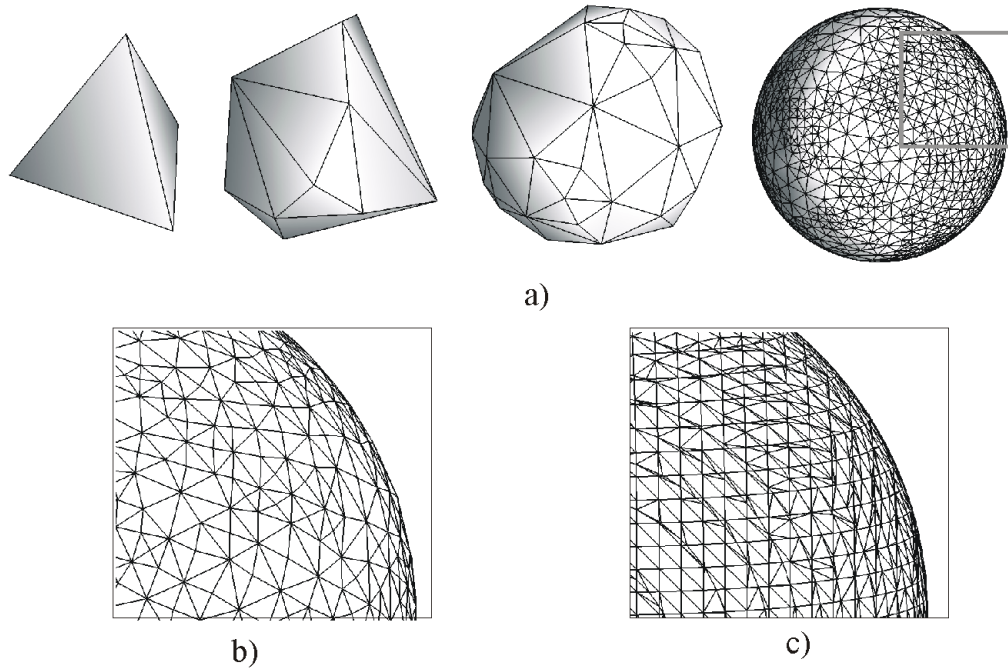


Figura 7.1: a) Esfera: 4, 17, 98 e 3632 triângulos respectivamente. b) Detalhe da triangulação da malha. c) Método marching cubes: 10520 triângulos.

A figura 7.2 mostra um histograma que relaciona a razão de aspecto com o percentual do número de triângulos, tanto no método em multi-resolução quanto no marching cubes.

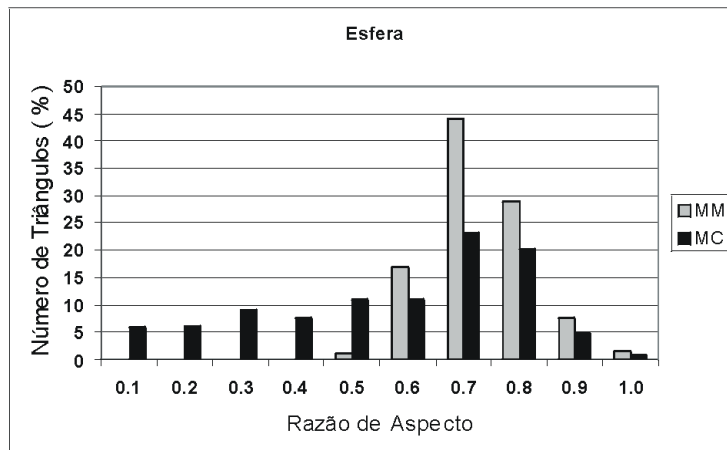


Figura 7.2: Razão de aspecto: multi-resolução (MM) e marching cubes (MC).

As figuras 7.3 e 7.4 mostram respectivamente os valores obtidos para o erro $\epsilon_{arestas}$ e para o erro $\epsilon_{normais}$ durante o refinamento da malha da esfera. Estes resultados mostram que durante o refinamento, a malha converge para a superfície do objeto.

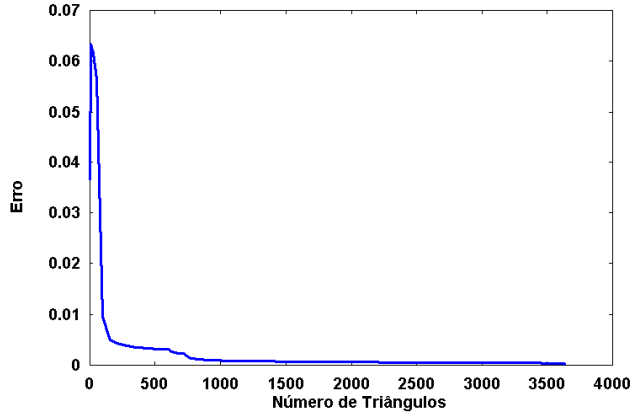
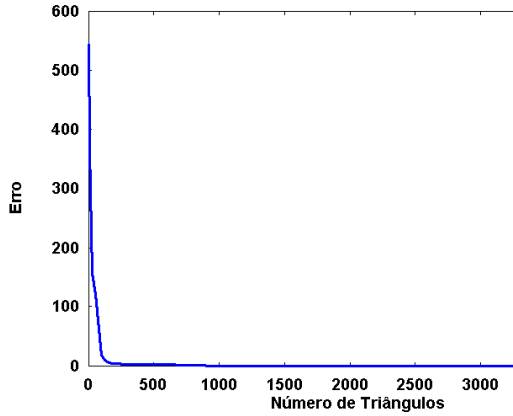


Figura 7.3: Gráfico do erro $\epsilon_{arestas}$.

Figura 7.4: Gráfico do erro $\epsilon_{normais}$.

7.2

Objeto Implícito - Toro

A figura 7.5a mostra a malha de um toro em multi-resolução.

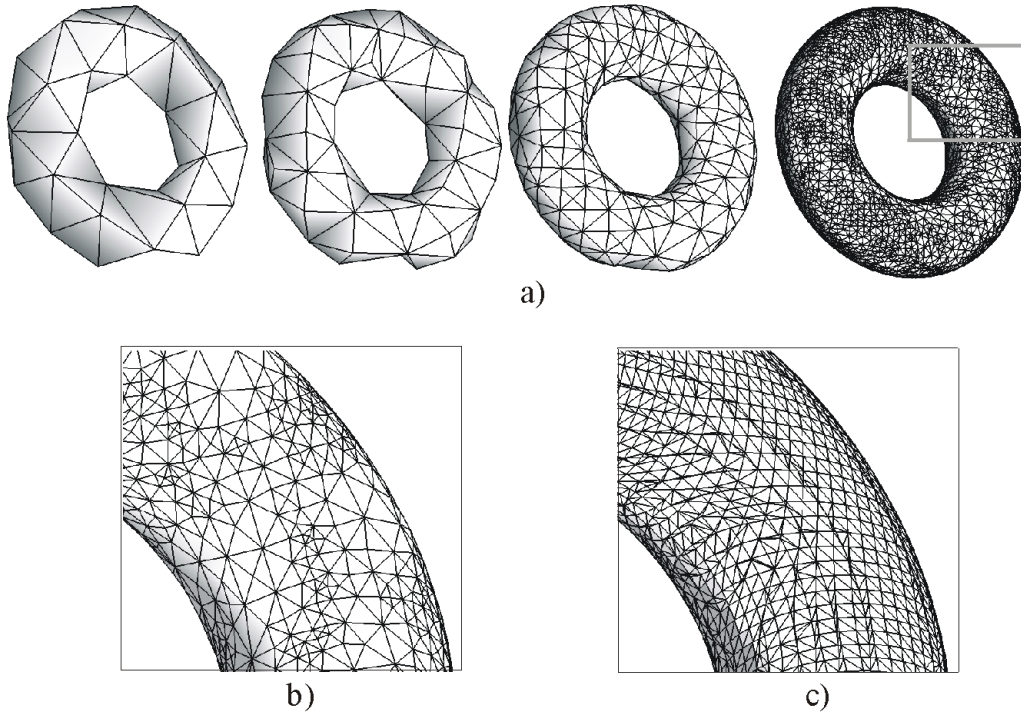


Figura 7.5: a)Toro: 94, 212, 1152 e 7976 triângulos respectivamente. b)Detalhe da triangulação da malha. c) Método marching cubes: 16496 triângulos.

As figuras 7.5b e 7.5c destacam a região correspondente ao retângulo da figura 7.5a, para o método em multi-resolução e o marching cubes

respectivamente. A figura 7.6 mostra o histograma que relaciona da razão de aspecto no método em multi-resolução e no marching cubes.

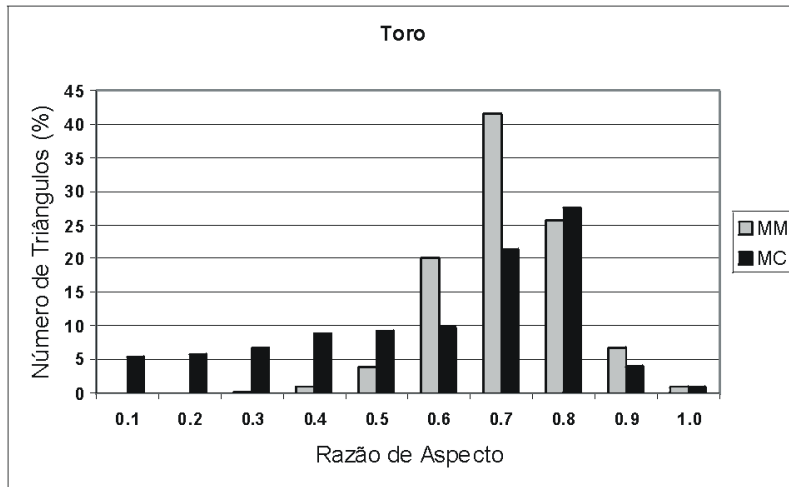


Figura 7.6: Razão de aspecto: multi-resolução (MM) e marching cubes (MC).

As figuras 7.7 e 7.8 mostram respectivamente os valores obtidos para o erro $\epsilon_{arestas}$ e para o erro $\epsilon_{normais}$ durante o refinamento da malha da esfera.

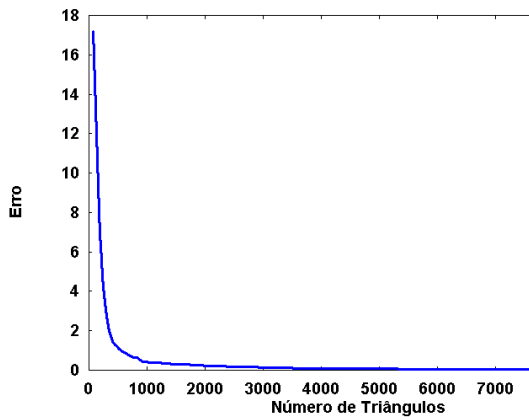


Figura 7.7: Gráfico do erro $\epsilon_{arestas}$.

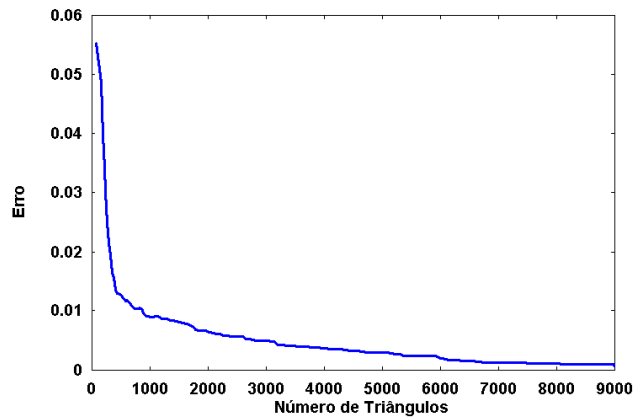


Figura 7.8: Gráfico do erro $\epsilon_{normais}$.

7.3 Objeto Sintético

A figura 7.9a mostra a malha em multi-resolução extraída de um dado volumétrico sintético. A figura 7.9b mostra a região do topo do objeto e a figura 7.9c mostra a mesma região triangulada com o marching cubes.

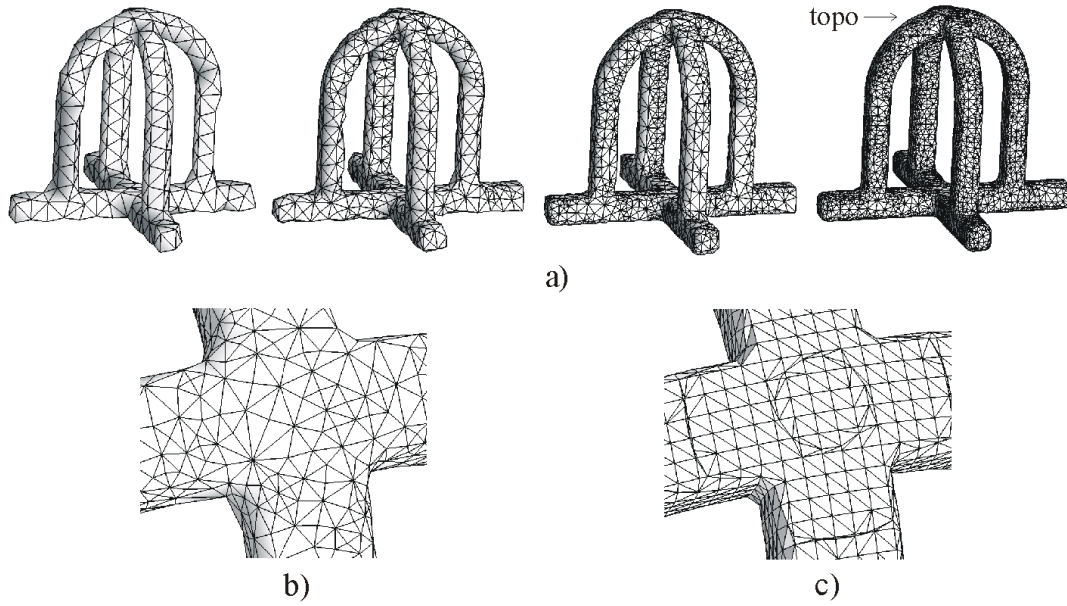


Figura 7.9: a) Objeto sintético: 704, 2003, 4530 e 9679 triângulos respectivamente. b) Triangulação do topo. c) Marching cubes: 15195 triângulos.

A figura 7.10 mostra histograma comparando a razão de aspecto dos triângulos do método em multi-resolução com o marching cubes.

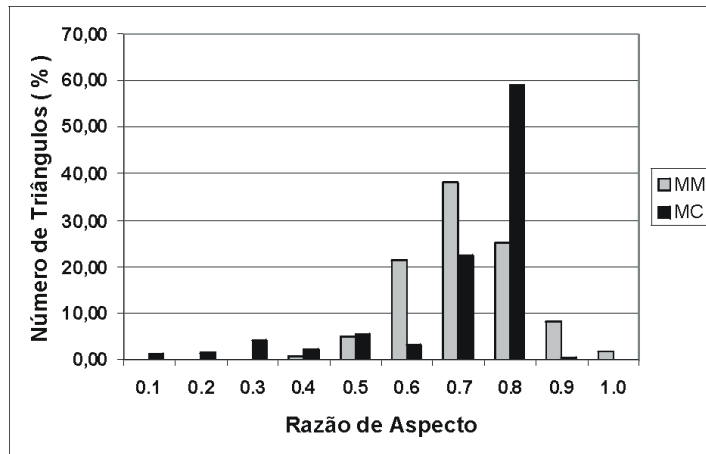


Figura 7.10: Razão de aspecto: multi-resolução (MM) e marching cubes (MC).

As figura 7.11 e 7.12 mostram respectivamente os gráficos dos erros $\epsilon_{arestas}$ e $\epsilon_{normais}$.

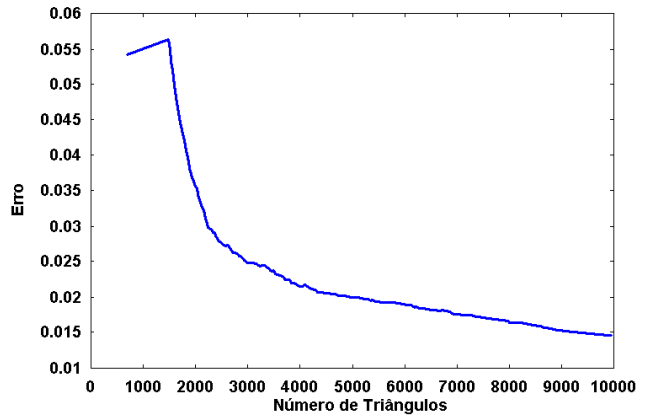
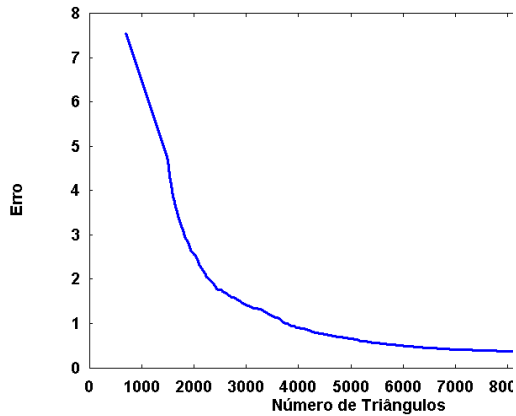


Figura 7.11: Gráfico do erro $\epsilon_{arestas}$. Figura 7.12: Gráfico do erro $\epsilon_{normais}$.

7.4 Objeto Implícito

A figura 7.13 mostra o refinamento de uma superfície com borda, obtida a partir de perturbações aplicadas a um hiperbolóide.

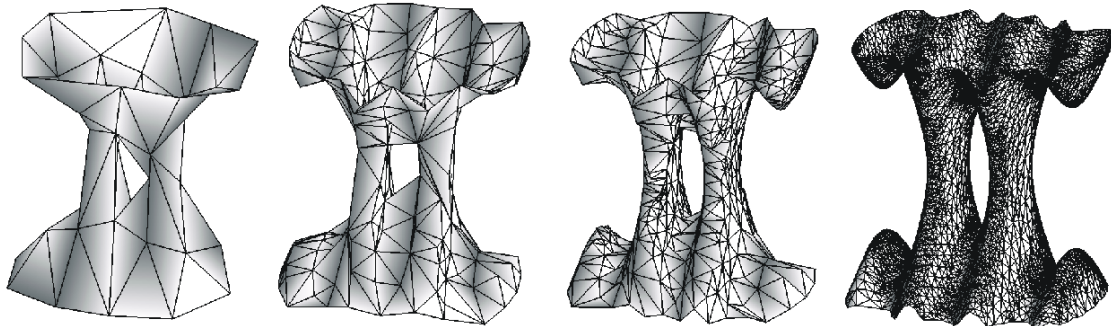


Figura 7.13: Objeto implícito: 61, 391, 1205 e 13633 triângulos respectivamente.

A figura 7.14 ilustra a malha rotacionada e as figuras 7.14b e 7.14c mostram respectivamente detalhes da malha no método em multi-resolução e no marching cubes.

A figura 7.15 mostra o histograma da razão de aspecto no método em multi-resolução e no marching cubes.

As figuras 7.16 e 7.17 mostram os gráficos dos erros $\epsilon_{arestas}$ e $\epsilon_{normais}$.

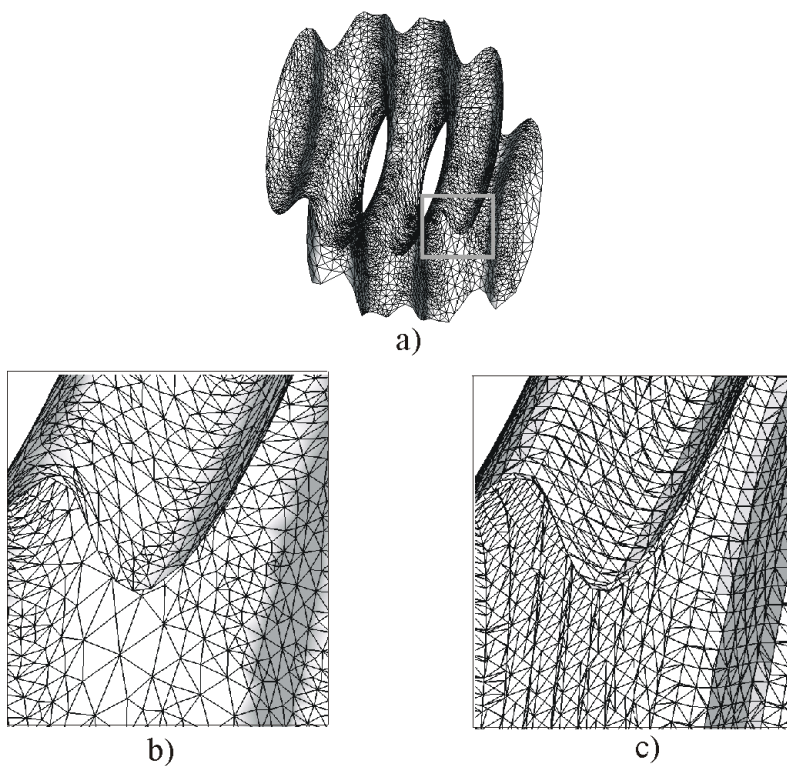


Figura 7.14: a)Malha extraída. b)Detalhe. c) Marching cubes: 36848 triângulos

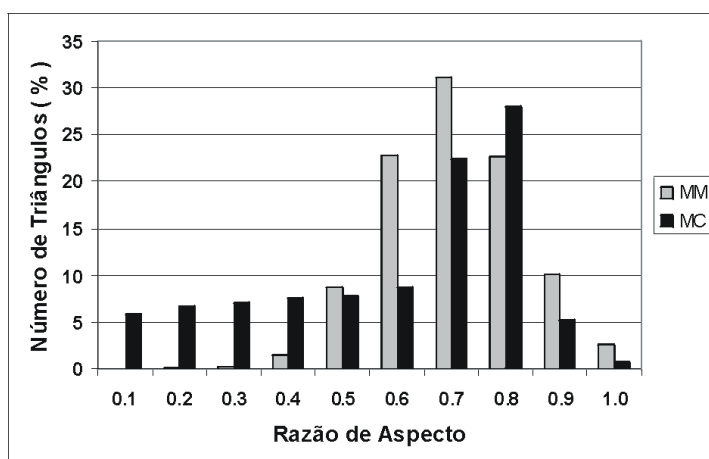


Figura 7.15: Razão de aspecto: multi-resolução (MM) e marching cubes (MC).

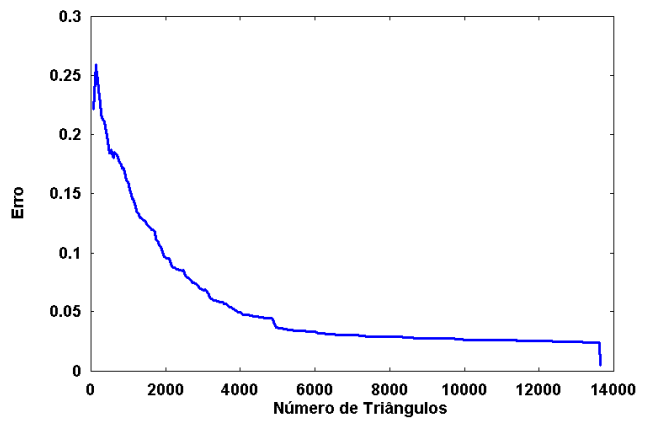
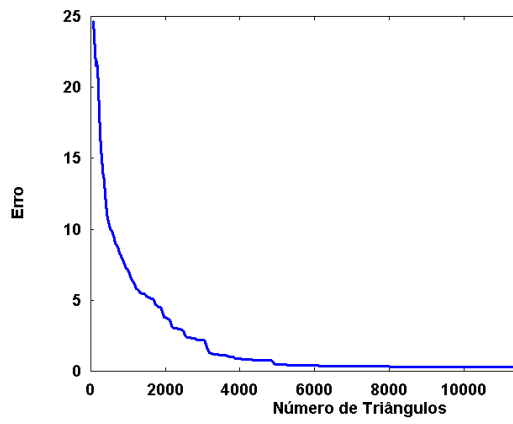


Figura 7.16: Gráfico do erro $\epsilon_{arestas}$. Figura 7.17: Gráfico do erro $\epsilon_{normais}$.