

Simplificação de Malhas de Triângulos 3D utilizando Decimação por Quadrics

Autor: Antônio Vasconcellos Chaves

E-mail: achaves@inf.puc-rio.br

Introdução

A simplificação de malhas de triângulos é uma técnica essencial em computação gráfica, aplicada em diversas áreas como renderização em tempo real, simulações científicas, impressão 3D e transmissão de dados em redes. Seu objetivo é reduzir o número de triângulos que compõem uma malha tridimensional, mantendo o mais fielmente possível a geometria original. Essa redução é fundamental para otimizar a performance de aplicações que lidam com grandes modelos 3D sem comprometer a qualidade visual ou os resultados das simulações.

Objetivo Principal

Este trabalho é uma prova de conceito e demonstração da aplicação de simplificação de malhas 3D em um modelo destinado à impressão 3D. O objetivo é reduzir a complexidade geométrica para deixar o modelo mais leve e, conseqüentemente, facilitar o processamento em dispositivos de menor capacidade computacional, mantendo a qualidade necessária para a impressão.

O modelo escolhido é um design de código aberto amplamente utilizado na comunidade maker para impressão 3D, representando um objeto decorativo com detalhes complexos.

Desenvolvimento/Pesquisa

Escolha do Modelo

O modelo utilizado foi obtido de uma plataforma open-source popular (por exemplo, Thingiverse), representando uma peça decorativa projetada para impressão 3D. A escolha se deu pela complexidade inicial do modelo, com 594.722 triângulos, o que permite avaliar a eficiência do algoritmo em simplificações agressivas e leves. Abaixo está um placeholder para a imagem do modelo original:

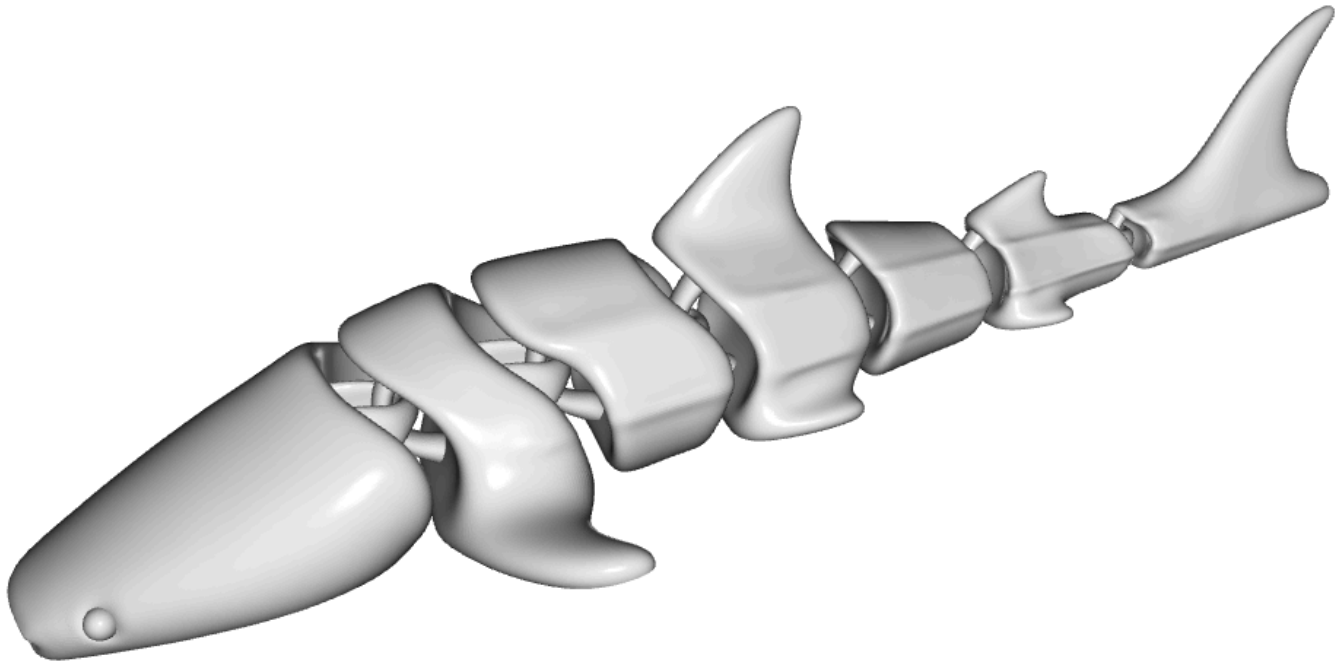


Figura 1: Modelo original utilizado no experimento.

Métodos

O algoritmo de Decimação por Quadrics foi utilizado devido à sua eficiência em preservar a forma geral da malha. Ele utiliza uma representação matricial para minimizar a distância entre os triângulos originais e os triângulos resultantes, realizando a fusão de vértices estrategicamente para reduzir o número de triângulos.

Nos experimentos, cada malha foi simplificada para três níveis distintos: 25%, 50% e 75% do número de triângulos originais mantidos. Para cada nível, foram calculadas:

- **Número de triângulos antes e depois da simplificação.**
- **Erro geométrico médio:** a distância média entre os pontos da malha simplificada e os da malha original.

Ferramentas

A biblioteca **Open3D** foi utilizada para realizar a simplificação das malhas e o cálculo de métricas. O formato STL foi escolhido devido à sua popularidade em aplicações industriais e facilidade de manipulação. A escolha do Open3D se deu por sua robustez em lidar com malhas de alta densidade e por oferecer métodos nativos para simplificação e visualização de malhas.

Procedimentos

1. **Leitura das malhas:** Carregaram-se modelos 3D no formato STL.
2. **Simplificação:** Aplicou-se o algoritmo de Decimação por Quadrics para reduzir os triângulos em diferentes níveis.
3. **Cálculo de métricas:**
 - O número de triângulos foi registrado antes e após cada simplificação.
 - A métrica de erro geométrico médio foi obtida convertendo as malhas em nuvens de pontos e comparando-as.
4. **Visualização:** As malhas simplificadas foram analisadas para avaliar o impacto visual da redução. Imagens das malhas antes e depois da simplificação foram geradas:

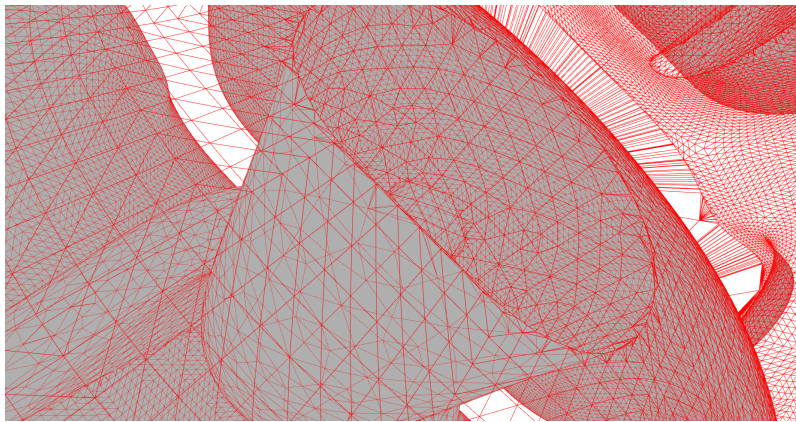


Figura 2: Modelo original para comparação.

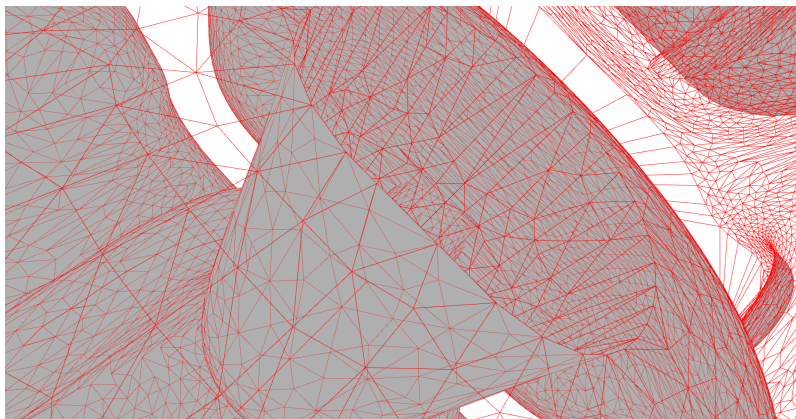


Figura 3: Modelo simplificado com 25% dos triângulos mantidos.

Análise dos Resultados

Resultados Obtidos

Os resultados estão resumidos na tabela abaixo:

Nível de Simplificação	Triângulos Originais	Triângulos Simplificados	Erro Geométrico Médio
25%	594722	148680	0.698427
50%	594722	297360	0.683599
75%	594722	446040	0.652277

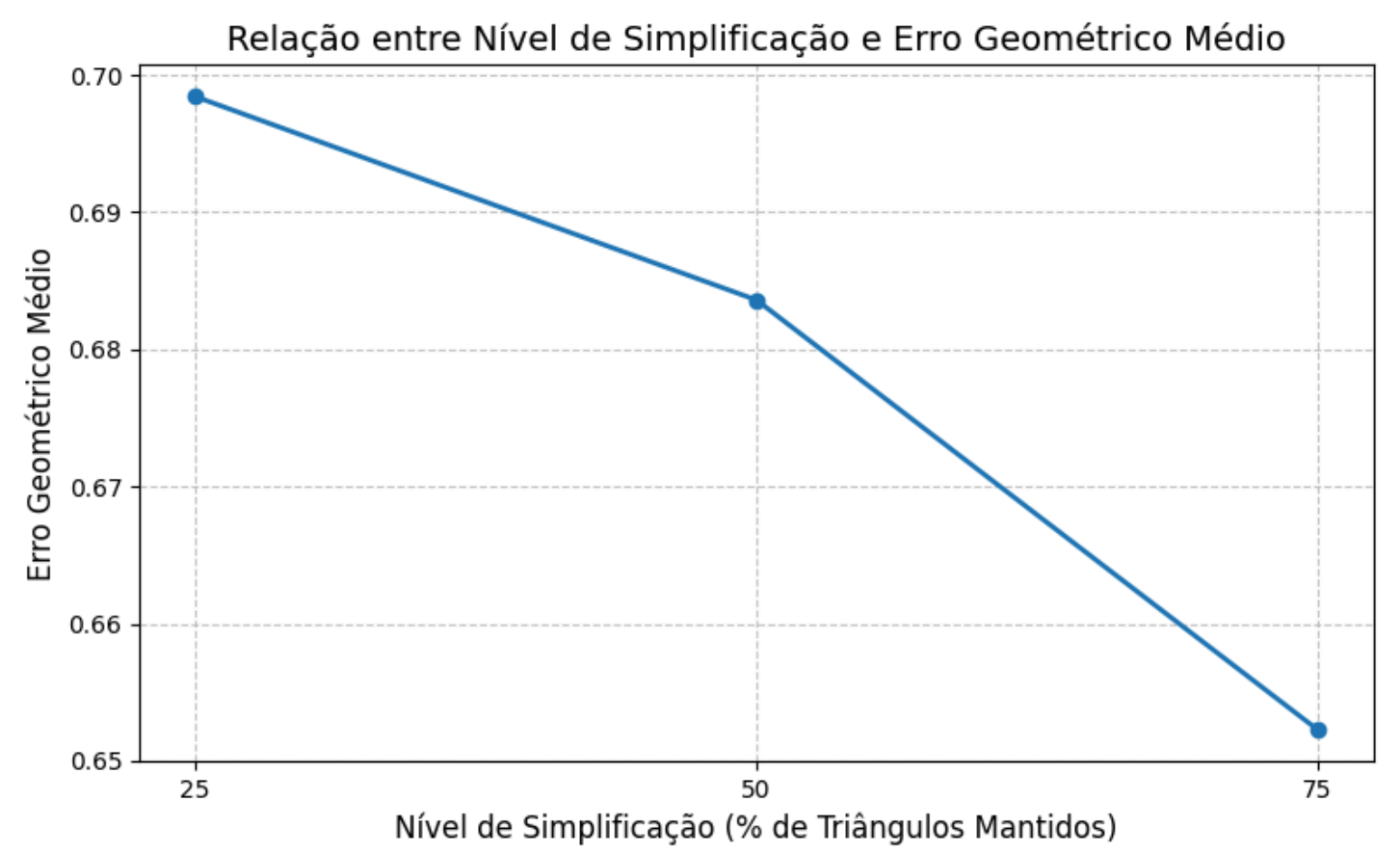


Figura 4: Relação entre o nível de simplificação e o erro geométrico médio.

Discussão

Os dados indicam que:

- **Número de triângulos:** A redução segue os níveis esperados, com 75% dos triângulos removidos para a simplificação mais agressiva (25% mantidos).
- **Erro geométrico médio:** O erro aumenta conforme mais triângulos são removidos, refletindo a perda de detalhes geométricos. Por exemplo, a simplificação de 25% gerou um erro maior (0.698) em comparação com 75% (0.652).

Além disso, a análise visual revelou que a simplificação mais agressiva removeu detalhes significativos do modelo, tornando-o menos adequado para aplicações decorativas. Por outro lado, a simplificação de 75% manteve a maior parte dos detalhes, sendo ideal para preservar a estética enquanto reduz a complexidade computacional.

Esses resultados confirmam que a Decimação por Quadrics é eficaz em reduzir significativamente o número de triângulos, mantendo uma boa aproximação da geometria original. A simplificação mais leve (75%) é ideal para aplicações que demandam alta qualidade visual, enquanto simplificações mais agressivas (25%) podem ser usadas em cenários onde o desempenho é prioritário.

Agradecimentos e Licenciamento

O modelo 3D utilizado neste trabalho, "Stylish Flexi Shark", foi criado por Zentangle99 e está disponível na plataforma Thingiverse sob a licença Creative Commons - Attribution - Non-Commercial - No Derivatives. O link para o modelo é <https://www.thingiverse.com/thing:6828888>. Agradecemos ao autor por disponibilizar este recurso para estudos acadêmicos.

Conclusão

A simplificação de malhas por Decimação por Quadrics provou-se uma abordagem eficiente para balancear a redução de triângulos e a preservação da geometria. Os resultados mostraram que:

- Níveis mais leves de simplificação mantêm maior fidelidade à malha original.
- Simplificações mais agressivas oferecem ganhos significativos em desempenho, ao custo de maior perda geométrica.

Limitações incluem o uso de apenas um algoritmo para simplificação e uma única métrica de avaliação. Trabalhos futuros podem explorar algoritmos alternativos e incluir métricas perceptuais para melhor compreensão do impacto visual. Além disso, não foi possível realizar testes de tempo para o processamento das malhas simplificadas ou para a impressão 3D devido à falta do instrumental necessário. Testar esses aspectos seria uma análise interessante para complementar os resultados obtidos.

Código-Fonte e Repositório

O código-fonte desenvolvido para este trabalho, incluindo as implementações para a simplificação de malhas, os gráficos e os heatmaps, está disponível no seguinte repositório GitHub:

<https://github.com/antoniovchaves/INF2604-trabfinal>

O repositório inclui:

- Código Python completo.
- Instruções para instalação e execução no arquivo `README.md`.
- Exemplos de arquivos STL utilizados nos experimentos (não modificados).

Referências

- Garland, M., & Heckbert, P. S. (1997). Surface Simplification Using Quadric Error Metrics. *Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*.
- Open3D Documentation: <https://www.open3d.org>
- Schroeder, W., Zarge, J., & Lorensen, W. (1992). Decimation of Triangle Meshes. *Computer Graphics (ACM)*.