

7

Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo apresentaremos alguns resultados obtidos com a implementação das CHE e da CHF. Em seguida faremos algumas conclusões e indicaremos os trabalhos futuros.

Resultados: A estrutura CHE foi implementada utilizando a linguagem de programação C+. Com o suporte da linguagem à herança virtual de classes, a implementação e o uso da CHE se tornam simples já que a mesma interface pode ser usada para uma função em todos os níveis da estrutura. Assim, cada nível da estrutura de dados é implementado em uma nova classe, que herda todas as características do nível anterior, adiciona novas funcionalidades à estrutura e otimiza a busca de informações topológicas.

A seguir, mostraremos alguns exemplos de superfícies representadas por diferentes níveis da CHE. Calcularemos o custo de armazenamento de cada uma delas no diferentes níveis da estrutura.

A figura 7.1 mostra uma malha de triângulos, do modelo do Stanford Bunny. Nesta versão, o modelo é composto por 100.000 vértices e 199.322 triângulos. Na tabela 7.1 mostramos o custo aproximado de armazenamento das informações topológicas do modelo do Stanford Bunny em cada nível da CHE.

	Custo em Bytes
CHE <i>Nível 0</i>	2.400.000
CHE <i>Nível 1</i>	4.800.000
CHE <i>Nível 2</i>	11.200.000
CHE <i>Nível 3</i>	11.200.000

Tabela 7.1: Custo de memória para representação do modelo Stanford Bunny.

A figura 7.2 mostra uma malha de triângulos, do modelo do Happy Buddha, também obtido no repositório de modelos 3D da universidade de Stanford, carregada com o nível 2 da CHE.

Como, neste nível, existe uma representação explícita das arestas da malha, a visualização em *wireframe* do modelo é bastante eficiente, pois cada aresta é desenhada apenas uma vez. Em estruturas baseadas apenas na

representação de triângulos e suas adjacências (como a *Corner-Table* ou a *Directed-Edges*) desenhamos cada aresta duas vezes, uma vez por triângulo incidente.

O modelo é composto por 543.652 vértices e 1.087.716 triângulos. Na tabela 7.2 mostramos o custo aproximado de armazenamento das informações topológicas do modelo do Happy Buddha em cada nível da CHE.

	Custo em Bytes
CHE <i>Nível 0</i>	13.047.648
CHE <i>Nível 1</i>	26.095.296
CHE <i>Nível 2</i>	60.889.024
CHE <i>Nível 3</i>	60.889.024

Tabela 7.2: Custo de memória para representação do modelo Happy Buddha.

A figura 7.3 mostra uma malha de triângulos, gerada a partir de um modelador CSG, e carregada com o nível 1 da CHE. O modelo é composto por 82.020 vértices e 164.036 triângulos. Na tabela 7.3 mostramos o custo aproximado de armazenamento das informações topológicas do modelo CSG em cada nível da CHE.

	Custo em Bytes
CHE <i>Nível 0</i>	1.968.480
CHE <i>Nível 1</i>	3.936.960
CHE <i>Nível 2</i>	9.186.240
CHE <i>Nível 3</i>	9.186.240

Tabela 7.3: Custo de memória para representação do modelo CSG.

A figura 7.4 mostra o modelo 3D da cabeça da estátua de David, obtido à partir de um scanner 3D, pelo projeto Michelangelo da universidade de Stanford. Neste exemplo estamos visualizando o modelo com o nível 3 da CHE.

Neste nível, existe uma representação explícita das curvas de bordo do modelo, que utilizamos neste exemplo para visualizar o bordo do pescoço da estátua de David.

Nesta versão, o modelo é composto por 50.329 vértices e 100.458 triângulos. Na tabela 7.4 mostramos o custo aproximado de armazenamento das informações topológicas do modelo David em cada nível da CHE.

	Custo em Bytes
CHE <i>Nível 0</i>	1.207.896
CHE <i>Nível 1</i>	2.415.792
CHE <i>Nível 2</i>	5.636.848
CHE <i>Nível 3</i>	5.636.852

Tabela 7.4: Custo de memória para representação do modelo David.

A figura 7.5 mostra uma malha de triângulos, do modelo do Dragon da universidade de Stanford. O modelo é composto por 437.645 vértices e 871.414 triângulos. Na tabela 7.2 mostramos o custo aproximado de armazenamento das informações topológicas do modelo do Dragon em cada nível da CHE.

	Custo em Bytes
CHE <i>Nível 0</i>	10.503.480
CHE <i>Nível 1</i>	21.006.960
CHE <i>Nível 2</i>	49.016.204
CHE <i>Nível 3</i>	49.016.204

Tabela 7.5: Custo de memória para representação do modelo Dragon.

Assim como na implementação da CHE, desenvolvemos a CHF em C++, e como havíamos dito, cada nível da estrutura foi criado utilizando o conceito de heranças virtuais da linguagem, com os níveis representados por classes hierarquicamente relacionadas.

A figura 7.6 mostra um modelo volumétrico do Stanford Bunny, com 48.810 vértices e 270.660 tetraedros, representado pelo nível 1 da CHF.

O custo aproximado de memória para armazenar as informações topológicas do bunny em cada um dos níveis da CHF está expresso na tabela 7.6.

	Custo de memória
CHF <i>Nível 0</i>	4.295.280
CHF <i>Nível 1</i>	8.590.560
CHF <i>Nível 2</i>	25.826.300
CHF <i>Nível 3</i>	26.202.332

Tabela 7.6: Custo de memória para representação do modelo Stanford Bunny volumétrico.

As figuras 7.7 e 7.8, ilustram o bunny representado pelo nível 2 da CHF. Com a estratégia de armazenar uma *half-face* incidente para cada vértice e aresta do modelo, e escolhendo tal *half-face* de forma que esta seja uma *half-face* de bordo no caso de arestas e vértices de bordo, temos uma classificação direta das células da malha como células de interior e células de bordo.

A figura 7.9 mostra a representação do bordo do modelo volumétrico do Stanford bunny, através da CHE no nível 3 da CHF.

A figura 7.10, mostra o modelo Hand com 28.793 vértices e 125.127 tetraedros, e um campo escalar definido nos vértices. O custo aproximado de armazenamento das informações topológicas do modelo Hand em cada um dos níveis da CHF estão descritos na tabela 7.7. A figura 7.11, mostra o modelo Blunto com 40.921 vértices e 187.318 tetraedros. O custo aproximado

	Custo de memória
CHF <i>Nível 0</i>	2.533.784
CHF <i>Nível 1</i>	5.067.568
CHF <i>Nível 2</i>	15.260.290
CHF <i>Nível 3</i>	15.989.506

Tabela 7.7: Custo de memória para representação do modelo Hand.

de armazenamento das informações topológicas do modelo Hand em cada um dos níveis da CHF estão descritos na tabela 7.8.

	Custo em Bytes
CHF <i>Nível 0</i>	3.601.048
CHF <i>Nível 1</i>	7.202.096
CHF <i>Nível 2</i>	21.688.130
CHF <i>Nível 3</i>	22.010.738

Tabela 7.8: Custo de memória para representação do modelo Blunto.

A figura 7.12, mostra o modelo Gargoyle com 48.553 vértices e 258.229 tetraedros. O custo aproximado de armazenamento das informações topológicas do modelo Gargoyle em cada um dos níveis da CHF estão descritos na tabela 7.9.

	Custo em Bytes
CHF <i>Nível 0</i>	4.272.664
CHF <i>Nível 1</i>	8.545.328
CHF <i>Nível 2</i>	25.733.090
CHF <i>Nível 3</i>	26.306.978

Tabela 7.9: Custo de memória para representação do modelo Gargoyle.

Por fim, nos gráficos 7.13, 7.14 temos um resumo do tempo de carregamento de cada modelo apresentando nesta seção, utilizando as estruturas de dados convenientes. Como não podia deixar de acontecer, quando carregamos os últimos níveis da CHE ou da CHF, precisamos de mais tempo de processamento para gerar as informações topológicas extras que são armazenadas. Entretanto, como discutimos durante a dissertação, depois de carregados os níveis mais altos da CHE e CHF podem responder questões topológicas de forma muito mais eficiente que nos primeiros níveis.

Conclusões: A principal contribuição deste trabalho é projetar e descrever a implementação de duas novas estruturas de dados topológicas bastante eficientes, chamadas de CHE e CHF. A CHE foi desenvolvida para representar superfícies com ou sem bordo, através de uma malha de triângulos, já a

CHF pode representar 3-variedades com ou sem bordo através de malhas de tetraedros.

As duas estruturas utilizam o conceito de escalabilidade para gerenciar o uso de memória e o tempo de processamento de maneira conveniente, ou seja, caso exista espaço suficiente em memória, a maior quantidade possível de informações topológicas é armazenada, e como consequência operações tais como as funções de resposta às informações topológicas podem ser calculadas de maneira mais eficiente. Na prática o conceito de escalabilidade pode ser obtido através do uso de heranças virtuais da linguagem de programação C++.

Tanto a CHE quanto a CHF são compostas de 4 níveis que trabalham de maneira diferente o balanceamento entre uso de memória e processamento, com isso ambas podem ser aplicadas a uma larga escala de aplicações.

Para título de comparação, descrevemos outras estruturas topológicas clássicas para superfícies e 3-variedades. Tanto a CHE quanto a CHF se mostraram bastante compactas e eficientes, já que em seus primeiros níveis o consumo de memória é equivalente ao consumo das estruturas mais compactas presentes na literatura e com mesma eficiência nos algoritmos para o cálculo das funções de resposta. Ainda, comparadas a estruturas mais complexas, como a *Handle-Edge* ou a *Directed-Edges* para superfícies, e a *Handle-Face* para 3-variedades, as estruturas de dados propostas apresentaram um ganho bastante significativo em termos de memória, sem a perda das características das estruturas originais.

A CHE e a CHF são extremamente simples de serem implementadas, e fáceis de serem usadas. Na prática a escolha do nível a ser utilizado pode ser feita de várias maneiras, entre elas:

- O programador pode escolher um determinado nível que será usado durante todo o programa.
- Um conjunto de regras podem ser definidas para que seja decidido dinamicamente qual nível apresenta um melhor gerenciamento de uso de memória e tempo de processamento.
- De acordo com a demanda de processamento, um novo nível pode ser temporariamente alocado, conseguindo uma melhora de processamento temporária, de acordo com uma certa tolerância pré definida.

Por fim, o uso de contêineres em lugar de arrays estáticos ou ponteiros faz com que a implementação da CHE e da CHF sejam bastante genéricas.

Trabalhos Futuros: Uma extensão natural deste trabalho é explorar ainda mais o conceito de escalabilidade, proposto para o desenvolvimento da CHE e da CHF.

Primeiramente pensamos em adicionar um novo nível às estruturas que possa tratar de maneira eficiente com não-variedades. Esta extensão pode ser feita de forma natural, se adotarmos a estratégia de armazenar, para cada vértice ou aresta não-variedade do modelo, uma *half-face* ou *half-edge* incidente em cada componente conexa de suas estrelas.

Desejamos também desenvolver uma generalização da estrutura para variedades de dimensão n . Seguindo a estratégia atual, poderíamos criar uma estrutura com 4 níveis que tivessem as seguintes características: no nível 0, representaríamos apenas os n -simplexos da n -variedade, no nível 1 representaríamos a relação de adjacência entre os n -simplexos, através de suas $(n-1)$ -faces, no nível 2 adicionaríamos uma representação explícita para as m -células da variedade, $m \leq n$ e por fim no nível 3, representaríamos a $(n-1)$ -variedade de bordo.

Outra generalização possível para as estruturas é o tratamento de malhas com células que não são simplexos.

Por fim, desejamos implementar operadores topológicos eficientes para a construção, desconstrução e modificação local de dimensão 2 e 3 como os de (Lopes 1996) para a *Handle-Edge* e a *Handle-Face*, baseados em operadores de alça e operadores, que tirem proveito das características da CHF.

Por fim, com os operadores estelares e de alça implementados podemos investigar a implementação de algoritmos de simplificação, como o de (Vieira 2003), e subdivisão nos diversos níveis tanto da CHE quanto da CHF.

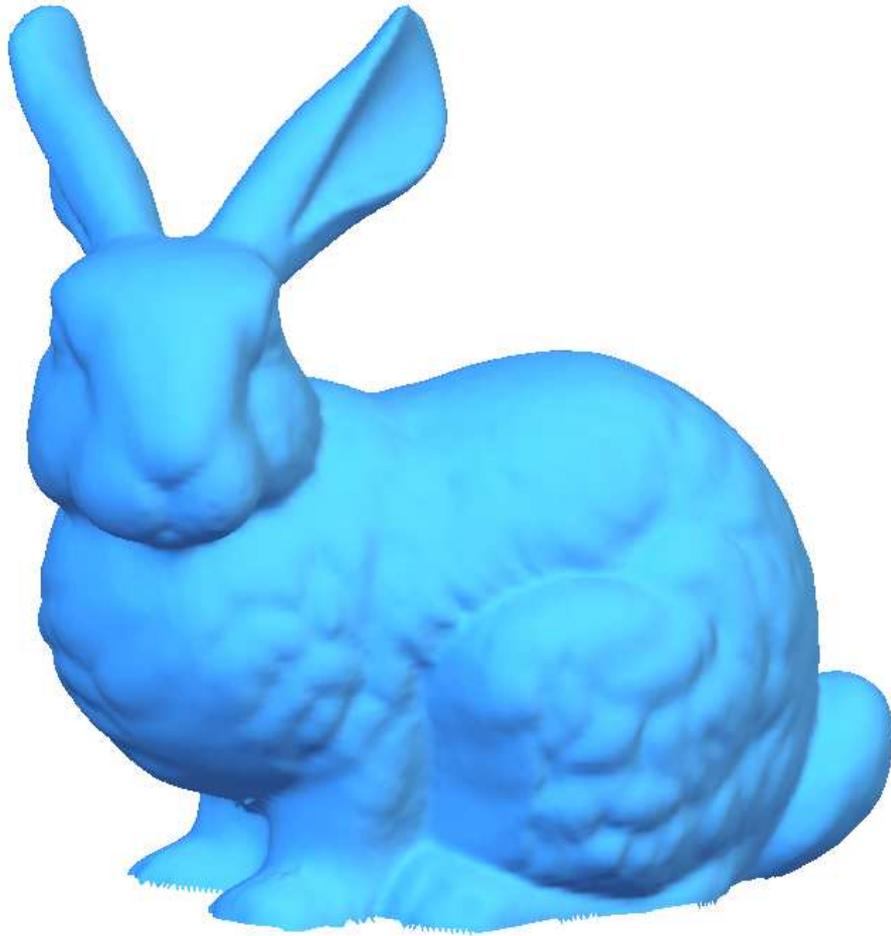


Figura 7.1: Stanford Bunny, 100.000 vértices, 199.322 triângulos, CHE nível 2.



Figura 7.2: Happy Buddha, 543.652 vértices, 1.087.716 triângulos, CHE nível2.

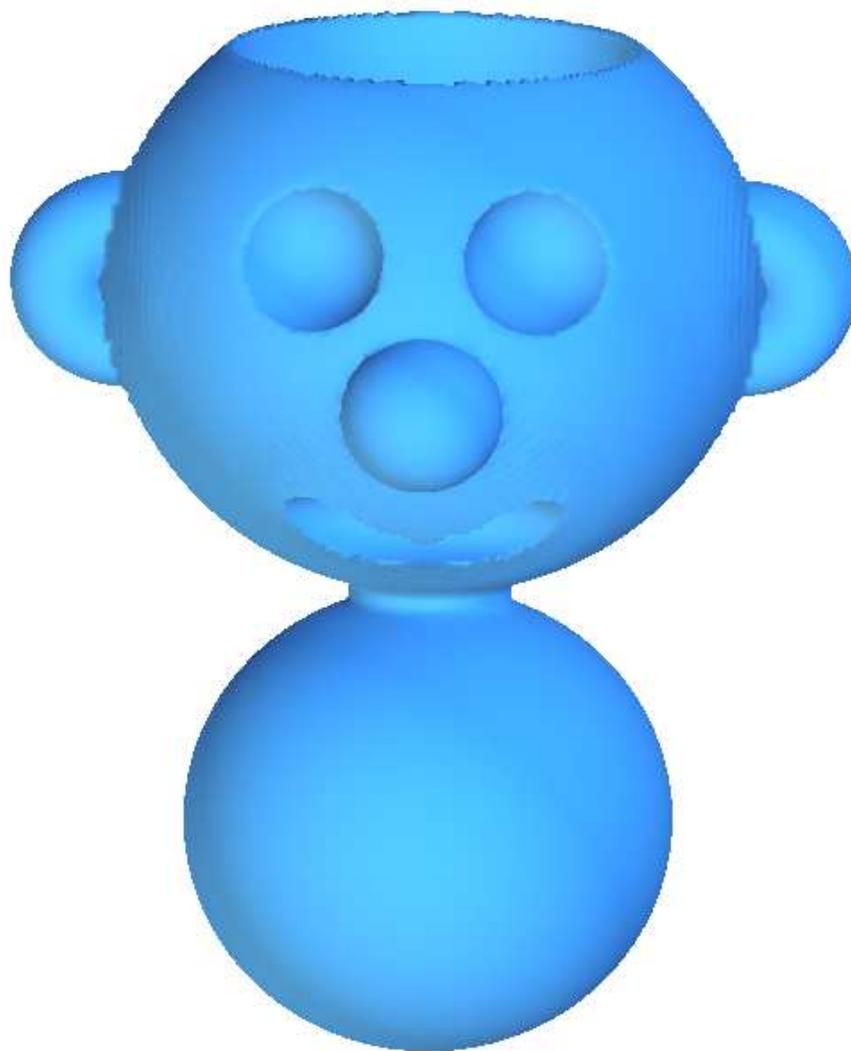


Figura 7.3: Modelo CSG, 82.020 vértices, 164.036 triângulos, CHE nível 1.



Figura 7.4: David, 50.329 vértices, 100.458 triângulos, CHE nível 3.



Figura 7.5: Dragon, 437.645 vértices, 871.414 triângulos, CHE nível 3.

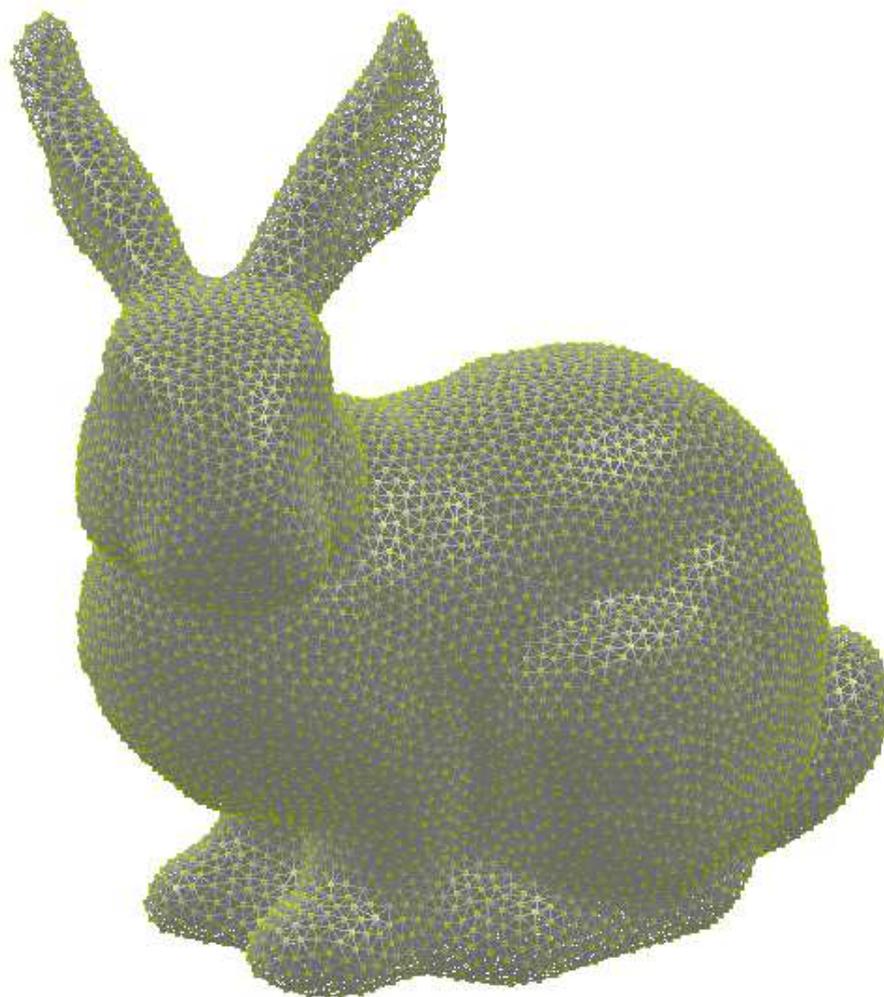


Figura 7.6: Stanford Bunny, 48.810 vértices, 273.660 tetraedros, CHF nível 1.

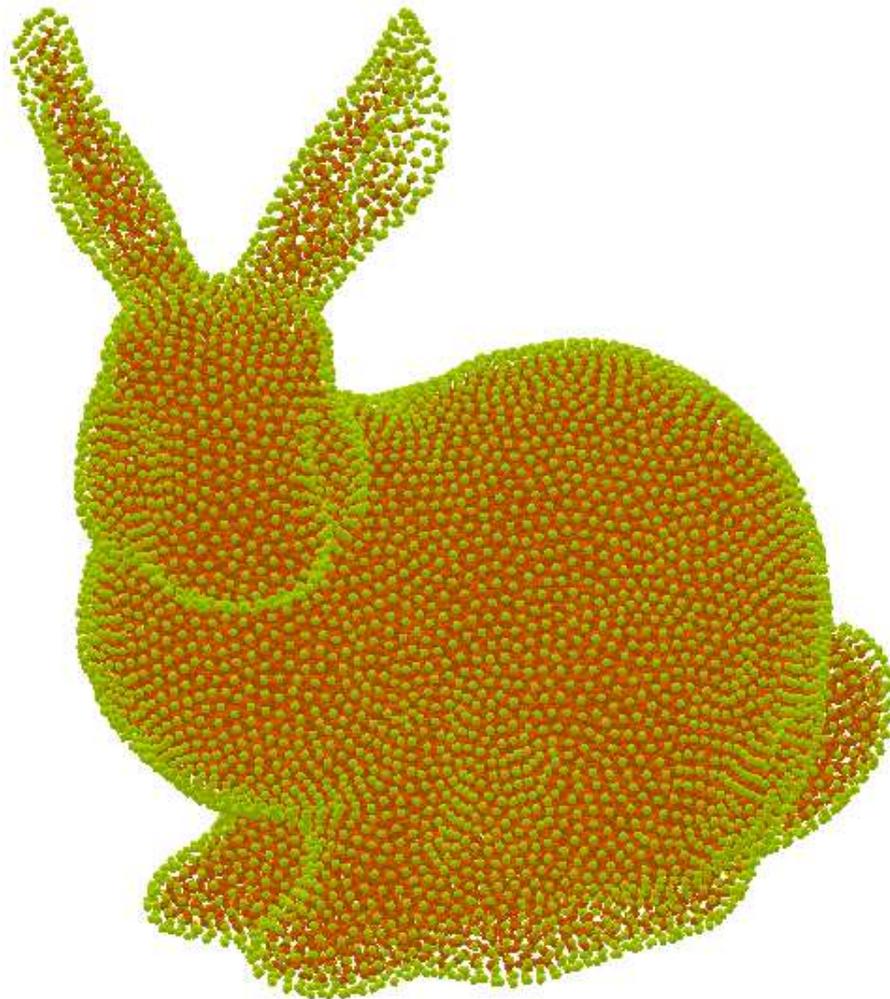


Figura 7.7: Stanford Bunny, classificação dos vértices CHF nível 2.

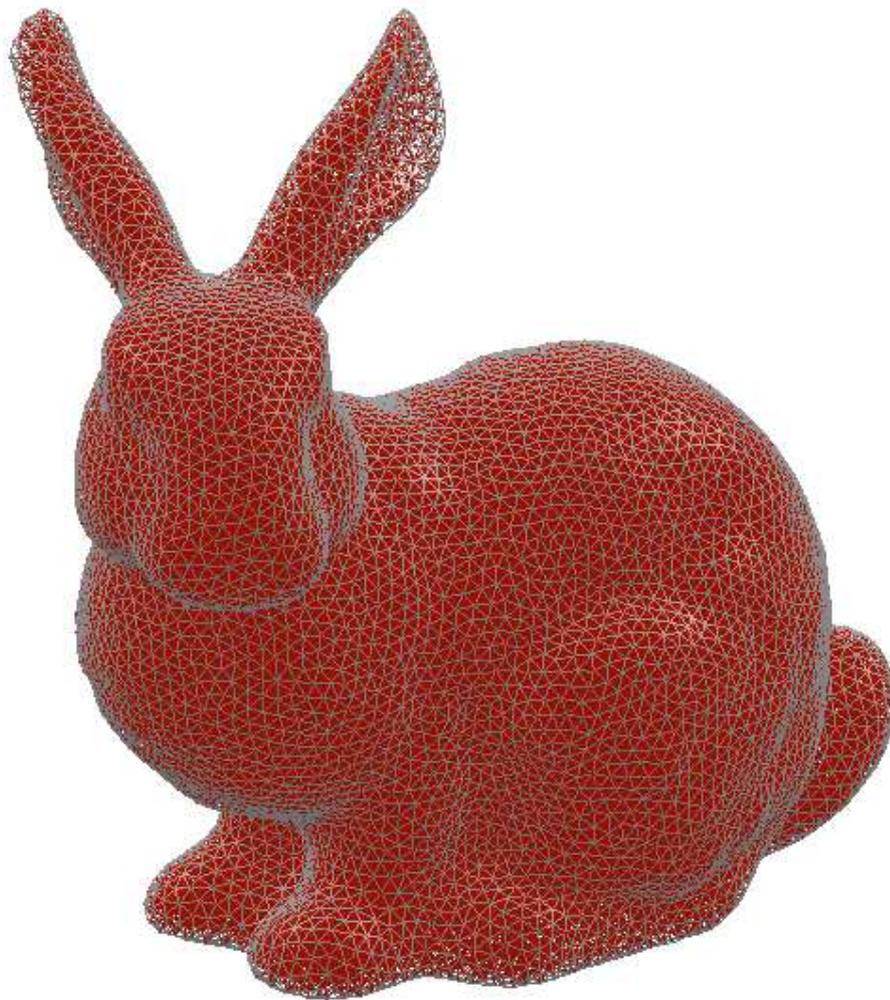


Figura 7.8: Stanford Bunny, classificação das arestas CHF nível 2.



Figura 7.9: Stanford Bunny, superfície de bordo CHF nível 3.

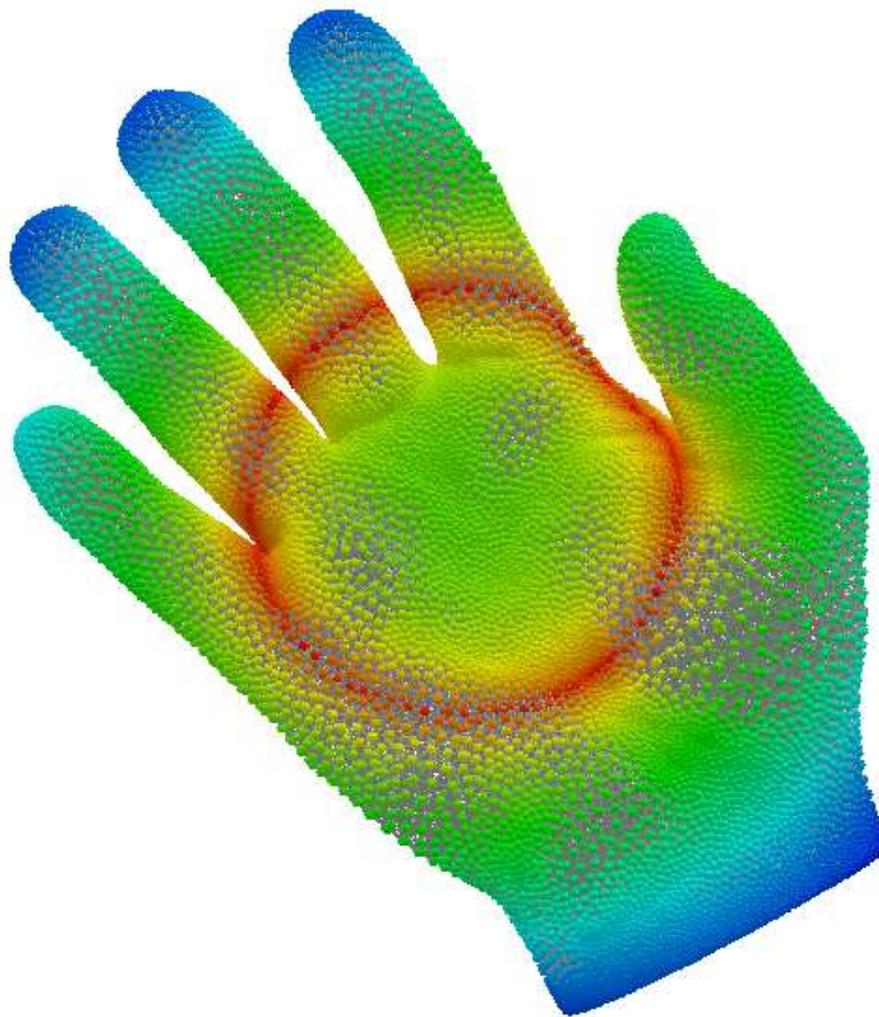


Figura 7.10: Hand, 28.793 vértices, 125.127 tetraedros, Campo Escalar.

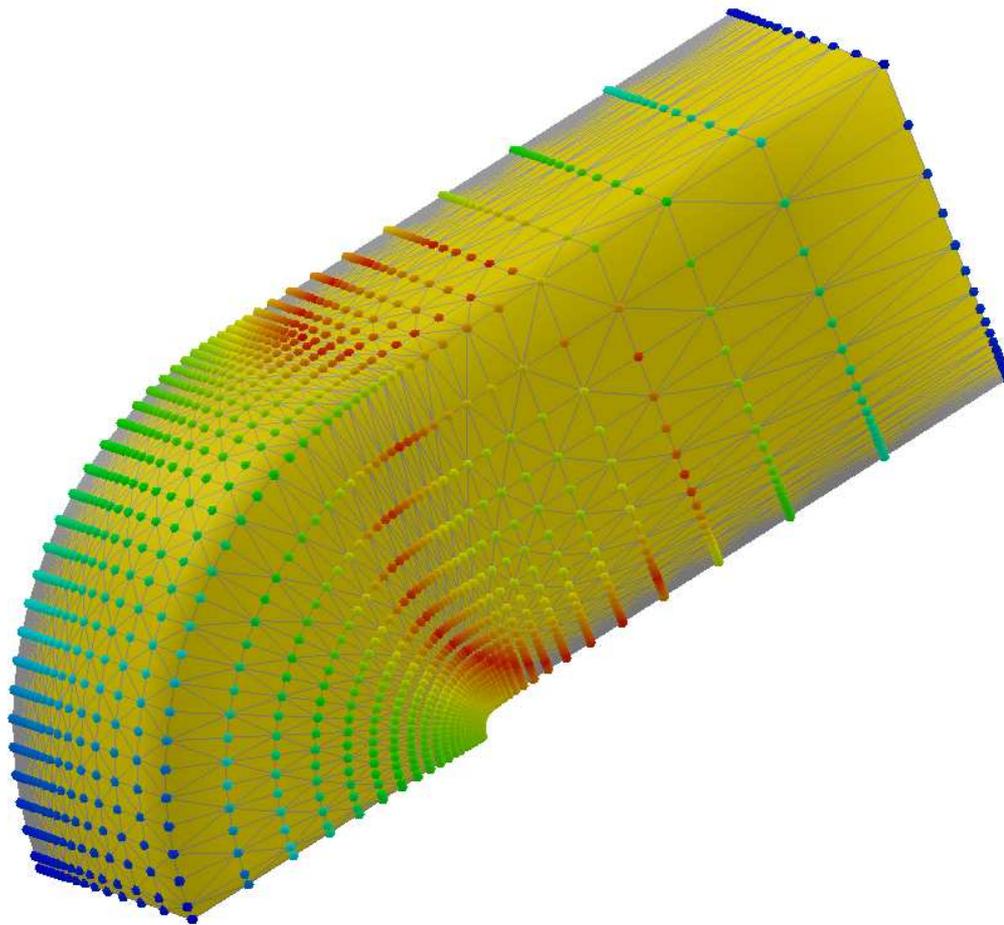


Figura 7.11: Blunto, 40.921 vértices, 187.318 tetraedros, CHF nível 3.



Figura 7.12: Gargoyle, 48.553 vértices, 258.229 tetraedros, CHF nível 3.

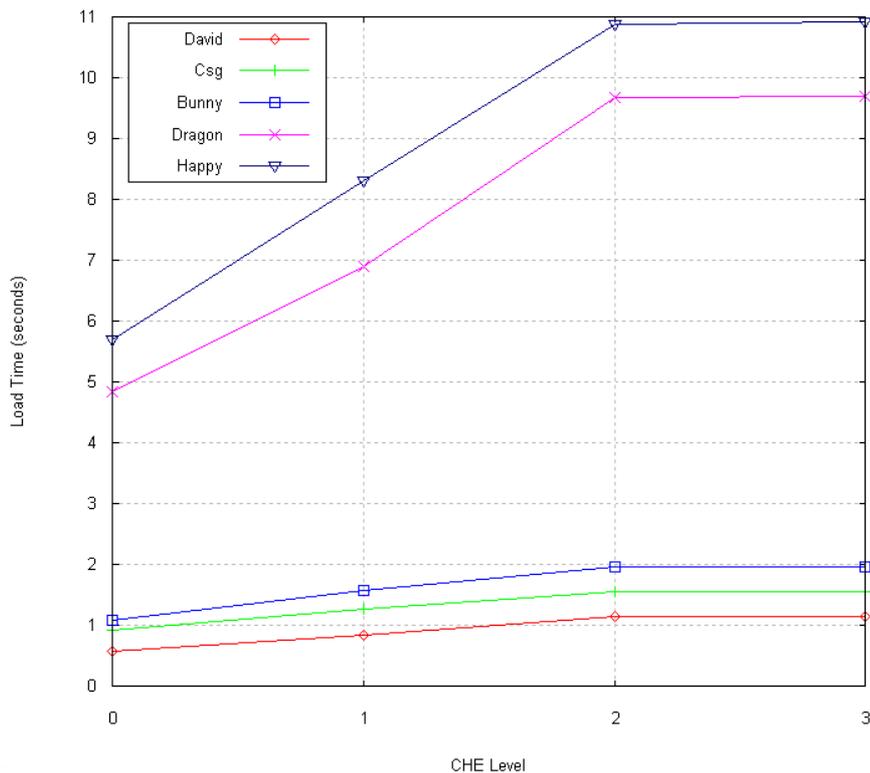


Figura 7.13: Tempo de carregamento dos níveis CHE

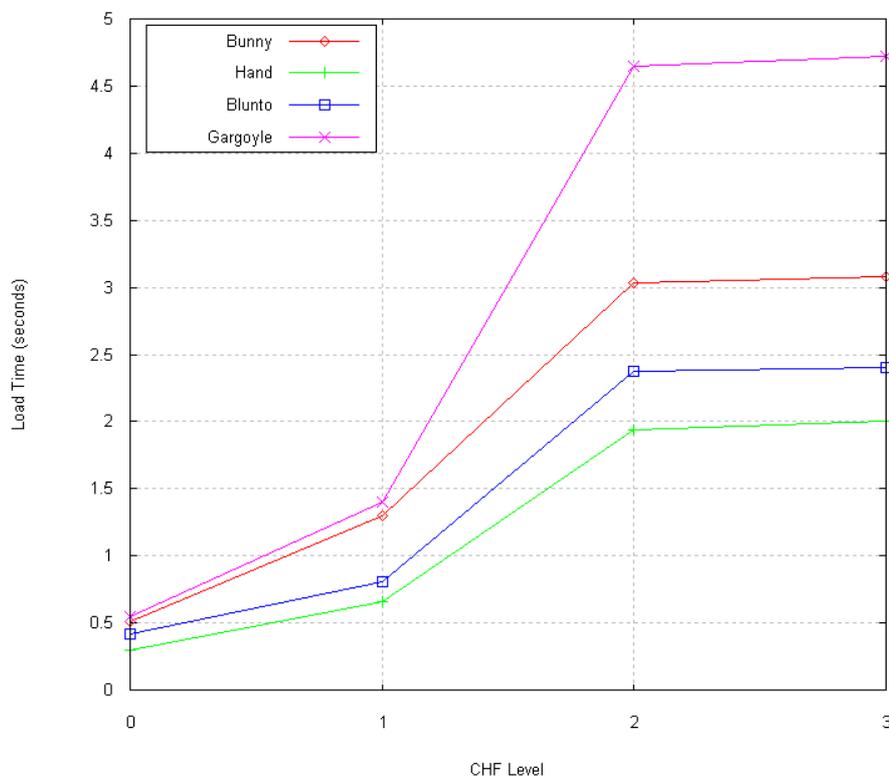


Figura 7.14: Tempo de carregamento dos níveis CHF