

Avaliação da Qualidade de Modelos Poligonais dos Pulmões: Uma Experiência Controlada com Utilizadores

Samuel Silva¹, Joaquim Madeira, Beatriz Sousa Santos, Carlos Ferreira*

*Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial – Universidade de Aveiro

Resumo – Malhas poligonais são muito usadas, em diferentes áreas, para representar a superfície de modelos: por exemplo, em Visualização Médica, permitem a representação de modelos de órgãos construídos a partir de dados de TAC. Quando essas malhas têm um número elevado de vértices e faces, pode não ser possível a manipulação interactiva dos modelos, sendo necessário aplicar um processo de simplificação para gerar uma sua versão menos complexa. Apesar de, nos últimos anos, terem sido desenvolvidos vários algoritmos de simplificação, é reduzido o número de trabalhos publicados comparando, para um mesmo modelo original e quanto à qualidade percebida pelos utilizadores, as malhas resultantes de diferentes processos de simplificação.

Este artigo descreve a preparação, a execução e alguns resultados de uma experiência controlada com utilizadores para comparação dos modelos obtidos pela aplicação, a modelos pulmonares, de três métodos de simplificação de malhas triangulares. Pretendia-se determinar se, para dois níveis de simplificação, os modelos resultantes de algum desses métodos apresentam aos utilizadores uma melhor qualidade relativa.

Palavras chave – Experiência controlada, Malhas triangulares, Simplificação, Qualidade.

I. INTRODUÇÃO

Malhas poligonais são habitualmente usadas, em diferentes áreas de aplicação (Visualização Médica [1], Indústria Automóvel [2], Herança Cultural [3]), para representar a superfície de modelos. Em alguns casos, quando as malhas são definidas por um número elevado de vértices e faces, podem ocorrer restrições à utilização desses modelos quer em termos de manipulação interactiva, por o tempo necessário para o *rendering* ser significativo, quer para a sua transmissão via rede, pelo volume de dados envolvido, quer mesmo para o seu armazenamento em dispositivos com menor espaço de memória, como um *PDA*. Uma possível solução para estes problemas passa pela aplicação de um processo de simplificação a essas malhas poligonais, sendo gerada uma sua versão menos complexa, i.e., com menor número de vértices e faces.

Vários algoritmos de simplificação de malhas poligonais têm vindo a ser publicados no últimos anos [4], e foram definidos alguns índices de qualidade que permitem quer aferir as características de uma malha (p.ex., suavidade), quer comparar uma malha poligonal simplificada com a corres-

pondente malha original [5]. Mas, apesar da crescente importância dada aos aspectos de qualidade e percepção em Computação Gráfica e Visualização [6], é reduzido o número de trabalhos publicados [7] comparando, para um mesmo modelo original, e quanto à qualidade percebida pelos utilizadores, as malhas resultantes de diferentes processos de simplificação. No entanto, esta é uma característica fundamental a ter em conta aquando da escolha do método de simplificação a usar.

Para comparar, relativamente à “*qualidade percebida*” e para vários níveis de simplificação, os modelos obtidos pela aplicação de métodos de simplificação a um conjunto de modelos originais, pode ser efectuada uma experiência controlada com utilizadores [8]. Esse procedimento compreende, inicialmente, o estabelecimento de uma hipótese e de um conjunto de variáveis a medir, a definição de uma metodologia e de um protocolo experimentais, a escolha de um grupo de participantes, e a selecção dos dados a serem recolhidos. Depois, é necessário aplicar o protocolo experimental e, posteriormente, proceder à análise estatística dos resultados, escolhendo os métodos apropriados.

Nas secções seguintes são detalhados os objectivos e as especificações da experiência planeada, é descrito o *software* desenvolvido para aplicação do protocolo experimental, são referidos os métodos estatísticos usados e apresentados alguns dos resultados obtidos.

II. OBJECTIVOS

Os objectivos principais do trabalho foram o estabelecimento de um protocolo experimental que permitisse a comparação de métodos de simplificação de modelos definidos por malhas poligonais, com base na “*qualidade percebida*” dos modelos simplificados, e a sua utilização para comparação de três métodos de simplificação num contexto em que a interacção com os modelos é fundamental, e suportada por *software* desenvolvido para esse fim. De início foi estabelecida uma hipótese simples: os modelos resultantes da aplicação de diferentes métodos de simplificação produzirão um efeito diferente nos observadores que, possivelmente, variará também com o nível (ou taxa) de simplificação. A primeira dificuldade encontrada prendeu-se com o planeamento da experiência: como poderia ser avaliado esse efeito nos observadores? Após algumas considerações, foi decidido usar, para esse fim, quer a *preferência* quer a *classificação* (“*rating*”) atribuídas pelos observadores aos modelos simplificados. Estas têm sido usadas nas ciências experimentais para obter a avaliação

¹ Financiado pela Unidade de Investigação 127/94 IEETA da Universidade de Aveiro

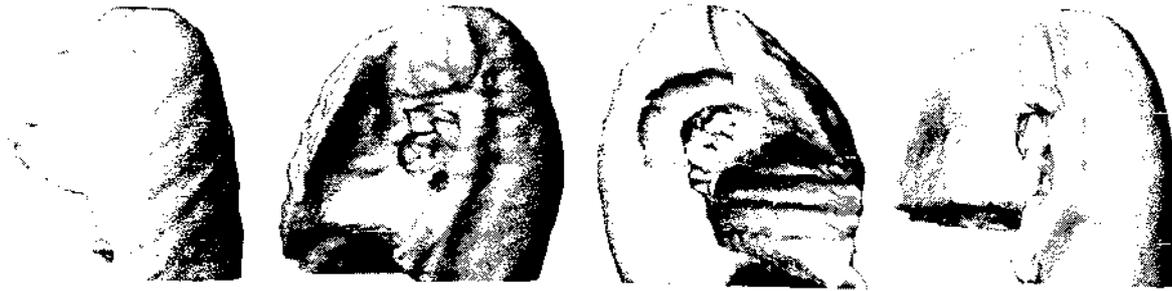


Figura 1 - Os quatro modelos pulmonares originais

relativa por parte dos participantes em experiências deste tipo [7]. Através de uma *classificação* os observadores associam a cada estímulo (i.e., modelo) um valor num dado intervalo e com um significado preciso. Com a indicação de uma *preferência* os observadores escolhem simplesmente o estímulo (i.e., o modelo) a que atribuem uma maior qualidade. Ambas representam decisões conscientes, e ambas demonstraram a sua utilidade em várias situações. Além do mais, a ordem de preferência e classificação são provavelmente os índices de fidelidade, i.e., semelhança visual com um original, mais adequados em processos de simplificação [7]. Foi também decidido registar os tempos de decisão e o número de interações (efectuadas para cada modelo), dado que pareciam estar relacionados com o grau de dificuldade encontrado pelos observadores durante o estabelecimento da ordem de preferência e a atribuição de classificações aos modelos simplificados.

Considerou-se também que poderiam ser eventualmente obtidas algumas conclusões gerais úteis, a partir da comparação dos resultados dos vários métodos de simplificação, e mesmo verificado se o efeito nos observadores resulta não apenas do método de simplificação considerado mas também de outros factores, como, por exemplo, o nível de simplificação. Assim, além da aplicação de três métodos de simplificação distintos, foi decidido usar dois níveis de simplificação (20% e 50%).

Na experiência foram usados modelos de pulmões, inicialmente gerados a partir de contornos segmentados de exames de TAC [9], usando um simples algoritmo de reconstrução e a estrutura de dados, para armazenamento de malhas poligonais, fornecida pela biblioteca *OpenMesh* [10]. Estes modelos originais foram, depois, simplificados usando três métodos distintos: dois deles são disponibilizados pela *OpenMesh* e usam quádras de erro [11], ou quádras de erro e a variação dos vectores normais às faces ("*normal flipping*") como critérios de simplificação; o terceiro (*QSlim* [11]) é também um método de simplificação baseado em quádras de erro, sendo muito usado e bastante referido na literatura [7].

III. EXPERIÊNCIA

Aquando do planeamento de uma experiência controlada, é necessário estabelecer as suas características principais [12]: hipótese e variáveis, participantes, conjunto de dados de teste, metodologia experimental, protocolo, conjunto de dados recolhidos e os métodos estatísticos a utilizar. Estes aspectos são descritos de seguida, no contexto da ex-

periência realizada.

A. Hipótese

A hipótese é uma previsão do resultado da experiência: é estabelecida em termos de variáveis, indicando se uma variação numa variável independente afectará (ou não) uma variável dependente. O objectivo da experiência é mostrar se esta previsão é correcta: isto é realizado demonstrando (ou não) que a hipótese nula, que afirma que alterações nas variáveis independentes não conduzem a alterações das variáveis dependentes, não se verifica.

No caso da nossa experiência, pretende-se mostrar especificamente se o método de simplificação e o nível de simplificação das malhas poligonais tiveram algum efeito nas respostas dos participantes, i.e., influenciaram as suas preferências e classificações quanto à qualidade dos modelos, os tempos de decisão e o número de interações efectuadas.

B. Variáveis

De acordo com a hipótese anterior, foram escolhidas as seguintes variáveis:

- variáveis independentes: método de simplificação (com três níveis: *QSlim*, *OpenMesh* e *OpenMesh* com "*normal flipping*") e nível de simplificação (com dois níveis: 20% e 50% do número de faces dos modelos originais);
- variáveis dependentes: preferências; classificações; tempos de decisão; número de interações.

Será desejável que cada modificação no valor de uma variável dependente se deva a uma modificação de uma variável independente. No entanto, outras variáveis, como o sexo, a idade e a experiência prévia dos participantes na manipulação de modelos de objectos 3D, poderão influenciar os resultados. Assim, esta informação foi usada para caracterizar o perfil de cada participante.

C. Participantes

O grupo de participantes foi composto por 32 estudantes: 18 da área de Engenharia e 14 de Radiologia, 20 homens e 12 mulheres, cujas idades variavam entre 18 e 55 anos; no entanto a maioria (21) tinha entre 18 e 25 anos de idade. Vinte dos participantes declararam ter alguma experiência na visualização/manipulação de modelos 3D.

Note-se que se pretendia também verificar se a familiaridade, que os estudantes de Radiologia têm com a

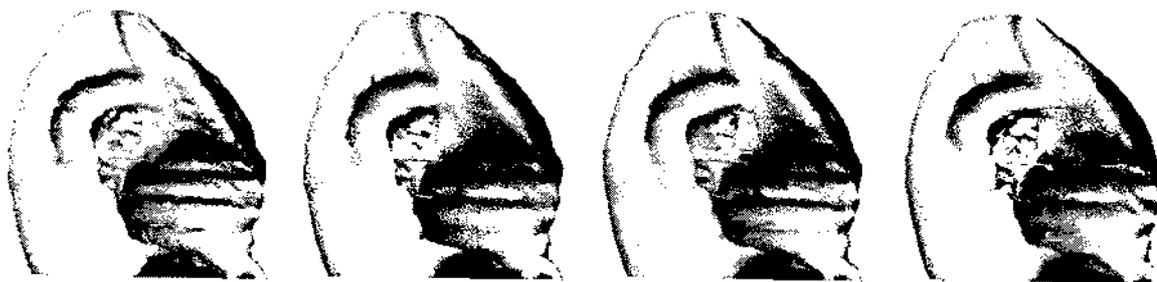


Figura 2 - Exemplo de um conjunto de modelos de teste

visualização de imagens, poderia influenciar o seu desempenho nesta experiência.

D. Conjuntos de Modelos de Teste

Os conjuntos de modelos de teste foram gerados a partir de um grupo de quatro modelos pulmonares originais (figura 1), construídos a partir de contornos segmentados em imagens de TAC. A tabela I apresenta o número de vértices e de faces definindo esses quatro modelos originais.

Para cada um dos modelos originais, foram estabelecidos dois níveis de simplificação: 20% e 50% do número original de faces. Para cada nível de simplificação, foram gerados três modelos, usando três processos diferentes: método *QSlim*, método de simplificação da biblioteca *OpenMesh*, e este último método usando também critérios de "normal flipping". Para a utilização de "normal flipping", foi previamente determinado o valor mínimo de variação angular, dos vectores normais associados a cada vértice de uma malha, necessário para a obtenção do nível de simplificação desejado, dado que a utilização habitual deste critério consiste em estabelecer a máxima variação admissível, e não o número de faces que se deseja obter no modelo simplificado.

Deste modo, foram obtidos oito conjuntos de modelos de teste, cada um deles contendo um modelo original e três versões simplificadas, para o mesmo nível de simplificação. A figura 2 apresenta um dos conjuntos de modelos de teste.

Tabela I

NÚMERO DE VÉRTICES E DE FACES DOS MODELOS ORIGINAIS

Modelo	# Vértices	# Faces
A - Pulmão 1	9.367	18.609
B - Pulmão 2	9.740	19.334
C - Pulmão 3	8.948	17.747
D - Pulmão 4	4.811	9.514

E. Metodologia Experimental

Foi escolhida uma metodologia experimental "dentro de grupos" (ou "repeated measures"), na qual cada participante é confrontado com cada um dos diferentes estímulos (i.e., modelos). Esta metodologia pode sofrer, para um mesmo participante, do efeito de transferência de aprendizagem, mas este pode ser atenuado se a ordem pela qual os estímulos são apresentados variar para cada um dos participantes. Esta metodologia é menos onerosa que uma meto-

dologia "entre grupos" (na qual a cada participante é apenas apresentado um estímulo), dado que é necessário um número mais reduzido de participantes e há também uma menor probabilidade da ocorrência de variações significativas entre participantes.

Atendendo à metodologia escolhida, e à possibilidade de os resultados experimentais serem influenciados por algumas variáveis externas (p.ex., efeitos de aprendizagem, nervosismo na primeira tarefa ou cansaço na última), foi decidido: primeiro, apresentar de modo aleatório, a cada participante, os conjuntos de modelos de teste e, segundo, para cada participante, a ordem de apresentação dos modelos de cada conjunto foi também escolhida aleatoriamente.

Há algumas condições externas que podem influenciar os resultados da experiência: condições de visualização, vistas pré-definidas dos modelos, etc. Para minimizar a sua influência, foram feitas as seguintes escolhas:

- Todos os modelos foram representados usando uma projecção paralela ortogonal e o método de sombreado de Gouraud.
- Cada participante poderia manipular os modelos, escolhendo a sua orientação e tamanho. Esta é considerada uma característica muito importante desta experiência particular, já que, quando se comparam modelos 3D, deverá ser permitida a sua comparação usando qualquer direcção de observação, orientação ou factor de escala considerados importantes pelo observador, e não apenas uma só ou um número muito reduzido de vistas pré-definidas.
- Durante a experiência, as condições de visualização (tamanho do ecrã, distância ao ecrã, iluminação da sala, etc.) foram semelhantes para todos os participantes.

Em resumo, trata-se de um *design* experimental 2×3 : são usados dois níveis e três métodos de simplificação, e cada um dos participantes foi confrontado com cada um dos modelos em todas as condições experimentais, embora por uma ordem diferente.

F. Protocolo

De início, foi dada a todos os participantes uma explicação sobre o contexto e os objectivos da experiência, bem como das tarefas que teriam de executar; depois foi-lhes pedida alguma informação caracterizando o seu perfil. A experiência, que foi dividida em duas fases distintas, iniciou-se de seguida. Note-se que, no início de cada fase, foram

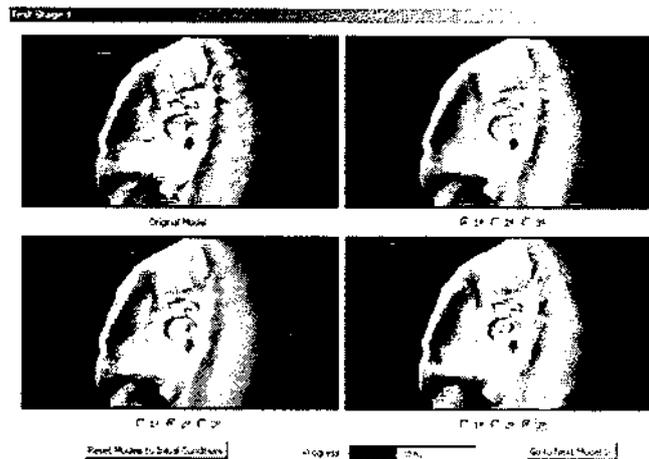


Figura 3 - A interface da primeira fase da experiência: um conjunto de modelos de teste (modelo original à esquerda em cima)

apresentados aos participantes conjuntos de modelos¹ para treino: puderam assim familiarizar-se com as tarefas e as operações de manipulação de modelos.

Na primeira fase (figura 3), foi sucessivamente apresentado, a cada participante, cada um dos oito conjuntos de modelos de teste, composto por quatro modelos: um modelo original e três suas versões simplificadas, correspondendo à aplicação dos três métodos, para um dado nível de simplificação. Cada participante tinha de ordenar os três modelos simplificados, de acordo com a qualidade relativa que atribuía a cada um. Apesar de ser pedido aos participantes que tentassem atribuir três classificações distintas (primeiro, segundo e terceiro lugar), permitiam-se situações de empate, para acolher casos em que a distinção entre modelos se revelasse muito difícil.

Na segunda fase (figura 4), foi sucessivamente apresentado, a cada participante, um par de modelos constituído por um dos modelos originais e por uma sua versão simplificada, retirada de um dos oito conjuntos de modelos de teste. Cada participante tinha de classificar usando uma escala de Likert [13] (1 (muito mau) a 5 (muito bom)) o modelo simplificado, por comparação com o original, novamente com base na qualidade percebida.

É de notar que, durante ambas as fases da experiência, os participantes puderam manipular os modelos, escolhendo a sua orientação e tamanho, existindo um mecanismo de sincronização que impedia a existência de discrepâncias (p.ex., de orientação) entre os modelos apresentados em cada instante. A aplicação desenvolvida para suportar este protocolo experimental será descrita na próxima secção.

G. Informação recolhida

De modo a estabelecer o perfil de cada participante, foi recolhida informação quanto ao sexo, à idade (18, 25]; [26, 35]; [36, 55]; > 55) e à sua familiaridade com a visualização e manipulação de modelos 3D.

Na primeira fase, foram registadas as preferências dos participantes (modelos simplificados em primeiro, segundo e terceiro lugares), a ordem de apresentação dos conjuntos de

modelos, o número de interações efectuadas com os modelos, bem como o tempo de decisão. Na segunda fase, foram registadas as classificações atribuídas a cada modelo simplificado, a ordem da sua apresentação, bem como o número de interações efectuadas e o tempo necessário para a classificação.

Após a experiência, foi dada a oportunidade aos participantes de efectuar alguns comentários e relatar eventuais dificuldades experimentadas.

IV. APLICAÇÃO DESENVOLVIDA

Para realização do protocolo experimental definido, foi desenvolvida uma aplicação, usando *Visual C++* e baseada nas bibliotecas *OpenMesh*, para definição e armazenamento das malhas poligonais, e *OpenGL*, para a visualização e o *rendering* dos modelos. Foi também usada a *Fox Toolkit* [14] para definição da interface e gestão da interação com os utilizadores. Nesta secção são apresentadas as principais características da aplicação desenvolvida.

A. Leitura, Armazenamento e Visualização de Modelos

Todos os modelos poligonais usados na experiência se encontram armazenados em disco, usando o formato OBJ, e são lidos usando as funcionalidades da biblioteca *OpenMesh*. Esta fornece uma estrutura de dados que permite facilmente representar as malhas poligonais em memória, e aceder aos seus componentes (vértices, arestas e faces) para efeitos de *rendering*. Os modelos são todos lidos de disco antes do início da experiência, de modo a reduzir os tempos de espera entre as diferentes etapas da experiência. A biblioteca *OpenGL* é usada para suportar a visualização dos modelos: para um melhor desempenho são construídas listas de desenho ("*display lists*") para cada modelo.

B. Interface

A *Fox Toolkit* apresenta um *widget* que permite a visualização e a manipulação de uma cena criada usando *OpenGL*. Este *widget* foi usado na aplicação para apresentar os modelos ao utilizador e para fornecer as funcionalidades de manipulação (*zoom*, *pan* e rotação).

¹Na fase de treino foram usados modelos pulmonares distintos dos modelos de teste.

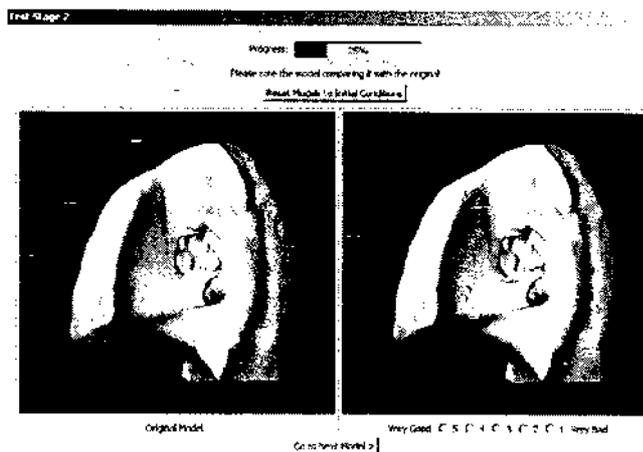


Figura 4 - A interface da segunda fase da experiência: modelo original (à esquerda) e modelo simplificado

A interação com os modelos possui uma característica particular: sempre que o utilizador aplica uma operação a um dos modelos, esta é também internamente aplicada a todos os outros modelos visíveis, mantendo-se assim os modelos sincronizados para evitar qualquer discrepância que possa desorientar o utilizador. Note-se que só o modelo directamente manipulado pelo utilizador é alterado em tempo-real, sendo a sincronização feita apenas no fim da operação pretendida, de modo a minimizar o esforço computacional e a permitir uma interação mais suave. Na interface existe um botão que permite repor todos os modelos nas condições iniciais de posição, orientação e tamanho.

Houve o cuidado de fornecer informação ao utilizador quanto ao desenrolar da experiência. Assim, sempre que uma operação mais demorada (p.ex., o carregamento dos modelos) é executada, apresenta-se ao utilizador uma barra de progresso, com a indicação de qual tarefa está a ser realizada e de quanto falta para o seu fim. Para minimizar a ocorrência de erros, o utilizador só pode passar à tarefa seguinte depois de dar uma resposta completa: atribuir uma ordem aos três modelos simplificados de cada conjunto de teste (primeira fase) ou uma classificação a cada modelo simplificado (segunda fase).

C. Registo de dados

Para cada participante na experiência, os dados registados em cada fase são armazenados em ficheiro e, após o fim da experiência, enviados automaticamente para um servidor. Assim, evita-se uma recolha manual de todos os ficheiros. Os dados são armazenados num formato textual, permitindo a sua fácil verificação, se necessário.

Foi também desenvolvida uma simples aplicação adicional para fazer o *parsing* dos ficheiros de dados de todas as experiências e reunir toda a informação num só ficheiro, com um formato que pode ser lido por uma folha de cálculo ou um programa de análise estatística de dados.

D. Experiência-Piloto

É de notar que foi previamente efectuada uma experiência-piloto de modo a testar o protocolo, o processo de registo dos dados da experiência e todo o *software* desenvol-

vido. Como resultado, foram feitos alguns melhoramentos: por exemplo, a adição de uma barra de progresso dando aos participantes uma indicação relativa de que percentagem da experiência já se encontra concluída. Isto revelou-se bastante importante, de modo particular na segunda fase da experiência, pois o grande número de situações de comparação e classificação de modelos que ocorre (há seis modelos simplificados para cada modelo original) induz em alguns utilizadores a sensação de que haverá um problema com a aplicação.

V. ANÁLISE DE RESULTADOS

O primeiro passo na análise dos resultados foi a realização de uma Análise Exploratória [15]. Obteve-se assim alguma informação geral sobre as relações estruturais, mostrando as amplitudes, assimetrias, localizações, *outliers*, etc. Foram também obtidas algumas indicações relativamente quer aos métodos estatísticos a usar para testar a hipótese original, quer mesmo a ideias sobre outras hipóteses. Os métodos estatísticos deverão ser os mais adequados para o tipo de resultados da experiência (tamanho, distribuição e natureza da amostra, escala de medida, etc.), e também para o tipo de tarefas executadas na experiência. Os dados registados relativamente à ordem de preferência e às classificações são ordinais; os tempos de decisão são quantitativos e o número de interações é medido numa escala quantitativa mas discreta e, portanto, foram usados diferentes métodos adequados a cada tipo de dados. A análise foi efectuada usando o *software* STATISTICA [16].

Da análise de resultados foram obtidas algumas conclusões gerais: os alunos de Radiologia apresentam (em geral) menores tempos de decisão que os alunos de Engenharia, e as mulheres efectuaram um menor número de interações com os modelos que os homens. De seguida apresentam-se os resultados principais associados a cada uma das fases da experiência. Uma descrição e uma análise mais detalhadas dos resultados obtidos é apresentada em [17].

A. Primeira Fase — Preferências

Para todos os modelos, os dados recolhidos relativos aos tempos de decisão e ao número de interações foram agru-

pados de acordo com o nível de simplificação dos modelos. O nível de simplificação influenciou os tempos de decisão: os participantes decidiram mais depressa para modelos com um nível de simplificação de 20%.

Para o nível de simplificação de 20% os participantes preferiram os modelos simplificados usando o método *QSlim* (maior número de primeiros lugares), depois os modelos simplificados usando o método da *OpenMesh* e, em terceiro lugar, os modelos simplificados usando o método anterior com "normal flipping". No entanto, esta tendência não é tão pronunciada para o nível de simplificação de 50%.

B. Segunda Fase — "Ratings"

Os resultados parecem indicar que o nível de simplificação tem uma influência real quer nos tempos de decisão, quer no número de interações registadas. Para o nível de simplificação de 20% os observadores decidiram mais depressa e efectuaram menos operações sobre os modelos.

Os observadores parecem ser sensíveis ao nível de simplificação, atribuindo menor classificação aos modelos com nível de simplificação de 20%, em particular aos simplificados usando o método da *OpenMesh* com "normal flipping". Para o nível de simplificação de 50% as classificações foram melhores, agora com ligeira vantagem para os modelos processados usando o método da *OpenMesh* com "normal flipping".

VI. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Foi descrita a preparação e a execução de uma experiência controlada com utilizadores para comparação dos modelos obtidos pela aplicação, a modelos pulmonares, de três métodos de simplificação de malhas triangulares.

Da análise dos dados recolhidos, parece poder concluir-se que os utilizadores são sensíveis quer ao método de simplificação usado, quer ao nível de simplificação dos modelos pulmonares. No entanto, deve salientar-se que os utilizadores parecem reagir de modo distinto para cada um dos dois níveis de simplificação: para 20%, o método *QSlim* parece ser o preferido, enquanto que, para 50%, é o método da biblioteca *OpenMesh* com "normal flipping" que obtém melhores resultados.

Apesar da metodologia empregue ter sido desenvolvida para esta experiência particular, é suficientemente genérica pra poder ser aplicada em outras experiências controladas de comparação de modelos 3D. Um dos objectivos de curto-prazo é a realização de uma experiência semelhante, com um maior número de participantes e usando modelos de diferentes tipos, para se tentar verificar se os resultados agora obtidos são generalizáveis, ou dependem da natureza dos modelos considerados. É também importante analisar se existe alguma correlação entre os resultados obtidos e alguns dos índices de qualidade habitualmente usados para classificar malhas poligonais [5].

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os participantes na experiência e, também, ao Prof. Augusto Silva, por ter permitido quer a realização da experiência nas suas aulas, quer a participação dos seus estudantes de Radiologia.

O primeiro autor agradece à Unidade de Investigação 127/94 IEETA, da Universidade de Aveiro, a Bolsa de Iniciação à Investigação que vem financiando as suas actividades.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Jackowski, M. Satter, e A. Goshtasby, "Approximating digital 3D shapes by rational gaussian surfaces", *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, vol. 9(1), pp. 56–69, 2003.
- [2] G. Sübner, G. Greiner, e S. Augustiniack, "Interactive examination of surface quality on car bodies", *Computer-Aided Design*, vol. 36, pp. 425–436, 2004.
- [3] G. Guidi, J. Beraldin, e C. Atzeni, "High-accuracy 3D modeling of cultural heritage: The digitizing of Donatello's "Maddalena"", *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 13(1), pp. 370–380, 2004.
- [4] D. Luebke, "A developer's survey of polygonal simplification algorithms", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 21(3), pp. 24–35, 2001.
- [5] M. Roy, S. Fofou, e F. Truchetet, "Mesh comparison using attribute deviation metric", *International Journal of Image and Graphics*, vol. 4(1), pp. 1–14, 2004.
- [6] C. O'Sullivan, S. Howlett, R. McDonnell, Y. Morvan, e K. O'Conor, "Perceptually adaptive graphics", em *EUROGRAPHICS 2004 - State of The Art Reports*, Grenoble, France, 2004, pp. 141–164.
- [7] B. Watson, A. Friedman, e A. McGaffey, "Measuring and predicting visual fidelity", em *Proc. SIGGRAPH 2001*, 2001, pp. 213–220.
- [8] J. Preece, Y. Rogers, H. Sharp, Benyon D., S. Holland, e T. Carey, *Human Computer Interaction*, Addison Wesley, 1994.
- [9] A. Silva, J. S. Silva, B. S. Santos, e C. Ferreira, "Fast pulmonary contour extraction in X-ray CT images, a methodology and quality assessment", em *Proc. SPIE 2001 vol 4321. Progress in Biomedical Optics and Imaging*, San Diego, 2001, vol. 26, pp. 216–224.
- [10] M. Botsch, S. Steinberg, S. Bischoff, e L. Kobbelt, "OpenMesh - a generic and efficient polygon mesh data structure", em *1st OpenSG Symp.*, Darmstadt, Alemanha, 2002.
- [11] M. Garland e P. Heckbert, "Surface simplification using quadric error metrics", em *Proc. SIGGRAPH 1997*, 1997, pp. 209–216.
- [12] A. Dix, J. Finlay, G. Abowd, e R. Beale, *Human Computer Interaction*, Prentice Hall, 3ª edição, 2004.
- [13] V. Barnett, *Sample Survey Principles and Methods*, Arnold Hodder, 3ª edição, 2003.
- [14] J. van der Zipp, "Fox toolkit", <http://www.fox-toolkit.org>, (online Mar/2005).
- [15] D. Hoaglin, E. Mosteller, e J. Tukey, *Understanding Robust and Exploratory Data Analysis*, John Wiley & Sons, 1983.
- [16] "STATISTICA 6.0", <http://www.statsoft.com>, (online Mar/2005).
- [17] S. Silva, B. S. Santos, J. Madeira, e C. Ferreira, "Comparing three methods for simplifying mesh models of the lungs: an observer test to assess perceived quality", em *Proc. SPIE 2005 vol 5749. Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment (in press)*, San Diego, 2005.