

Malhas Poligonais Baseadas em Regiões de Afinidade para Simulação de Tecidos

Maria Moutela
maria.moutela@gmail.com

Fernando Birra
fpb@di.fct.unl.pt

Departamento de Informática
Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa
Quinta da Torre, 2825-114 Caparica

Sumário

Quanto mais detalhada é a malha poligonal usada para simular tecidos virtuais, maior é o realismo, levando também a um processo de simulação de tecidos mais moroso. Usando um simulador de tecidos com detalhe dinâmico alivia-se o processamento inerente a malhas mais detalhadas.

Com este trabalho pretendeu-se criar um conjunto de funcionalidades que disponibilizem um sistema de conversão de malhas poligonais arbitrárias, modeladas de forma livre num programa de modelação, para malhas com um formato específico necessário ao simulador de tecidos com variação dinâmica de detalhe.

A característica mais importante do trabalho resulta da capacidade dos algoritmos de conversão desenvolvidos serem capazes de preservar as características individuais dos modelos geométricos, tais como vincos, mapeamento de texturas ou a mistura de diferentes propriedades materiais em zonas diferenciadas do modelo. A ideia principal consiste na determinação de regiões de polígonos afins, sobre o modelo original, nas quais se pode efectuar a conversão de forma livre. O sistema construído é flexível e aberto, ao ponto de poder ser estendido para diferentes critérios de afinidade, incluindo critérios a definir de futuro.

No final, analisam-se os resultados obtidos pelos algoritmos desenvolvidos recorrendo, quer à inspecção visual dos resultados, quer a uma comparação mais sistemática e metódica entre os modelos finais obtidos e o modelo original, usando para tal uma ferramenta que permite obter métricas relacionadas com a comparação directa entre malhas poligonais.

Palavras-chave

Malhas de polígonos, Conversão de malhas de polígonos, Superfícies de subdivisão, Maya Plug-ins, Modelação de tecidos.

1. INTRODUÇÃO

Temos assistido a um aumento de realismo na simulação de tecidos virtuais, impulsionado pelas exigências do mundo cinematográfico. Por um lado têm sido desenvolvidos modelos mais robustos e capazes de simular com maior realismo determinados aspectos tais como o contacto e a fricção [Bridson02] ou a passagem de regime entre a compressão no plano e a curvatura [Choi02]. Por outro, uma maior disponibilidade de poder de processamento tem permitido aumentar o detalhe das malhas usadas durante a simulação.

Em computação gráfica, as peças de vestuário são, normalmente, representadas sobre a forma de malhas poligonais. Quanto mais detalhada é a malha, maior é o realismo na representação do tecido. Contudo, o excesso de detalhe pode prejudicar a simulação, tornando-a demasiado lenta. Uma contribuição para a solução para deste

problema é a utilização de um simulador de tecidos com detalhe variável [Birra08], a qual permite uma simulação rápida dos tecidos preservando, ao mesmo tempo, um grau de detalhe suficiente para não prejudicar o realismo, detalhando-se apenas as áreas necessárias.

O simulador de tecidos com detalhe variável por nós utilizado funciona com malhas dum formato específico, as quais permitem modificar o detalhe sem causar perturbações na simulação. No entanto, da fase de modelação resultam, maioritariamente, malhas de triângulos e/ou quadriláteros, construídas de forma livre, com diferentes formatos. Deste modo, surge a necessidade de converter este tipo de malhas para o formato requerido pelo simulador.

No processo de construção de um *framework* que permite converter malhas poligonais arbitrárias para malhas com

o formato requerido pelo simulador atrás referido, surgiram diversos resultados importantes [Moutela09]:

- Generalização de dois algoritmos de conversão de malhas triangulares, por forma a poderem funcionar com malhas mistas, compostas por triângulos e quadriláteros.
- Proposta de uma técnica de conversão genérica, capaz de preservar as características distintivas da malha original, usando qualquer dos dois algoritmos de conversão atrás referidos. A ideia base da nossa técnica reside na identificação de regiões de polígonos afins.
- Análise visual e geométrica dos resultados produzidos pelo método de conversão, nas suas duas variantes, juntamente com a definição de critérios que permitem delimitar as distintas áreas de subdivisão das malhas.
- Desenvolvimento de *plug-ins* para a conversão de malhas poligonais modeladas no Maya [Autodesk08], em malhas com o formato requerido pelo simulador incluindo a necessária facilidade de exportação.

2. TRABALHO RELACIONADO

O estudo das vantagens que advêm da simulação de tecidos com detalhe variável é descrito em [Birra07], onde foi implementado um simulador, numa aplicação isolada, que utiliza malhas com detalhe variável.

Ao nível da variação do detalhe, o simulador referido usa o método de subdivisão 4-8 [Velho01] para subdividir e simplificar a malha de forma adaptativa.

Este método de subdivisão apenas pode ser aplicado a malhas de triângulos 4- k . As malhas 4- k são malhas formadas por triângulos agrupados, dois a dois, em quadriláteros (*triquads*), e por alguns triângulos isolados (os triângulos que não se conseguem agrupar porque não possuem um triângulo que possa ser seu par).

As malhas 4- k foram escolhidas por ser possível evitar o aparecimento de perturbações ao longo das operações de subdivisão e simplificação, efectuadas recorrendo ao método de subdivisão 4-8. Em [Birra08] descrevem-se os motivos desta escolha com mais detalhe, assim como uma comparação com outros métodos de subdivisão considerados.

Um dos algoritmos estudado para a conversão de malhas poligonais arbitrarias em malhas 4- k , desenvolvido em [Birra07] tem por base um método de subdivisão de malhas [Kobbelt00]. Este tipo de técnicas é muito usado em computação gráfica para suavizar o aspecto de uma superfície definida de uma forma pouco detalhada ou, inversamente, simplificar uma malha que não precise de apresentar um aspecto muito suave. O outro algoritmo que nos serviu de base foi o proposto por [Velho01].

A escolha destes dois algoritmos baseou-se num estudo preliminar em [Birra07], o qual demonstra a validade da utilização dos dois algoritmos quando aplicados na conversão de malhas triangulares. Cabendo ao trabalho aqui

descrito a sua generalização, para funcionarem com malhas mistas.

De modo a perceber qual das duas abordagens por nós desenvolvidas apresenta melhores resultados de conversão, utilizou-se o programa Polymeco [Silva07] o qual foi criado para analisar e comparar características de malhas poligonais com diferentes níveis de detalhe.

3. CONVERSÃO DE MALHAS DE POLIGONOS EM MALHAS 4-K

A conversão de malhas poligonais arbitrarias em malhas 4- k pode ser efectuada por diversos métodos. Foram estudados dois métodos distintos que apenas suportam malhas de triângulos, como ponto de partida para esta conversão: uma adaptação à subdivisão $\sqrt{3}$ uniforme [Kobbelt00] e o algoritmo proposto por Velho e Zorin [Velho01].

Com o intuito de se poderem converter malhas de triângulos, quadriláteros ou mistas (com triângulos e quadrados) em malhas 4- k , efectuaram-se algumas alterações nos dois algoritmos base.

3.1 Adaptação do método de subdivisão $\sqrt{3}$

O algoritmo de conversão inicial, baseado no método de subdivisão $\sqrt{3}$, aplica-se apenas a malhas de triângulos. Contudo a sua generalização para outros polígonos é trivial.

3.1.1 Algoritmo baseado na subdivisão $\sqrt{3}$ (malhas triangulares)

O algoritmo base, ilustrado na Figura 1, segue um conjunto de passos:

1 – Começando pela malha representada na Figura 1 a), insere-se um novo vértice no centro de cada triângulo, construindo uma ligação entre o novo vértice criado e os vértices do triângulo inicial, criando assim 3 novos triângulos, resultando na malha da Figura 1 b);

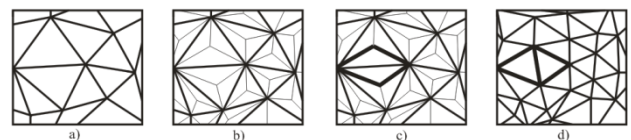


Figura 1 - Conversão usando o método de subdivisão $\sqrt{3}$ uniforme

2 – Na fase seguinte, foca-se a atenção nas arestas mais carregadas na Figura 1 b), que representam as arestas iniciais da malha, e agrupam-se os novos triângulos que se situam de cada lado destas arestas. Cada agrupamento de triângulos, que partilham a mesma aresta inicial da malha, forma um quadrilátero, como se pode ver a carregado na Figura 1 c).

3 – No último passo, troca-se a aresta interna dos blocos, formados no passo anterior (semelhantes ao representado a carregado na Figura 1 c)), pela sua diagonal oposta, resultando num par de triângulos destacados a carregado na Figura 1 d).

O resultado destes 3 passos é uma malha 4- k , visível na Figura 1 d).

3.1.2 Generalização para malhas arbitrárias

O algoritmo atrás descrito pode ser facilmente estendido para lidar com malhas de polígonos genéricos, sem qualquer limitação no número das suas arestas.

Para uma melhor compreensão do processo idealizado, segue-se a descrição da conversão com apenas dois polígonos, ilustrada pela Figura 2:

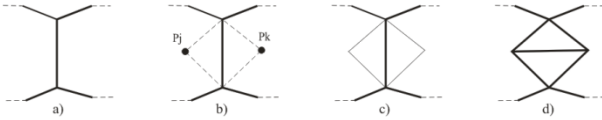


Figura 2 - Conversão genérica de polígonos com base no método $\sqrt{3}$

1 – O processo inicia-se com uma malha poligonal. Na Figura 2 a) temos dois polígonos que partilham uma aresta. Segue-se a inserção, ilustrada na Figura 2 b), de dois pontos P_j e P_k no centro de cada polígono e a respectiva ligação dos vértices do polígono ao novo ponto criado.

2 – Neste ponto temos uma malha triangular, onde o processo se desenrola tal como no algoritmo descrito anteriormente. O método agrupa os dois novos triângulos na Figura 2 c) que partilham a aresta inicial, formando um quadrilátero.

3 – Por fim troca-se a aresta interna do bloco formado pelos dois triângulos que partilham a mesma aresta inicial e obtém-se, na Figura 2 d), a malha poligonal convertida.

Neste estudo são tratadas particularmente malhas compostas por quadriláteros, triângulos ou mistas, embora o algoritmo não esteja a elas limitado. Na Figura 3 apresenta-se a evolução da conversão numa malha mista, salientando-se o processo em triângulos e quadriláteros.

Com esta abordagem o método consegue converter malhas poligonais arbitrárias em malhas 4-k baseando-se no algoritmo de subdivisão $\sqrt{3}$.

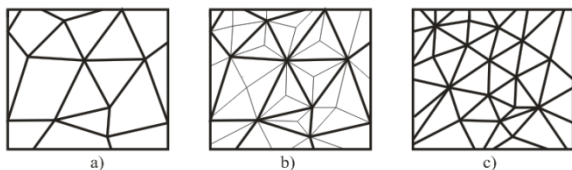


Figura 3 - Conversão de malha mista com o algoritmo adaptado e baseado na subdivisão $\sqrt{3}$

3.2 Adaptação do método de Velho e Zorin

O algoritmo proposto por Velho e Zorin, para gerar malhas 4-k, apenas se aplica a malhas triangulares. Para poder suportar, também, malhas de quadriláteros e mistas (com triângulos e quadriláteros), foi necessário proceder à sua modificação.

3.2.1 Algoritmo proposto por Velho e Zorin (malhas triangulares)

O algoritmo proposto por Velho e Zorin trata de malhas triangulares, exemplificadas na Figura 4, operando sobre a malha da seguinte forma:

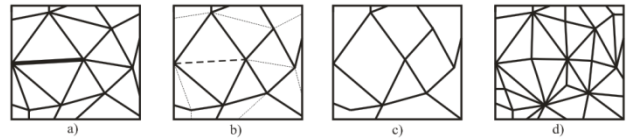


Figura 4 - Conversão de malhas de triângulos usando o algoritmo por Velho e Zorin

1 – Agrupam-se, dois a dois, os triângulos da malha inicial que partilhem uma aresta. A escolha das arestas que definem quais os triângulos a ser agrupados é efectuada com base nos comprimentos das arestas. O agrupamento é feito sucessivamente por ordem decrescente de comprimento da aresta partilhada, começando no par de triângulos que possui o maior comprimento de aresta partilhada, representado a carregado na Figura 4 a), até não se poderem realizar mais junções de pares de triângulos;

2 – As arestas interiores dos quadriláteros formados pelo agrupamento de pares de triângulos são identificadas na Figura 4 b) – linhas a tracejado – e removidas de acordo com o parâmetro de comprimento de arestas explicado no ponto 1;

3 – Após a remoção das arestas, podemos verificar, na Figura 4 c), que sobram os quadriláteros anteriormente formados e alguns triângulos isolados que não foram agrupados, tanto por fazerem parte da fronteira, logo não partilham nenhuma aresta com mais nenhum triângulo, como por os triângulos seus vizinhos já estarem agrupados.

4 – Segue-se a última fase, apresentada na Figura 4 d), que consiste na introdução de um vértice no centro dos quadriláteros e dos triângulos e, por fim, na ligação deste novo vértice aos vértices dos blocos existentes. Neste passo, cada quadrilátero origina quatro novos triângulos e cada triângulo origina três novos triângulos. Os triquads finais consistem no agrupamento dos dois triângulos que partilham as arestas presentes no início deste passo.

3.2.2 Generalização para malhas mistas

O método de conversão por nós proposto aproveita parte do algoritmo de conversão de malhas triangulares de Velho e Zorin para aplicar a conversão, também, a malhas de quadriláteros ou mistas (triângulos e quadriláteros).

Na Figura 5 ilustra-se o novo método de conversão proposto que se desenrola em três fases:

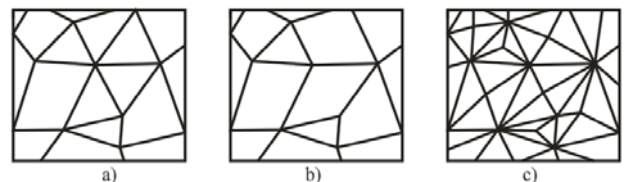


Figura 5 - Conversão de malha mista com base na adaptação do método de Velho e Zorin

1 – Na malha inicial, na Figura 5 a), o método começa por diferenciar triângulos de quadriláteros. Focando, por enquanto, a atenção nos triângulos da malha, aplica-se o algoritmo proposto por Velho e Zorin aos triângulos, removendo as arestas internas dos blocos formados por

pares de triângulos, de acordo com o critério de eliminação das arestas por ordem decrescente de comprimento. Neste ponto não se faz nenhuma alteração aos quadriláteros, ficando com uma malha composta por quadriláteros e ainda alguns triângulos isolados, exemplificada na Figura 5 b).

2 – Por fim, insere-se um vértice no centro dos polígonos na malha e liga-se este novo vértice aos vértices dos polígonos, resultando na Figura 5 c).

3 – Na fase final agrupam-se os triângulos, aos pares, partilhando cada par uma das arestas presentes no final do primeiro passo.

Com estas 3 fases consegue-se realizar a conversão de malhas triangulares, quadrangulares ou mistas, em malhas 4- k , através duma generalização do método de Velho e Zorin, criando-se dois novos triângulos por cada triângulo e quatro novos triângulos por cada quadrilátero.

3.3 Resultados preliminares

Com o intuito de verificar os resultados dos dois métodos de conversão propostos, implementaram-se dois plug-ins no programa de modelação Maya [Autodesk08], para efectuar alguns testes em objectos representando peças de vestuário.

Os resultados obtidos pelos dois métodos, nos diferentes modelos de teste, apresentaram a geometria e estrutura esperadas. No entanto, notaram-se alguns problemas nos métodos de conversão, como se pode ver no exemplo da Figura 6.

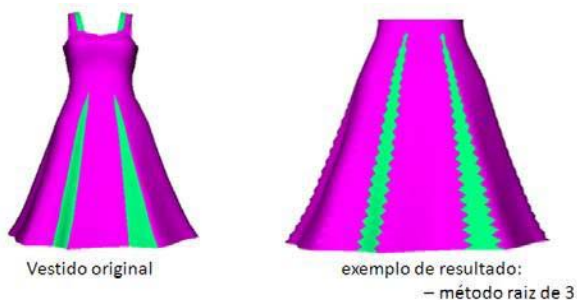


Figura 6 - Exemplo de resultados preliminares dos métodos de conversão

Os defeitos visíveis nos modelos obtidos consistiram em artefactos visuais, nomeadamente na descontinuidade do mapeamento da textura, e artefactos geométricos, que apresentam um deslocamento significativo da superfície final obtida, em relação à inicial.

Os problemas encontrados na triangulação dos tecidos demonstraram a necessidade de melhorar os métodos de conversão implementados. Para este efeito foi necessário apurar as causas que originaram as imperfeições das malhas convertidas.

3.3.1 Artefactos Visuais

Nalgumas peças de vestuário, as cores e texturas usadas são aplicadas por zonas ou regiões, as quais estão, algumas vezes, associadas ao uso de tipos de tecidos diferentes na composição da peça final.

Com os métodos de conversão implementados, ao mudar a configuração da triangulação poderá ocorrer a subdivi-

são de polígonos pertencentes ao limite daquelas regiões, surgindo o problema de se poderem, inadvertidamente, interpolar valores de regiões diferentes, perturbando a continuidade da cor/textura nas regiões afectadas. Como exemplo, a Figura 7 ilustra uma conversão de um tecido pelo método de Velho e Zorin, a qual provoca a descontinuidade da cor/textura no modelo. Este processo é semelhante no caso do método de $\sqrt{3}$.

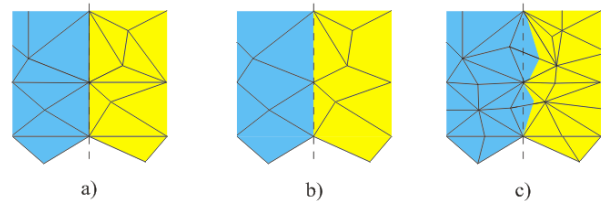


Figura 7 - Descontinuidades na cor/textura geradas pelo método Velho e Zorin

3.3.2 Artefactos Geométricos

Os artefactos geométricos encontrados nos modelos resultantes podem ser provocados, na conversão, devido à mudança do ângulo formado por dois polígonos adjacentes na malha. Acentuando-se o ângulo entre dois polígonos de um objecto criam-se artefactos, que representam vincos na malha, ou acentuam-se artefactos existentes, conforme se pode observar na Figura 8.

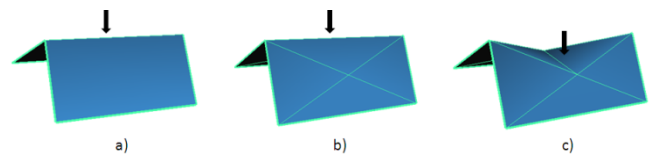


Figura 8 - Artefactos geométricos criados pelo método $\sqrt{3}$

Tal como na descontinuidade da textura, o problema poderá ser evitado dividindo a malha por regiões “mais planas”, definindo como limite das regiões as arestas que apresentam os ângulos mais acentuados da superfície da malha.

No método de $\sqrt{3}$, estes artefactos surgem da troca de arestas que é feita ao longo da conversão da malha. No método de Velho e Zorin os artefactos geométricos derivam do cálculo de novos vértices, no interior dos quadriláteros que resultaram da fusão de dois triângulos com grande variação na orientação das suas normais.

3.3.3 Conclusões

As imperfeições encontradas nos métodos de conversão propostos resultaram de uma falta de delimitação das regiões onde a conversão da malha poderia ser efectuada sem causar quaisquer artefactos.

Definindo zonas de subdivisão seguras – as denominadas regiões – as modificações feitas nos polígonos com cores muito diferentes, ou feitas onde as suas orientações apresentam uma maior disparidade, não seriam efectuadas, apresentando-se desta forma uma malha convertida com maior qualidade, no que toca à ausência de artefactos visuais e geométricos como os relatados.

4. TÉCNICA DE CONVERSÃO PROPOSTA

Nesta secção propõe-se uma técnica de conversão de malhas triangulares e quadrangulares em malhas 4- k através da subdivisão da malha por regiões. A técnica proposta tenta melhorar os resultados obtidos pelos dois métodos de conversão apresentados no capítulo anterior: o método de $\sqrt{3}$ e o método de Velho e Zorin.

A ideia base da nossa técnica consiste na identificação de regiões de polígonos afins. Estas regiões são compostas por conjuntos de polígonos vizinhos que possuem características semelhantes, como por exemplo continuidade no mapeamento da cor/textura. Para definir uma região podem ser usados critérios de afinidade, que verificam se dois polígonos vizinhos fazem parte da mesma região, no que ao critério em causa diz respeito.

O algoritmo proposto pretende delimitar áreas de subdivisão e aplicar os métodos de conversão propostos anteriormente apenas a zonas não problemáticas da malha, ao contrário do que se fez anteriormente (onde a conversão era aplicada a toda a malha).

Optou-se pela implementação de um algoritmo genérico que permite a utilização de um critério ou duma conjunção de critérios de afinidade, para definir regiões de subdivisão da superfície a converter.

A escolha de um algoritmo genérico possibilita o fácil acréscimo de novos critérios de afinidade, assim como a flexibilidade de se poderem misturar entre si, por forma a definir as regiões.

4.1 Algoritmo genérico proposto

O algoritmo genérico proposto aplica-se a malhas poligonais. Para iniciar o algoritmo, começa-se por identificar os polígonos da malha inicial e inseri-los na lista de polígonos por afectar (sem região atribuída).

Em termos de estruturas de dados principais, o algoritmo de determinação de regiões afins é composto por três listas distintas:

Lista de polígonos por afectar (**L**) – representa os polígonos que ainda não foram afectados a qualquer região, garantindo que os polígonos que se encontram nesta lista ainda não foram tratados. Os polígonos só são removidos desta lista quando já fizerem parte de uma região;

Lista de polígonos por processar/expandir da região corrente (**r**) – representa os polígonos que fazem parte da orla da região corrente. Nesta lista exploram-se os vizinhos do polígono corrente, se os vizinhos fizerem parte da mesma região inserem-se na lista. De seguida transfere-se o polígono corrente para a lista de polígonos da região corrente (**R**) e elimina-se da lista de polígonos por afectar (**L**), pois já foi afectado;

Lista de polígonos da região corrente (**R**) – representa a região a ser construída, nomeadamente os polígonos da região que já foram tratados, ou seja, já foram identificados como a ela pertencentes. No final da criação de cada região aplicam-se os métodos de conversão propostos anteriormente.

Segue-se o conjunto de procedimentos que definem o algoritmo proposto na Figura 9.

```

While L <=> nil {
  o empty (r); empty (R);
  o n = remove_head(L);
  o insert (n, r);

  o While r <=> nil {
    o c = remove_head(r);
    o insert (c, R);
    o For each m in neighbours (c)
      o If m ∈ L
        o Ifafim (m, c) {
          o insert (m, r); remove (m, L); }
    }
  }
}

```

Define uma nova região

Figura 9 - Algoritmo proposto

A Figura 10 representa o que acontece no algoritmo proposto, onde uma malha é dividida por regiões que são tratadas pelo método de conversão escolhido, finalizando-se com a junção das malhas convertidas numa malha final 4- k .

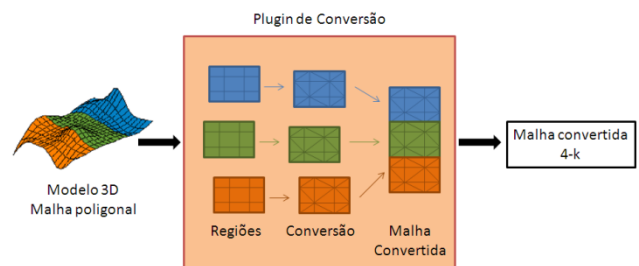


Figura 10 - Representação do algoritmo proposto

4.2 Critérios de afinidade e respectivos cenários de utilização

A técnica de conversão proposta permite definir a divisão de uma malha por regiões a partir de critérios de afinidade.

Os critérios de afinidade definem se dois polígonos vizinhos fazem parte da mesma região, esta verificação é feita através da comparação do polígono corrente com o polígono vizinho em estudo, sendo feita com o intuito de verificar se os dois polígonos satisfazem as condições para pertencerem à mesma região.

Nesta secção apresentam-se quatro exemplos de critérios de afinidade implementados:

Sempre – subdivide a malha no seu total, sem restrições, não delimita regiões e apresenta os mesmos resultado que os métodos de conversão inicialmente propostos (usado como referencia para comparações futuras).

Nunca – define cada polígono como uma região, deixando a configuração inicial da malha intacta e subdividindo apenas o interior de cada polígono.

ContinuidadeUV – define regiões de subdivisão através das coordenadas de textura dos modelos, agrupando em regiões os polígonos vizinhos que não causem descontinuidade no mapeamento da textura. Este critério é utilizado para controlar as subdivisões entre regiões com texturas completamente diferentes, evitando a criação de artefactos visuais na malha após a conversão.

Vincos – delimita as áreas de subdivisão através da imposição de um ângulo máximo entre dois polígonos vizinhos, agrupando em regiões os polígonos contíguos que respeitam o ângulo máximo de subdivisão. Neste critério

permite-se a passagem por argumento do ângulo desejado, havendo, por conveniência, um valor por omissão. Também se poderia ter definido, para o mesmo efeito, um critério que avaliasse a curvatura da superfície localmente, tendo em conta as dimensões dos triângulos envolvidos. Para efeitos de ilustração dos resultados, o critério, mais simples, baseado apenas no ângulo formado pelos dois polígonos serve perfeitamente.

Os resultados adiante apresentados foram conseguidos usando apenas subconjuntos destes quatro. No entanto, pelo carácter genérico da arquitectura implementada, é possível adicionar mais critérios de afinidade ao programa criado.

A adição de novos critérios de afinidade pode ser realizada, de forma simples, com a criação da função que determina a afinidade entre polígonos adjacentes. Após a sua programação bastará a sua adição ao vector de critérios que o programa tem à sua disposição para verificar quais foram invocados numa dada conversão.

Para criar funções que definem critérios de afinidade é necessário ter em atenção dois pontos:

- A função tem de ter quatro argumentos: a malha poligonal, o polígono corrente, o polígono vizinho em estudo e uma lista de argumentos (ver Figura 11).

A lista de argumentos pode ser vazia, visto que nem todos os critérios precisam de mais argumentos, no entanto, dada a estrutura genérica este argumento está sempre presente no cabeçalho da função. Esta lista é necessária em critérios como, por exemplo, o dos *vincos*, onde se pode passar como argumento o ângulo máximo permitido.

- A função tem de ser de carácter booleano e, para o bom funcionamento da conversão, deverá apenas retornar verdadeiro caso o polígono testado satisfaça o critério em causa.

```
bool sempre( MFnMesh& fnMesh, int poligono_corrente, int poligono_vizinho,
std::list<double>& argumentos)
{
    return true;
}
```

Figura 11 - Exemplo duma função de critério de afinidade

Para acrescentar critérios ao programa é disponibilizada uma classe, a classe *Util*. Desta forma permite-se estender os critérios de afinidade que definem uma região, de acordo com as necessidades requeridas pelo utilizador.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

A abordagem à análise de resultados foi a seguinte:

- Análise visual da técnica de conversão proposta utilizando os dois métodos com os diversos critérios de afinidade.
- Análise geométrica dos resultados da técnica de conversão proposta.

- Análise de um conjunto de estatísticas sobre os resultados da técnica de conversão.

As duas últimas análises foram feitas através do programa de análise de malhas poligonais Polymeco [Silva07], o qual permite, não só comparar malhas poligonais entre si, como também obter dados estatísticos relativos à qualidade de cada uma das malhas.

5.1 Análise Visual

A análise dos resultados visuais assenta na visualização do efeito que a técnica proposta teve nas malhas, usando os critérios de afinidade. Os métodos propostos inicialmente apresentavam algumas perturbações nas malhas resultantes, com esta análise pretendeu-se verificar se os defeitos foram corrigidos.

Os defeitos encontrados nos primeiros métodos de conversão implementados consistiram em: artefactos visuais e artefactos geométricos mais facilmente detectáveis ao longo da silhueta da malha. Os critérios de afinidade criados na técnica de conversão por regiões com vista a corrigir estes defeitos são, respectivamente: *continuidadeUV* e *vincos*. Utilizou-se o modelo da Figura 12 para verificar os resultados visuais da técnica de conversão proposta, comparativamente aos resultados dos métodos de conversão inicialmente implementados.

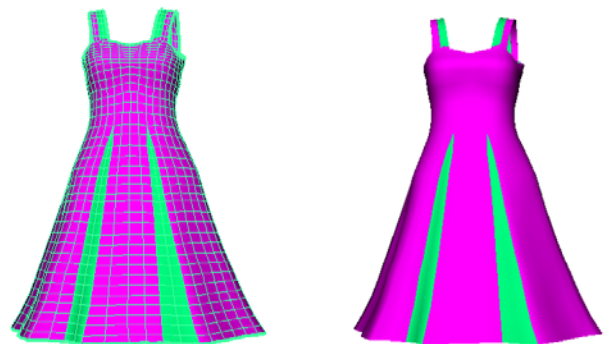


Figura 12 - Modelo do vestido analisado

Utilizando a técnica de conversão por regiões com o critério *continuidadeUV* accionado, conseguiram-se eliminar os defeitos encontrados ao nível dos artefactos visuais da malha, resultantes da modificação errada, constatável na Figura 6, das coordenadas de textura de alguns vértices.

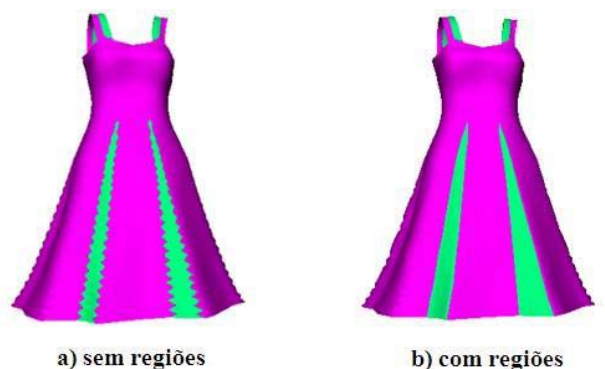


Figura 13 – Conversão pelo método $\sqrt{3}$ (*continuidadeUV*)

Na Figura 13 b) observa-se o sucesso do resultado da conversão com o método de $\sqrt{3}$ usando o critério *continuidadeUV*, por oposição ao resultado preliminar ilustrado na Figura 13 a). No entanto, a malha resultante continua a apresentar artefactos geométricos porque o critério desenvolvido a pensar neste problema, o critério de afinidade *vincos*, não foi aplicado no exemplo.

Para corrigir os artefactos geométricos aqui visíveis na silhueta da malha, invoca-se o critério de afinidade *vincos*. As malhas resultantes dos dois métodos de conversão, com o critério de afinidade *vincos*, eliminam os artefactos geométricos, mas apresentam artefactos visuais, visto que agora não foi utilizado o critério que corrige esse defeito – *continuidadeUV*. Por exemplo, na Figura 14 b), demonstra-se o sucesso do resultado utilizando o critério *vincos* no método de Velho-Zorin, eliminando-se os artefactos geométricos. Uma vez mais, a malha anteriormente obtida, sem a utilização do algoritmo baseado em regiões de afinidade, é apresentada no lado esquerdo, na Figura 14 a).

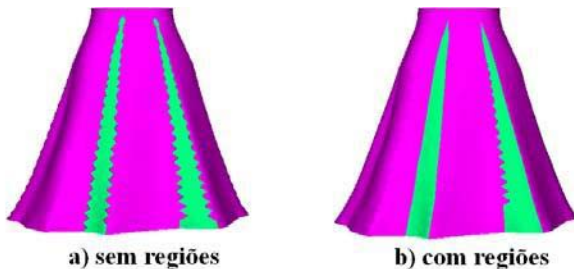


Figura 14 – Conversão pelo método de Velho-Zorin (*vincos*)

Para corrigir os dois defeitos encontrados podem-se conjugar os diversos critérios de afinidade, de modo a obter uma malha mais semelhante à malha original. Como exemplo, aplicou-se ao vestido o método $\sqrt{3}$ e os critérios de afinidade *continuidadeUV* e *vincos* conjugados, com o ângulo máximo de 10° . Os resultados apresentados mostram um vestido convertido, na Figura 15 b), sem artefactos visuais nem artefactos geométricos, ao contrário do resultado anterior, visível na Figura 15 a), o qual apresenta ambos os problemas.

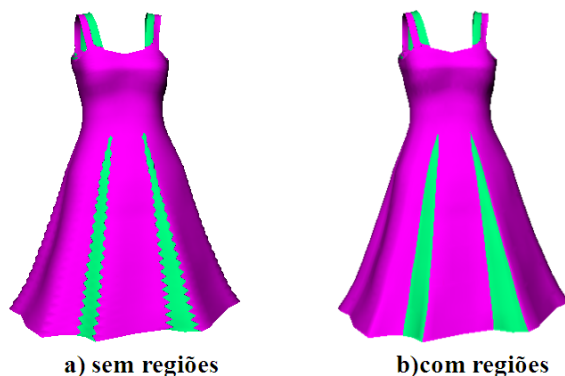


Figura 15 – Conversão pelo método $\sqrt{3}$ (*continuidadeUV* e *vincos*)

5.2 Indicadores Numéricos

A análise dos indicadores numéricos associados às malhas resultantes dos métodos de conversão propostos foi realizada com o programa Polymeco [Silva07].

Foram escolhidos dois modelos para os testes realizados: o vestido mostrado na secção anterior, ilustrado na Figura 12, e as calças apresentadas na Figura 16. Esta escolha permitiu analisar os algoritmos propostos em duas vertentes:

- malhas compostas por um maior número de quadriláteros (vestido).
- malhas compostas por um maior número de triângulos (calças).



Figura 16 - Modelo das calças analisadas

Por outro lado, das métricas existentes no Polymeco, o nosso interesse recaiu em duas delas: *Minimum Angle Analysis* e *Geometric Deviation*. A primeira permite aferir a qualidade da triangulação final, por intermédio da análise do menor ângulo interno de cada triângulo. A segunda permite descobrir as zonas do modelo convertido que apresentam maiores desvios geométricos (distância da malha final à malha inicial).

Foram aplicados os dois métodos de conversão com a técnica proposta em ambos os modelos de teste. Quando se analisam os resultados usando a métrica *Geometric Distance*, é imprescindível que o critério de afinidade *vincos* seja o escolhido, visto ser o único que tenta corrigir alterações geométricas da malha. Sem nenhuma razão de força maior, no modelo do vestido usou-se apenas o critério de afinidade *vincos* e no modelo das calças usaram-se os dois critérios conjugados: *continuidadeUV* e *vincos*.

Nas malhas compostas maioritariamente por quadriláteros não existem grandes diferenças entre as malhas resultantes dos dois métodos de conversão. Sendo o número de vértices e polígonos criados semelhante entre as duas, tal como os resultados obtidos com as métricas *Minimum Angle Analysis* e *Geometric Distance*.

Nas malhas compostas por mais triângulos do que quadriláteros, o método de $\sqrt{3}$ produz um maior número de vértices e faces do que o método de Velho e Zorin, como se pode observar na Tabela 1.

Calças		Nº Vértices	Nº Faces	Área de superfície
Malha Original		1073	2060	840,40
Vincos 90º	Raiz 3	2893	5700	838,93
	Velho e Zorin	2387	4688	839,65
Vincos 1º	Raiz 3	2893	5700	840,25
	Velho e Zorin	2510	4934	840,24

Tabela 1 - Comparação de número de vértices e faces

Nas malhas compostas maioritariamente por triângulos, aparentemente, ao nível da qualidade da malha, o método de $\sqrt{3}$ apresenta uma melhor qualidade dos triângulos gerados, em média, embora exista uma menor uniformidade dos valores ao longo da malha, do que no método de Velho e Zorin, facto visível na Tabela 2, nos resultados do critério *Minimum Angle Analysis*.

Calças	<i>Minimum Angle Analysis</i>				
	Mínimo	Médio	Máximo	Variância	
Malha Original	7,37096	29,567	59,492	240,056	
Vincos 90º	Raiz 3	2,70736	27,931	59,233	179,552
	Velho e Zorin	1,19651	23,907	59,285	130,851
Vincos 1º	Raiz 3	2,70736	23,134	58,880	154,689
	Velho e Zorin	2,24911	20,606	58,996	119,362

Tabela 2 - Comparação da métrica *Minimum Angle Analysis*

Sobre o ponto de vista da sobreposição (no espaço) das malhas final e inicial, os resultados da métrica *Geometric Distance* foram melhores no método de $\sqrt{3}$, como se verifica na Tabela 3.

Calças	<i>Geometric Distance</i>				
	Desvio Mínimo	Desvio Médio	Desvio Máximo	Variância	
Malha Original					
Vincos 90º	Raiz 3	0	0,00056	0,03780	8,23E-06
	Velho e Zorin	0	0,00257	0,05802	3,53E-05
Vincos 1º	Raiz 3	0	0,00056	0,03780	8,23E-06
	Velho e Zorin	0	0,00074	0,03751	9,29E-06

Tabela 3 - Comparação da métrica *Geometric Distance*

Com os valores apresentados pode-se concluir que o método de $\sqrt{3}$ aparenta melhores resultados, obtendo uma melhor qualidade na triangulação da malha resultante, do que o método de Velho e Zorin. Embora de forma ligeira, a distância geométrica também parece ser menor para

este método. No entanto, o método de Velho e Zorin produz menos vértices e faces, o que permite ao simulador de malhas com detalhe variável uma simulação de tecidos menos pesada.

O Polymeco tem também outra métrica de comparação útil para esta análise, a *Normal Deviation*, que permite detectar situações em que as malhas de comparação possam diferir na orientação das respectivas faces. No entanto, como esta métrica está orientada para outro tipo de utilização, comparando malhas iniciais complexas com malhas originadas simplificadas, não foi possível usufruir da mesma.

6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Neste artigo apresentou-se a generalização de dois algoritmos de conversão de triângulos para passarem a operar, também, sobre malhas mistas (triângulos e quadriláteros). Estes algoritmos permitem a conversão de malhas poligonais em malhas 4- k , as quais servem de base para um simulador de tecidos com detalhe variável.

Propôs-se uma solução extensível que permite converter as malhas definindo critérios de afinidade que delimitam regiões de conversão. Para além de se poderem adicionar novos critérios de afinidade, estes podem ser conjugados para formarem critérios compostos.

Os algoritmos de conversão foram implementados sob a forma de plug-ins para o Maya, tendo a capacidade de exportação para ficheiro, para o formato requerido pelo simulador.

Nos testes preliminares, com os métodos de conversão iniciais, os resultados não foram satisfatórios, apresentando artefactos visuais e geométricos nos modelos convertidos. No entanto, a técnica de conversão aqui proposta, que visava corrigir estes mesmos artefactos, permitiu uma correcção controlada dos artefactos criados, através da introdução de critérios de afinidade, que permitem efectuar a conversão das malhas poligonais de forma controlada.

Nas malhas compostas maioritariamente por quadriláteros não se evidenciaram grandes diferenças entre as malhas resultantes dos dois métodos de conversão.

Nas malhas compostas por mais triângulos do que quadriláteros, o método de $\sqrt{3}$, apesar de produzir um maior número de vértices e faces do que o método de Velho e Zorin, apresenta melhores resultados ao nível da qualidade da malha e de distância geométrica relativamente à malha original.

Pode-se concluir que o método $\sqrt{3}$ é melhor para apresentar um detalhe mais refinado do tecido, mas, no entanto, o método de Velho e Zorin produz um menor número de vértice e faces, indicando ser o mais indicado para uma simulação de tecidos que não requer tanto detalhe, aumentado a rapidez do simulador.

Como trabalho futuro, ficam em aberto alguns estudos que se poderão fazer como, por exemplo, uma análise dos resultados dos modelos convertidos pelos dois métodos de conversão ao longo da simulação, de modo a poder-se

verificar se ocorrem fenómenos de degradação dos triângulos durante as operações de subdivisão.

Outra ideia que surgiu foi a possível integração do simulador de tecidos com detalhe variável no Maya, disponibilizando deste modo um sistema interactivo de simulação de tecidos com detalhe dinâmico aos utilizadores do programa.

Como trabalho futuro, propõe-se também a adição de novos critérios de afinidade ao algoritmo de conversão desenvolvido que se considerem úteis e que completem o trabalho realizado, como por exemplo, a adição de um critério de afinidade que permita delimitar regiões baseando-se na mudança de materiais usados na composição de peças de vestuário complexas. Por exemplo, poderemos ter um casaco onde a zona do tronco possui umas determinadas propriedades mecânicas e a zona das mangas outras, completamente diferentes, por serem fabricados com outro tipo de material.

7. BIBLIOGRAFIA

- [Autodesk08] Autodesk Maya 2008, T. f. (s.d.). Obtido de Autodesk/Maya2008/docs/Maya2008/en_US/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm.
- [Birra07] Birra, F. P. (2007). Técnicas Eficientes de Simulação de Tecidos com Realismo Acrescido. *Phd Thesis*. Departamento de Informática, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- [Birra08] - Birra, F., & Santos, M. (July 9-11, 2008). Towards Efficiency in Cloth Simulation. *Articulated Motion and Deformable Objects, 5th International Conference, AMDO 2008*. Port d'Andratx, Mallorca, Spain, 144-155.
- [Bridson02] Bridson, R., Fedkiw, R., & Anderson, J. Robust treatment of collisions, contact and friction for cloth animation. In *SIGGRAPH '02: Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA, 2002, ACM Press, 594–603.
- [Choi02] Choi, K.-J., & Ko, H.-S. Stable but responsive cloth. In *SIGGRAPH '02: Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA, 2002, ACM Press, 604–611.
- [Kobbelt00] Kobbelt, L. p3 - subdivision. In *SIGGRAPH 2000*, New York, NY, USA, 2000, ACM Press, 103-112.
- [Moutela09] Moutela, M. (2009). Malhas de Polígonos para Simulação de Tecidos Baseadas em Regiões Afins. *MSc Thesis*. Departamento de Informática, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- [Silva07] Silva, S. PolyMeCo: A Polygonal Mesh Analysis and Comparison Tool. *MSc Thesis*. Universidade de Aveiro - Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, 2007.
- [Velho01] Velho, L., & Zorin, D. 4-8 Subdivision. Instituto de Matemática Pura e Aplicada, Brasil. Media Research Laboratory Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University, 2001, 397-427.