

Este trabalho apresentou uma análise detalhada do problema de visualização interativa de modelos massivos de reservatórios naturais de petróleo. Após apresentar uma proposta para a representação hierárquica e a visualização de modelos de médio porte, que inclui a adaptação das técnicas convencionais de aceleração para o contexto de reservatórios, são propostas soluções nas duas linhas de pesquisa mais comumente empregadas para se lidar com modelos com geometria massivamente complexa: visualização distribuída e visualização com multi-resolução. É também proposto um conjunto de técnicas para o mapeamento dos dados associados ao modelo original sobre as malhas simplificadas utilizadas na visualização com multi-resolução. Este último capítulo sumariza as contribuições das propostas feitas para a solução do problema e propõe trabalhos futuros para as pesquisas realizadas.

7.1

Visualização Distribuída

Este trabalho propôs um sistema de visualização distribuída com ordenação no fim para a renderização de modelos gigantes de reservatórios naturais de petróleo. Nosso sistema tira proveito do uso de agrupamentos de PCs equipados com múltiplas placas gráficas (GPUs). Ao introduzir um estágio de composição parcial nos nós do agrupamento e ao utilizar uma implementação em forma de linha de produção, tornou-se possível renderizar quadros em tela cheia com taxas de renderização interativas.

Os resultados experimentais obtidos em um agrupamento de médio porte demonstraram a eficiência e eficácia da solução proposta. Aqui estão listadas as principais características do nosso sistema:

- escala bem com o tamanho do modelo e consegue lidar com modelos com dezenas de milhões de células no agrupamento utilizado;
- permite a conexão de clientes leves, e foi proposto paralelizar a transferência da imagem final ao decompô-la em ladrilhos horizontais;
- tira proveito de nós com múltiplas GPUs, e foi proposto efetuar uma composição parcial de imagens em cada nó.

Nós também apresentamos uma estratégia simples para particionar o modelo que resulta em uma distribuição bem balanceada em termos de números de células. No entanto, nossa implementação corrente requer uma

quantidade de memória proporcional ao número de células do modelo na fase de partição, o que pode ser proibitivo para modelos muito grandes. Pretende-se investigar um algoritmo escalável de partição em trabalhos futuros.

Planeja-se também experimentar outros algoritmos de compressão de imagens, pois o algoritmo utilizado se baseia em codificação RLE (*run-length encoding*), que suspeitamos não ser a melhor opção para as imagens tipicamente geradas na área de visualização científica.

Outro aspecto importante que deve ser considerado é o de balanceamento de carga. Nós pretendemos investigar esquemas dinâmicos de balanceamento de carga com base nos tempos de renderização de quadros anteriores, como feito no trabalho por Abraham et al. (2), para ajustar o tamanho do submodelo associado a cada renderizador.

7.2

Visualização com Multi-resolução

O presente trabalho propôs um sistema de visualização de modelos de reservatórios naturais de petróleo massivamente complexos com multi-resolução. A proposta traz um novo algoritmo para a geração e representação hierárquica de múltiplos níveis de detalhe da malha do modelo de reservatório. O sistema tornou possível a renderização de modelos da ordem de centenas de milhões de células com a garantia de taxas interativas de renderização.

Os resultados experimentais demonstraram a eficácia das seguintes propostas feitas pelo trabalho:

- um novo algoritmo de simplificação feito especialmente para malhas de reservatórios de petróleo, contendo um conjunto pequeno porém eficaz de operadores de colapso. O uso de formas locais de suavização e a consideração da valência dos vértices demonstrou melhorar a qualidade da malha, também reduzindo o erro geométrico na maioria dos casos;
- um novo algoritmo para a garantia de uma subdivisão correta na hierarquia em tempo de visualização, fazendo uma estimativa bem menos conservadora da percepção do erro geométrico de cada simplificação quando comparada ao trabalho original por Cignoni et al. (18);
- um algoritmo para a renderização com multi-resolução que garante uma taxa mínima de renderização, efetivamente oferecendo o máximo de detalhe geométrico dados os limites do *hardware* disponível.

O sistema de visualização proposto fornece uma ferramenta poderosa de visualização 3D para modelos massivamente complexos, permitindo que a

indústria de petróleo analise modelos com grande extensão territorial e com grandes discretizações de domínio pelos próximos anos.

Nós vislumbramos alguns trabalhos futuros para essa pesquisa. Conforme mencionado no Capítulo 5, o nosso visualizador poderia se beneficiar de um mecanismo de múltiplos níveis de memória, que otimizaria o uso da memória de vídeo para o armazenamento das malhas simplificadas durante a visualização. Acreditamos que isso fará com que o sistema extraia o máximo de desempenho da placa gráfica utilizada. O nosso simplificador poderia também incluir de alguma forma o erro associado aos atributos originais da malha, o que possibilitaria a consideração do mapeamento do *grid* original e das propriedades para a seleção das malhas simplificadas a serem utilizadas a cada quadro. Pretende-se também investigar outras formas de mensurar o erro geométrico projetado no espaço de tela.

Um outro trabalho futuro possível seria a composição de visualização distribuída com visualização com multi-resolução. A visualização com multi-resolução possui mecanismos para facilitar o aumento ou redução do esforço computacional em cada quadro, podendo simplificar algoritmos de balanceamento de carga, que são essenciais em sistemas de visualização distribuída.

7.3

Mapeamento de Propriedades

Este trabalho trouxe propostas para o mapeamento do *grid* original e das propriedades associadas à malha do reservatório na sua renderização. Todas elas têm como base o mapeamento de texturas sobre o suporte geométrico do reservatório.

A grande vantagem dos métodos propostos é a sua fácil integração com esquemas de multi-resolução, que podem associar coordenadas topológicas e de propriedade como atributos dos vértices da malha original, que serão interpolados ao longo do processo de geração da estrutura de multi-resolução. Isso permite que, pela simples construção de texturas em tempo de visualização, seja possível desenhar o *grid* original e indexar os valores desejados da propriedade, independente do nível de resolução utilizado. Ao incluir apenas dois conjuntos de coordenadas de textura como entrada para a geração da estrutura de multi-resolução, o nosso método garante o reuso dessa estrutura em diferentes simulações, o que é crucial em termos práticos, dados os longos tempos de pré-processamento dessa estratégia de visualização para modelos massivos.

No que tange à visualização da propriedade suavizada nos vértices da malha, assim como foi ilustrado em 1D e 2D, nossa proposta honra as amostras do dado original no centro das células internas da malha. A suavização dos

valores associados às células de borda feita nos vértices de borda no entanto não honra as amostras originais, assim como no método usual de suavização por médias. O método proposto toma o cuidado especial de não permitir que valores em lados opostos de falhas geológicas sejam unidos na suavização, o que é um requisito importante para a análise correta por parte do engenheiro de petróleo.

A proposta do uso de uma textura 3D para mapear as propriedades associadas ao modelo original sobre as malhas simplificadas traz uma limitação pelo seu uso de memória de vídeo. Apesar disso, a técnica permitiu a visualização interativa com taxas de 30 quadros por segundo para modelos com até 240 milhões de células, o que permitirá a análise dos resultados em ferramentas 3D pelos próximos anos.

Planeja-se investigar em trabalhos futuros a aplicação das técnicas apresentadas na renderização de modelos originais de médio porte. A técnica proposta dispensa a duplicação de vértices, por exemplo, para a renderização da propriedade não suavizada, o que é necessário na forma usual de se renderizar modelos dessa magnitude. A técnica proposta necessita no entanto de uma textura 3D, sendo necessário avaliar se haverá ganho em termos de desempenho e de uso de memória principal e de vídeo.

Pretendemos também investigar o uso de mapas de normais na renderização do modelo iluminado. Essa técnica também utilizaria o mapeamento de texturas para calcular a normal associada a cada fragmento. Uma textura codificaria as normais do modelo original em cada *voxel*. O maior desafio, assim como no mapeamento das propriedades, seria utilizar uma representação compacta em termos de memória de vídeo.