

6 Conclusão

Esta tese propõe o suporte topológico ParTopS, para simulações, em ambientes paralelos, de fraturas e fragmentação dinâmicas baseadas em modelos coesivos extrínsecos. Esse suporte topológico fornece a representação de fraturas necessária à viabilização de simulações escaláveis de modelos tridimensionais, visando o tratamento de problemas de fraturas e fragmentação em escala real.

Algumas contribuições são apresentadas por este trabalho. Uma representação compacta de malhas distribuídas é fornecida por ParTopS; diferentemente de abordagens anteriores, elementos coesivos são explicitamente representados e tratados de maneira consistente, assim como os outros elementos da malha de elementos finitos. Um novo tratamento para a representação de cópias de entidades remotas em cada partição (camada de comunicação) é proposto, com a classificação de entidades em *proxies* e *ghosts*. Esse tratamento fornece um suporte topológico consistente para a representação de elementos coesivos em malhas distribuídas. Com base na representação de malhas distribuídas de ParTopS, propõe-se um algoritmo para a inserção adaptativa de elementos coesivos em paralelo. O algoritmo demonstra a viabilidade da representação paralela de fraturas extrínsecas. Operações topológicas simétricas são exploradas pela inserção de elementos coesivos, a fim de se reduzir a comunicação necessária entre partições de malha. Esse conceito é também empregado no contexto de simulações numéricas, com o uso de computações replicadas simétricas. Como consequência, o número de pontos de sincronização de atributos da simulação é reduzido, e a estrutura do fluxo de controle da aplicação numérica paralela é significativamente simplificada em relação à abordagem convencional.

Para avaliar a aplicação de ParTopS em problemas reais, uma aplicação sequencial existente de simulação de fraturas paralelizada. Um pequeno número de modificações foi necessário para permitir a execução da aplicação em um ambiente paralelo.

Experimentos computacionais desacoplados de simulações numéricas foram realizados para verificar o suporte topológico proposto e medir o

desempenho e a escalabilidade do algoritmo de inserção de elementos coesivos. A escalabilidade e a corretude de simulações numéricas de fraturas foram demonstradas através de simulações de modelos bidimensionais e tridimensionais. Os resultados obtidos sugerem que o sistema ParTopS pode ser aplicado de maneira eficaz para viabilizar simulações de fraturas e fragmentação de modelos em escala real.

Alguns aspectos relativos a simulações numéricas de elementos finitos não foram abordados aqui. Assume-se que a malha inicial é bem balanceada pelos algoritmos de particionamento utilizados, e que a inserção de elementos coesivos não altera significativamente essa condição, uma vez que o número esperado desses elementos é tipicamente muito menor que o de volumétricos. Com isso, eventuais desbalanceamentos de carga são ignorados. Esses aspectos serão investigados por pesquisas futuras.

6.1. Trabalhos futuros

Algumas sugestões de trabalhos futuros são apresentadas a seguir:

- **Refinamento e simplificação adaptativa de malhas de fraturas e fragmentação dinâmicas.** A implementação atual de ParTopS cobre os aspectos relativos à representação distribuída de malhas de elementos finitos de fraturas, com as operações necessárias para o tratamento de elementos coesivos. Uma extensão natural deste trabalho está relacionada ao suporte a técnicas de refinamento e simplificação adaptativa de malhas. Essas técnicas são importantes para se aumentar a eficiência da simulação, uma vez que o nível de refinamento requerido para a corretude da simulação pode variar de acordo com a região de malha considerada. Um desafio relativo à representação de malhas adaptativas em paralelo é a propagação eficiente de modificações topológicas entre partições de malha.
- **Balanceamento dinâmico de carga de malhas de fraturas e fragmentação.** Com o emprego de técnicas de refinamento e simplificação adaptativas de malhas de elementos finitos, um suporte para balanceamento dinâmico de carga entre partições de malha torna-se fundamental à manutenção do ganho de

desempenho obtido com essas técnicas. O suporte ao balanceamento dinâmico de carga deve incluir a migração eficiente de entidades topológicas entre partições e considerar a topologia de malhas contendo elementos coesivos.

- **Abordagem paralela híbrida.** Esta pesquisa considerou o problema de propagação de fraturas em ambientes paralelos de memória distribuída. Com a disponibilidade de estações de trabalho multiprocessadas, e crescente o emprego de placas gráficas (*GPUs*) programáveis na aceleração de computações numéricas, surge uma demanda para o aproveitamento desses recursos. Essa é uma área de pesquisa bastante ativa atualmente, com diversas questões ainda em aberto. Enquanto os ambientes de memória distribuída atuais fornecem a escalabilidade necessária para o tratamento de problemas maiores, os ambientes locais permitem melhorar a eficiência da simulação dentro dos limites de cada nó de processamento individual. Dessa forma, é interessante estender o suporte topológico de malhas a fim de permitir uma integração eficiente e transparente de ambas as abordagens paralelas na computação numérica.
- **Visualização interativa de fraturas dinâmicas.** Para permitir a análise de resultados correspondentes a eventos de fratura dinâmicos, métodos de visualização eficientes e escaláveis são importantes. A visualização de fraturas apresenta desafios devido à topologia dinâmica das malhas e ao grande volume de dados resultantes de simulações paralelas.