7 Conclusões e Sugestões

7.1. Conclusões

O desenho de taludes nas minas a céu aberto é um desafio da engenharia, devido à complexidade inerente dos depósitos de minério como a distribuição da geologia, a alta variabilidade das propriedades de resistência, os defeitos estruturais existentes no depósito, o grau de alteração das rochas, a informação geomecânica limitada, etc.

A primeira etapa da dissertação consistiu em caracterizar o maciço rochoso do depósito mediante a modelagem geológica e estrutural das falhas de maior e menor escala. O presente trabalho mostrou a metodologia para a elaboração dos modelos geológicos e estrutural, de soma importância devido a que são as bases para posteriormente realizar as análises ou desenhos nos depósitos da mina. É importante reconhecer as zonas de maior confiabilidade.

Na maioria de depósitos minerais se têm diferentes zonas geotécnicas, cada uma delas com diferentes características geológicas e estruturais. A presente dissertação conseguiu caracterizar diferentes zonas geotécnicas, sempre que se conte com data confiável e suficiente para poder obter uma correlação espacial aceitável e poder distribuir bem as propriedades em 3D.

A modelagem 3D permite ter uma visão global do projeto, assim como também uma visão local dos problemas, permitindo assim realizar um melhor planejamento para futuras campanhas de estudos e datas importantes para a análise que se necessitará.

A segunda etapa da dissertação foi estimar o comportamento mecânico do maciço rochoso. O ideal seria ensaiar um grande número de amostras representativas dos domínios geotécnicos, com diferentes tamanhos e configurações das estruturas e submetidas a trajetórias de tensões. Devido à restrição do tamanho das amostras nas máquinas do laboratório padrão e o alto custo. Os ensaios in situ, geralmente não são suficientemente grandes e têm

dificuldades com o controle das condições de contorno e a interpretação dos resultados. Os métodos empíricos têm a limitação de não considerar os efeitos de escala (devido ao efeito da densidade e persistência das juntas) e anisotropia (devido ao efeito da orientação preferencial das estruturas geológicas). Já as soluções analíticas, embora sejam úteis e fáceis de usar, são recomendadas para casos idealizados como para configurações de estruturas regulares, ortogonais. Os métodos contínuos têm sido bem utilizados e desenvolvidos nas últimas décadas, mas têm dificuldades em capturar os diferentes modos de falha em maciços rochosos fraturados, assim como a distribuição de tensões, ainda mais quando se precisa representar um grande número de descontinuidades.

Devido à natureza descontínua do maciço rochoso, o método de elementos discretos pode capturar bem o comportamento mecânico do maciço rochoso, simulando a propagação das fraturas assim como observar o comportamento pós-pico.

O método SRM utilizado na presente dissertação é um método numérico descontínuo baseado na mecânica de partículas para estimar o comportamento do maciço rochoso quando é submetido ao processo de escavação em um depósito de minério localizado no Peru. Este método basicamente consiste no uso de dois componentes bem conhecidos, como o *Bonded Particle Model* (BPM) para representar a rocha intacta (Potyondy e Cundall, 2004) e a modelagem das fraturas utilizando o método *Discrete Fracture Network* (DFN), que uma vez definida a seção crítica de análise, cada uma das juntas são representadas explicitamente no modelo utilizando o modelo de contacto *Smooth-Joint* (Mas Ivars et al. 2008b).

Este método tem a limitação do número de partículas, quanto maior o número de partículas, maior é o tempo computacional. Como recomendação não se deve trabalhar com modelos de mais de 250 mil partículas. Na presente dissertação a escala do maciço rochoso modelado foi de 120 m x 93 m contendo um grande número de juntas não persistentes. O DFN foi gerado no programa computacional Petrel versão 2010.1, mas pode ser usado qualquer outro programa como o FracMan (Golder Associates Inc. 2007), JointStats (Brown 2007), 3FLO (Billaux et al. 2006) SIMBLOC (Hamdi & Du Mouza 2004). Ao inserir explicitamente as estruturas in situ do maciço rochoso do depósito de minério se toma em conta o efeito da escala e a anisotropia, considerando também as características das descontinuidades como resistência (coesão e atrito) e dilatância.

O método SRM é basicamente uma ferramenta que permite simular bem o comportamento mecânico do maciço rochoso, atuando como um “laboratório virtual” sem as restrições do tamanho da amostra e para qualquer trajetória de tensões. Utilizando o “laboratório virtual” se podem obter parâmetros importantes como a resistência pico do maciço rochoso, o módulo de Young, o coeficiente de Poisson.

A metodologia SRM permite a consideração de uma complexa rede de juntas não persistentes assim como a quebra de pontes de rocha. As propriedades do maciço rochoso não são ingressadas diretamente, em vez disso, a resposta se obtém do comportamento misturado da rocha intata e das juntas (que inclui fraturamento, cisalhamento de juntas, propagação de juntas e coalescência).

A grande vantagem do método é que permite considerar 3 fatores chave como: representar as estruturas explicitamente, pode-se utilizar diferentes condições de carregamento e considera as variações das propriedades do material.

O SRM é uma metodologia relativamente recente e, porém tem problemas que ainda não foram resolvidos. Esses problemas são comentados na próxima seção.

7.2. Sugestões

Durante o desenvolvimento da presente dissertação se observou algumas limitações e problemas que se mencionam a continuação:

- A quantidade de dados das sondagens e estações de mapeamento superficial no domínio “1 & 2” foram insuficientes para gerar variogramas necessários para a distribuição 3D da intensidade de fraturas. Pelo que se sugere realizar mais sondagens e mapeamentos para obter uma quantidade de dados suficientes para uma boa análise. Nessa zona se utilizou valores constantes da densidade de fraturas e não propriedades 3D.
- O número de partículas é um fator limitante e necessário para obter valores confiáveis, visto que a sensibilidade do tamanho de partículas, distribuição, e heterogeneidade das mesmas tem grande impacto nos resultados. O tempo computacional aumenta consideravelmente com o número de partículas.

- Atualmente a rocha intata é calibrada em função da resistência do bloco médio da rocha (determinado pelo espaçamento médio das fraturas). Isto pode não representar bem o modelo todo, devido a que o tamanho dos blocos da rocha intata na realidade tem tamanhos variáveis. Devem-se realizar pesquisas para solucionar esse problema ou ver a influência da hipótese assumida.
- A representação explícita da rede de fraturas in situ com o DFN é um dos componentes chaves para o método SRM. Assim os resultados do comportamento do maciço rochoso obtido usando o SRM são bons sempre que a representação da rede de fraturas in situ seja boa. O SRM poderia ser usado para estudar como a incerteza na simulação do DFN devido à pouca e/ou baixa qualidade da data das juntas influi na predição do comportamento mecânico do maciço rochoso.
- O BPM (*Bonded Particle Model*), usado para representar o comportamento da rocha intata no método SRM, é até agora incapaz de reproduzir a relação UCS/tensão de corte. Devem-se realizar mais pesquisas nesta área.