

1 Introdução

1.1. Relevância e justificativa da pesquisa

Atualmente um dos grandes interesses das empresas de mineração é estabelecer alternativas de fluxo de trabalho para conseguir retirar a maior quantidade possível de mineral, em determinado cronograma, tornando tão alto quanto possível o rendimento dos investimentos aplicados. Para atingir tais objetivos, mantendo a segurança das operações, devem ser consideradas as inclinações dos taludes de uma mineração a céu aberto e a profundidade total da escavação (Figura 1.1). A importância desses fatores vem do fato que quanto mais íngreme for o talude, menor será ao trabalho de remoção do material estéril, diminuindo assim os custos de extração. Naturalmente, o aumento gradual da inclinação dos taludes pode gerar riscos de instabilidade, comprometendo a segurança da mineração, com potencial risco de perdas de vidas humanas além de prejuízos econômicos, ambientais e sociais com a paralização ou eventual fechamento das instalações (Sjöberg,1999). O projeto final da escavação está condicionado a fatores como as propriedades geomecânicas do maciço rochoso e as características das estruturas geológicas regionais, incluindo a presença de descontinuidades que podem ter diferentes persistências, desde milímetros até quilômetros de extensão, no caso das falhas, podendo ser fechadas ou abertas com ou sem material de preenchimento. Fenômenos de ruptura desencadeados pelas descontinuidades, por deslizamento ou tombamento, podem ocorrer durante o processo de escavação ou durante a vida útil da mina. Estes fenômenos estão diretamente relacionados com baixos valores das propriedades geomecânicas do maciço rochoso, sendo também influenciados pelos métodos de escavação com o avanço das operações.

Torna-se portanto justificável a importância de avaliar os taludes de grande altura em mineração a céu aberto com a presença de descontinuidades, procurando-se prever o comportamento dos mesmos tanto em termos de fator de segurança quanto em deslocamentos provocados pelo avanço das escavações.

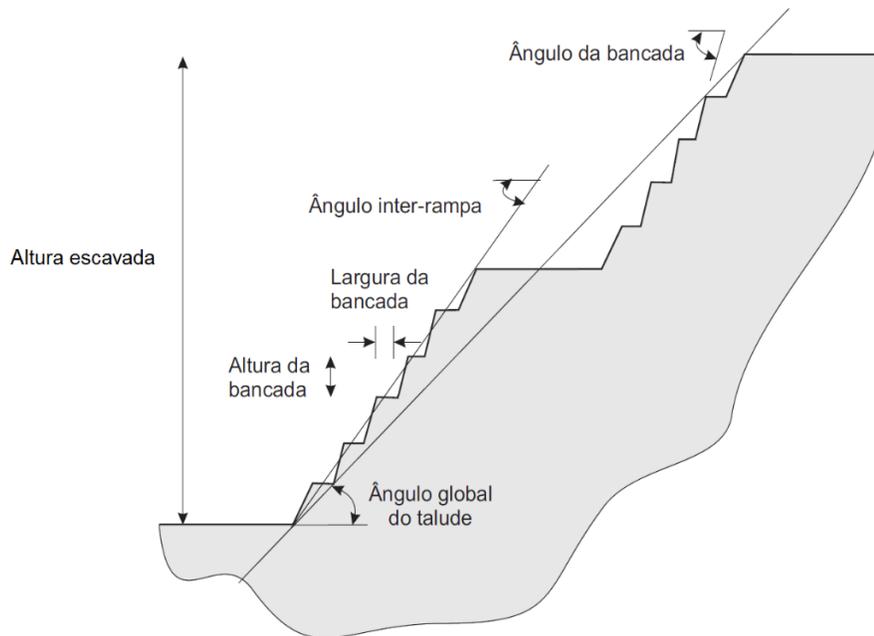


Figura 1.1 - Geometria típica de um talude de mineração a céu aberto.

Na bibliografia encontram-se muitos estudos sobre estabilidade de taludes rochosos, sendo normalmente empregados métodos tradicionais baseados em equilíbrio limite para determinação do coeficiente de segurança. Pesquisas apontam que todos os pontos da potencial superfície de ruptura não atingem simultaneamente o mesmo valor do fator de segurança, como na hipótese implícita dos métodos de equilíbrios limite, mostrando que a ruptura progressiva e o comportamento mecânico do maciço rochoso é dependente ou influenciado pelos seguintes fatores: (i) estado de tensões in situ; (ii) relação tensão-deformação dos materiais; (iii) trajetória de tensões devido a mudanças de geometria e de carregamento; (iv) resistências das estruturas geológicas (v) incertezas na obtenção dos parâmetros de resistência e do perfil geológico.

Tendo em vista algumas das objeções teóricas (i, ii, iii e iv mencionadas acima) ao emprego do método de equilíbrio limite em problemas de estabilidade de taludes, levaram à utilização de outros métodos de análise que procuram incorporar as relações tensão-deformação dos diversos materiais que compõem o talude, e assim evitar a adoção das hipóteses simplificadoras que caracterizam os métodos de equilíbrio limite (método das fatias). Dentre estes métodos de análise alternativos, destaca-se o popular e versátil método dos elementos finitos (MEF).

Especificamente no caso da previsão do fator de segurança em análises da estabilidade de taludes, a primeira utilização do MEF parece ter sido feita por Kulhawy et al. (1969) mas, por várias razões o método não se tornou uma ferramenta de cálculo popular na estabilidade de taludes nas três décadas seguintes. Dentre as principais razões que dificultaram um uso mais amplo podem ser citadas: a falta de acesso a computadores, que até finais dos anos 1980 eram basicamente constituídos por computadores de grande porte; alto custo de processamento, incluindo-se o tempo para preparação dos dados de entrada; pouca disponibilidade de programas computacionais de caráter geral na área de geotecnia; desconhecimento da formulação do método dos elementos finitos (MEF), suas vantagens e limitações; existência de poucos estudos comparando os fatores de segurança calculados pelo MEF com aqueles obtidos por métodos de equilíbrio limite ou com resultados de observações de campo. Na atualidade ainda obtendo fatores de segurança muito próximos no método de equilíbrio limite e no método dos elementos finitos (FEM), este último é um método que consegue atender todas as condições de equilíbrio e as condições de contorno do problema.

Atualmente, muitas destas limitações foram removidas ou bastante reduzidas graças à grande disponibilidade de microcomputadores, cada vez mais rápidos e de menor custo; ao desenvolvimento de pré e pós-processadores gráficos que diminuíram o tempo investido na preparação de malhas e na análise dos resultados; à existência de vários programas comerciais voltados especificamente para análise de problemas geotécnicos, como os software Phase2, desenvolvido pela empresa Rocscience, e os programas computacionais Plaxis 2D e Plaxis 3D, empregados nesta pesquisa.

1.2. Objetivos da pesquisa

Os objetivos principais da presente dissertação são:

- estimar a influência nos valores dos coeficientes de segurança da presença de descontinuidades nos taludes de uma mineração a céu aberto de grande altura localizada no Peru;
- avaliar a variação nas distribuições dos deslocamentos nas faces dos taludes com o objetivo de quantificar a influência das descontinuidades;
- comparar os valores dos fatores de segurança com as hipóteses de presença ou não das descontinuidades do maciço;

- avaliar as características, vantagens e dificuldades na utilização de dois importantes programas comerciais baseados no método dos elementos finitos para simulação da dos efeitos da presença de descontinuidades em taludes de rocha.

1.3. Organização da dissertação

Para alcançar os objetivos propostos, este trabalho foi estruturado com a seguinte organização:

- Capítulo 1 - definição do problema, apresentação de justificativas e objetivos da dissertação.
- Capítulo 2 - apresenta uma revisão bibliográfica onde se procura abordar a influência das descontinuidades na estabilidade de taludes rochosos fraturados, introduzindo os diferentes tipos de descontinuidades e mecanismos de ruptura. Neste capítulo também se faz um resumo dos métodos de análise de estabilidade de maciços rochosos, por métodos de equilíbrio limite e por elementos finitos.
- Capítulo 3 - expõe a teoria e os conceitos básicos para a determinação das propriedades geomecânicas e o modelo constitutivo empregado para representação mecânica do comportamento do maciço rochoso.
- Capítulo 4 - discute aspectos da modelagem numérica 2D e 3D pelo método dos elementos finitos utilizando os programas comerciais Phase2, Plaxis 2D e Plaxis 3D; fazendo uma análise em termos de deslocamentos, comparando os resultados obtidos com e sem descontinuidades e os resultados obtidos em simulações 2D versus 3D.
- Capítulo 5 - apresenta as análises de estabilidade feita mediante equilíbrio limite e elementos finitos, fazendo uma comparação dos resultados obtidos na análise com e sem descontinuidades; e os resultados obtidos em simulações 2D versus 3D.
- Capítulo 6 - resume as conclusões da presente dissertação e sugere alguns temas para desenvolvimento futuros na área de comportamento de taludes rochosos fraturados.