

# 1 Introdução

A vida de uma exploração mineira é composta por um conjunto de atividades que se podem resumir em: pesquisa para localização do minério; prospecção para determinação da extensão e valor do minério localizado; estimativa dos recursos em termos de extensão e teor do depósito; planejamento, para avaliação da parte do depósito economicamente extraível; estudo de viabilidade para avaliação global do projeto e tomada de decisão entre iniciar ou abandonar a exploração do depósito; desenvolvimento de acessos ao depósito que se vai explorar; exploração, com vista à extração de minério em grande escala; e recuperação da zona afetada pela exploração de forma a possibilitar o uso futuro.

Nota-se que entre a pesquisa pelo minério e o início da exploração podem decorrer vários anos ou mesmo décadas, sendo os investimentos necessários nesta fase muito elevados (podendo ser da ordem das centenas de milhões de dólares) e o seu retorno não assegurado, o que ilustra bem o risco associado a esta atividade.

Logo, espera-se que as atividades em uma mina se encerrem devido ao esgotamento mineral, ou ao fato da exploração ter se tornado economicamente inviável, e não devido a ocorrência de rupturas de grande porte.

## 1.1. Motivação

Nos empreendimentos de minas a céu aberto com taludes e ângulos de inclinação elevados torna-se relevante a seguinte questão: como retirar o minério do fundo da cava, aproveitando-se efetivamente a mina, sem nenhum dos taludes de elevada altura sofrer ruptura global?

Em taludes deste tipo, esta forma de ruptura deve ser evitada ou contornada, pois envolve deslocamento de elevadas quantidades de material, sendo muitas vezes desastrosas, ocasionando até mesmo a finalização precipitada das atividades de exploração naquela mina.

Sjöberg (1996) apresenta diversos casos de minas a céu aberto, ao redor do mundo, que tiveram suas atividades interrompidas antes do tempo previsto, devido à ocorrência deste tipo de ruptura. Incidentes desta magnitude já foram registrados no Brasil, citando-se como exemplos a Mina de Cauê, e a Mina de Águas Claras (Galbiatti, 2006; Rojas, 1995).

Atualmente um dos interesses das grandes empresas é estabelecer alternativas de fluxo de trabalho para cada uma das etapas do empreendimento de minas a céu aberto, de modo a garantir a estabilidade dos taludes globais. Assim, torna-se clara a importância de se criar uma metodologia “dinâmica”, que possa ser utilizada durante toda a vida útil da mina, e que abranja a modelagem de maciços rochosos, a distribuição espacial dos parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb, e as análises de estabilidade.

## **1.2. Objetivo**

Um dos elementos do projeto geotécnico de minas a céu aberto é a elaboração de um modelo geológico e geomecânico da região da cava, com a finalidade de auxiliar nas análises de estabilidade. Para isto, o maciço rochoso precisa ser muito bem estudado e compreendido, assim, os modelos criados devem representar o maciço onde a cava está inserida da forma mais fidedigna possível, entretanto, estes são gerados muitas vezes com base em decisões subjetivas da parte do geotécnico.

Neste contexto, o presente trabalho propõe uma metodologia para elaboração de modelos geológicos e geomecânicos (3D) e realização de análises de estabilidade (2D) de taludes rochosos de minas a céu aberto, com base nos dados da mina de Morro da Mina, fornecidos pela empresa VALE, à qual esta pertence.

Na etapa de modelagem, foi utilizado o software Petrel 2004, que oferece ferramentas geoestatísticas, possibilitando a extrapolação de informações geotécnicas pontuais, obtidas por meio de testemunhos de sondagem, para o maciço inteiro. Utilizou-se a técnica de Krigagem Ordinária. As propriedades modeladas foram as seguintes:

- $c'$  (coesão efetiva) e  $\phi'$  (ângulo de atrito efetivo): parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb.

- RQD (“Rock Quality Designation”) (Deere et al., 1967), Q (“Quality”) (Barton et al., 1974), e RMR (“Rock Mass Rating”) (Bieniawski, 1976): índices de classificação de maciços rochosos.

Na etapa de análises de estabilidade, foram utilizadas seções resultantes da modelagem geomecânica. Dois tipos de análises foram realizadas:

- Análises cinemáticas, que auxiliaram nas análises por equilíbrio limite e complementaram os estudos referentes à estabilidade global e local dos taludes da mina, apresentados nos relatórios geotécnicos fornecidos pela VALE. Para estas análises foi utilizado o software Dips, da Rocscience.
- Análises por equilíbrio limite dos taludes globais e das bancadas, a fim de avaliar e validar os modelos gerados, e a metodologia proposta. O software Slide 5.0, da Rocscience, foi utilizado.

Os programas RocData 4.0 e RocProp, ambos da Rocscience, foram utilizados para estimar os parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb, e os softwares AutoCAD 2004 e Microsoft Office Excel auxiliaram na preparação dos arquivos de entrada no Petrel 2004 e no Slide 5.0.

O presente trabalho faz parte de uma linha de pesquisa que se inicia no GTEP/PUC-Rio, na área de mineração, que visa o desenvolvimento de uma alternativa de fluxo de trabalho abrangendo: modelagem geológica, geomecânica, geoestatística e análises de estabilidade de taludes rochosos, contribuindo assim para elaboração de projetos geotécnicos mais eficazes.

### **1.3. Escopo**

A presente dissertação está organizada em 6 Capítulos, resumidos a seguir.

O Capítulo 1 apresenta a introdução do assunto estudado, com a motivação e o objetivo deste trabalho.

No Capítulo 2 se encontra a revisão bibliográfica, onde são apresentados os principais conceitos relacionados à área da mineração abordada no presente trabalho (projeto de taludes de minas a céu aberto, mecânica das rochas, caracterizações geotécnicas, e aspectos de modelagem geomecânica), e à análise de estabilidade, e são citados os principais trabalhos e resultados nestas linhas de pesquisa.

O Capítulo 3 apresenta a caracterização geológico-geotécnica e hidrogeológica da mina de Morro da Mina, com as investigações geotécnicas e hidrogeológicas, os parâmetros geomecânicos e hidrodinâmicos destas investigações, e os assumidos para realização do trabalho.

O Capítulo 4 trata da modelagem geológica e geomecânica 3D da mina de Morro da Mina, possuindo: a descrição da metodologia e hipóteses adotadas para elaboração destes modelos; a apresentação dos modelos geológico e geomecânico, gerados pelo software Petrel 2004; e a análise crítica dos resultados obtidos.

O Capítulo 5 aborda as análises de estabilidade dos taludes da mina, possuindo: a descrição da metodologia e hipóteses adotadas para realização das análises de estabilidade cinemáticas e por equilíbrio limite (de seções típicas retiradas do modelo geomecânico apresentado no Capítulo 4); a apresentação dos resultados; e a análise crítica destes.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões referentes a todas as etapas da metodologia proposta, e sugestões que podem servir de base para novas pesquisas nesta linha.

Os anexos estão numerados de 1 a 7, referindo-se respectivamente ao Mapa Geológico, Mapa Geológico Estrutural, Bandamento e Zonas de Cisalhamento, Foliação e Falhas, Localização dos Furos, Descrição Geotécnica do Furo 05-01, e Mapa Geomecânico da mina.