

6 Conclusões e Sugestões

6.1. Conclusões

O presente trabalho propôs 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, utilizando-se a ferramenta computacional Petrel 2004 como auxiliador na etapa de modelagem geológica e geomecânica, e na visualização da distribuição espacial de parâmetros de resistência no corpo do maciço, através das técnicas geoestatísticas, cujo potencial de uso na área de geotecnia de mineração foi evidenciado. A mina de Morro da Mina, pertencente à empresa VALE, foi utilizada neste trabalho, onde sua cava foi modelada. Seções geomecânicas foram geradas e utilizadas em análises de estabilidade global e local dos taludes da mina estudada.

Do conjunto de informações que compõem a caracterização geotécnica da mina de Morro da Mina, para realização da modelagem e análises de estabilidade, foram utilizados basicamente os seguintes dados:

- Mapas topográficos, com a geometria da mina;
- Relatórios sobre a geologia estrutural e seu mapeamento, sendo interessante a presença de plantas com a localização de onde a estrutura foi levantada;
- Relatórios sobre as análises de estabilidade realizadas nos taludes da mina;
- Locação e descrição dos furos de sondagem, contendo informações sobre litologia, resistência da rocha, RQD (Deere et al., 1967), e índices de qualidade Q e RMR, dos sistemas de classificação de Barton et al. (1974) e Bieniawski (1976), respectivamente.

É interessante o uso de dois sistemas de classificação, conforme é aconselhado por Hoek (2007), porém o valor do índice de qualidade RMR deveria ter sido calculado pela avaliação dos itens deste sistema, somando-se assim os pesos, e não pela correlação através de fórmulas, pois não se sabe até

que ponto esta correlação é aplicável aos tipos rochosos presentes na mina, e até mesmo no Brasil.

Com relação à subjetividade existente na metodologia apresentada, no que diz respeito à utilização do programa Petrel 2004, decisões subjetivas foram tomadas na menor quantidade possível, pois este trabalha sozinho durante a maior parte do tempo e o modo como a análise geoestatística é executada faz com que seja possível mais de uma pessoa encontrar os mesmos resultados dos semivariogramas, se o conjunto de dados de entrada for o mesmo.

Entretanto, algumas informações das descrições dos furos de sondagem são baseadas em avaliações pessoais da parte do profissional encarregado desta tarefa, tais como o Grau de Alteração da rocha e os valores dos pesos dos itens dos Sistemas de Classificação Geomecânica, podendo isto influenciar na fidelidade dos resultados da modelagem.

Além disto, os parâmetros de resistência c' e ϕ' tiveram de ser estimados, pois ensaios de laboratório não haviam sido executados, e para isto optou-se por utilizar o Critério de Ruptura de Hoek-Brown Generalizado (Hoek et al., 2002), no programa RocData 4.0, sendo esta tarefa bastante subjetiva, o que interferiu bastante nos resultados das análises de estabilidade. No presente trabalho, o ideal seria trabalhar com resultados de ensaios de laboratório, e não valores estimados, pois desta forma o modelo gerado representaria mais fortemente a realidade do maciço da mina.

O programa Petrel 2004 mostrou-se bastante útil, apresentando uma boa interface visual com usuário e auxiliando na etapa de modelagem geológica e geomecânica, possibilitando-se assim a visualização espacial do maciço onde está inserida a cava da mina, e de qual seção retirar para analisar sua estabilidade. Por outro lado, para este tipo de problema, que é a modelagem geomecânica da mina de Morro da Mina, a versão do Petrel utilizada apresentou-se um pouco limitada, principalmente na parte de análise geoestatística, não fornecendo alternativas de modelos teóricos para ajuste, o que é perfeitamente compreensível, pois o programa é originalmente criado para utilização em estudos envolvendo litologias menos complexas.

Todavia, conforme mencionado antes, a parte de visualização 3D do maciço da mina é de grande auxílio, e deve ser explorada mais. A versão posterior (2007) apresenta a possibilidade de utilização do programa Isatis, da Geovariances, para análises geoestatísticas, o que é interessante, pois este programa é bastante completo, com várias ferramentas de tratamento estatístico

e geoestatístico dos dados, que junto com a interface visual excelente do Petrel, formarão uma dupla perfeita para modelagem, até o presente momento.

Na parte de análise geoestatística, pode-se dizer que quantidade de furos não significa qualidade na modelagem; junto com a quantidade tem que vir uma distribuição espacial adequada dos furos, evitando-se a formação de “ninhos” de amostras, pois a geração dos semivariogramas irá depender do número de pares de amostras, que depende da geometria do cone de busca, e esta por sua vez depende da distribuição espacial daquelas.

Assim, as duas perguntas seguintes estão relacionadas com a conformação do semivariograma: quão similares são dois valores posicionados próximos entre si? (existe efeito pepita?), e quão longe dois pontos devem estar antes de não existir relação entre eles? (alcance). A distribuição espacial influi na resposta a estas perguntas, onde um arranjo inapropriado pode mascarar os valores “reais” de efeito pepita (existe uma variabilidade muito grande em pequena escala ou há erro na amostragem?) e alcance para a variável regionalizada estudada. Os semivariogramas são base para a maioria dos métodos de interpolação, e desta forma, a qualidade da modelagem depende da representatividade dos semivariogramas.

Percebeu-se que a geologia do local estudado também influiu na modelagem, pois a mina examinada apresenta diversos tipos litológicos encaixados uns nos outros, o que impede a continuidade espacial das informações, causando o aparecimento do “Efeito de Furo”, que de certo modo interfere nas estimativas por Krigagem, pela questão dos pesos das amostras serem obtidos dos semivariogramas.

Com relação às análises de estabilidade realizadas, a preocupação deve se voltar para as bancadas dos taludes, o que foi mostrado nas análises cinemáticas, porém, tanto estas quanto as análises por equilíbrio limite acusam a não possibilidade de ruptura global dos taludes. Entretanto, recentemente ocorreu uma pequena ruptura circular envolvendo algumas bancadas no setor SW1, o que não foi constatado nestas análises, onde as possíveis causas para isto foram apresentadas na parte de análise crítica deste assunto.

A utilização de resultados de análises geoestatísticas em atividades diversas, tais como a análise de estabilidade realizada no presente trabalho, torna-se um desafio, tanto na manipulação/atualização dos dados, pois o conjunto utilizado deve condizer com a aplicação que se deseja dar ao modelo, quanto na interpretação adequada dos resultados. Desta forma, estes resultados são controlados “pelo modelo teórico adotado e seus parâmetros, os quais

podem se mostrar errados na medida em que novos dados venham a ser acrescentados” ao modelo (Landim, 2003).

Por outro lado, a metodologia apresentada gera um fluxo de trabalho que pode ser aplicado na prática, entretanto, a etapa que exige maior atenção é a análise geoestatística, de acordo com o já mencionado. Mas, conforme os estudos sobre este assunto forem avançando, mais conhecimento e experiência serão obtidos, e assim a presente metodologia poderá ser aprimorada.

6.2. Sugestões

Para continuação desta linha de pesquisa, é sugerida que outros maciços rochosos de minas sejam modelados, com utilização do software Petrel 2004 ou as versões posteriores, onde o maciço possua características diferentes do apresentado neste trabalho, e levem-se em conta as seguintes melhorias com relação à metodologia, sendo as cinco primeiras relacionadas direto com o programa Petrel, tendo em vista o conhecimento de suas outras funcionalidades e limitações:

- Entender melhor como o programa gera os *Horizons* a partir dos *Well Tops*, para possibilitar a criação de mais zonas, tornando o modelo complexo, pois neste trabalho preferiu-se manter o modelo simplificado;
- Estudar a aplicação das demais transformações apresentadas na *Tab Transformations*, dentro da função *Data Analysis*, visando à eliminação total de tendências dos dados, tornando desta forma os semivariogramas completamente estacionários;
- Modelar trechos da mina separados e analisar se os resultados diferem muito dos da mina completa; por outro lado, isto seria a solução para o problema das seções não serem geradas efetivamente perpendiculares aos taludes, podendo-se desta forma respeitar a geometria real das bancadas;
- Verificar a possibilidade de uso da ferramenta de “Projeto de Poços” e extração de *logs* para avaliar o erro de estimativa, da seguinte forma: criar um modelo geomecânico sem utilização de um dos furos de sondagem; em seguida, projeta-se aquele furo não utilizado e obtêm-se as informações ao longo dele, das células por onde ele passa. Assim pode-se comparar o *log* verdadeiro do furo de sondagem com o *log*

obtido quando se projetou este, verificando-se a coerência entre as informações (“*Jack-Knifing*”);

- Ainda utilizando-se este software, pesquisar como inserir informações de atitudes de descontinuidades ao longo dos furos de sondagem, possibilitando assim a visualização espacial destas;
- Estudar uma melhor distribuição dos furos de sondagem, e sua quantidade, para utilização nas análises geoestatísticas e modelagem geomecânica da mina de Morro da Mina, ou de outras minas a céu aberto, mantendo o enfoque geotécnico. Este tipo de trabalho consiste, na verdade, em verificar se o modelo gerado é Robusto ou não, ou seja, se aquela quantidade de furos e sua distribuição foram suficientes para gerar um modelo representativo da região estudada ou não, onde, se for Robusto, com o acréscimo de furos, o modelo sofrerá pequenas modificações, e em caso contrário, muitas modificações serão observadas com o acréscimo de informações;
- Verificar se a correlação proposta por Bieniawski (1976) é realmente válida para o local da mina de Morro da Mina, através da aplicação dos dois sistemas de classificação (Bieniawski, 1976; Barton et al., 1974). Caso contrário, propor uma nova correlação, aplicável para a região da mina, ou um Sistema de Classificação Geomecânico específico para este local, ou propor para outra mina;
- Dar continuidade nas análises de estabilidade, acrescentando-se análises de quedas de blocos, e outros tipos, tais como análises probabilísticas e por elementos finitos.