

ESTUDO DE RUPTURAS EM UM TALUDE ATRAVÉS DE RETROANÁLISES DE ESCORREGAMENTOS

Study of failures in a slope through back analysis of slides

Antônio Luiz Pinheiro*
Milene Sabino Lana**
Frederico Garcia Sobreira***
Luis Emanuel Goulart****

RESUMO – Este trabalho descreve um estudo de caso onde é mostrada a importância da aplicação de técnicas de retroanálise de escorregamentos em taludes na determinação da resistência ao cisalhamento ao longo da superfície de ruptura. O sucesso da aplicação de retroanálises depende da realização de levantamentos geotécnicos com elevado nível de detalhe. Esses levantamentos devem ser feitos visando principalmente o conhecimento da geometria dos blocos instáveis e o estado de carregamento na ocasião da ruptura.

SYNOPSIS – This paper describes a case study where the importance of the application of back analysis techniques of slope failures for the assessment of shear strength along the failure surface is emphasized. The success of back analysis depends on the achievement of detailed geotechnical surveys. These surveys must be done mainly to know the geometry of unstable blocks and the forces acting upon the blocks at the failure surface.

1 – INTRODUÇÃO

A cidade de Ouro Preto, Minas Gerais (Brasil), considerada pela UNESCO como patrimônio histórico da humanidade, enfrenta hoje graves problemas geotécnicos, o que coloca em risco seu conjunto arquitetônico barroco de inestimável valor cultural.

Os primeiros habitantes da região ocuparam as áreas mais estáveis e planas, como o topo das colinas e plataformas a meia encosta, cume dos morros e vales mais largos, locais onde estão erguidas as igrejas e grandes construções históricas. No entanto, mesmo locais menos estáveis foram ocupados de maneira compatível e não agressiva ao meio físico, seguindo a curvatura natural das feições morfológicas e não executando cortes pretensivos com remoção de grandes volumes de material.

Atualmente Ouro Preto sofre as consequências da ocupação inadequada do espaço urbano, em função do povoamento excessivo, da falta de áreas de expansão e da concentração da população de baixa renda em torno dos rios, córregos e zonas da periferia do núcleo urbano. De acordo com Sobreira e Fonseca (2001), o crescimento da população, principalmente a partir dos anos sessenta, e a conseqüente necessidade de criação de novas áreas urbanas não foi

* M.Sc., Pós-graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto (MG), Brasil, E-mail: pinheiro@degeo.ufop.br

** Professor, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto (MG), Brasil, E-mail: milene@demin.ufop.br

*** Professor, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto (MG), Brasil, E-mail: sobreira@degeo.ufop.br

**** Engenheiro Geólogo, E-mail: luisalexg@hotmail.com

acompanhada por planejamento prévio adequado, levando à ocupação de áreas onde se desenvolveram atividades de mineração no passado. Na maioria das vezes estas áreas apresentam características morfológicas e geotécnicas desfavoráveis, gerando assim um quadro problemático no que se refere à segurança da população e das estruturas presentes nestas áreas.

Segundo Fernandes (2000), atualmente a cidade carece do uso do conhecimento das propriedades e das características dos seus terrenos de forma a desenvolver-se harmonicamente, viabilizando um crescimento ordenado num espaço inadequado, sob o ponto de vista geotécnico.

Nesse trabalho apresenta-se um estudo de caso cujo objetivo é justamente melhorar o conhecimento acerca das propriedades de resistência dos maciços e suas descontinuidades, que são importantes parâmetros condicionantes da estabilidade das encostas.

O trabalho envolveu o levantamento geotécnico detalhado de duas rupturas em encosta situada no centro histórico da cidade e posterior realização de análises paramétricas e retroanálises dos movimentos ocorridos.

Na área estudada, a encosta do Morro do Curral, existem sinais evidentes de movimentos de massa ocorridos no passado e, também, indícios de possíveis movimentos que estão acontecendo no presente, ou que poderão vir a acontecer no futuro, como mostra o trabalho relativo a parte dessa encosta apresentado por Fernandes (2000).

Na base da encosta Morro do Curral encontram-se as instalações do Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto, uma grande estrutura de eventos, onde são sediados congressos, convenções, núcleos de artes e criações, seminários, reuniões, conferências e eventos similares, com infra-estrutura de atendimento para até 600 pessoas. Encontra-se também instalada na base da encosta a Escola Estadual Dom Velloso, escola tradicional no ensino fundamental da cidade de Ouro Preto. Além destas duas construções, que merecem destaque pelo seu porte e quantidade de pessoas envolvidas, no sopé da encosta situam-se dezenas de residências, farmácia, padaria, bares, etc.

2 – DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A encosta Morro do Curral situa-se a oeste da praça Tiradentes, no eixo histórico da cidade de Ouro Preto e estende-se desde o bairro Jardim Alvorada, divisando com o bairro Vila São José, praça Rio Branco até a praça Cesário Alvim (onde se localiza o prédio da antiga estação ferroviária).

A encosta pode ser vista de todo o centro histórico por turistas e moradores da cidade de Ouro Preto, o que ocasiona um grande impacto visual além dos problemas de instabilidade (Figura 1).

A área estudada é basicamente composta de xistos do Grupo Sabará do Supergrupo Minas. No local encontra-se um tipo litológico constituído por um xisto de coloração cinza; esta rocha é um quartzo-clorita-sericita-xisto, bastante intemperizado e de fácil desagregação, com a presença de xistosidade e crenulação marcantes.

Há também a presença de um xisto de coloração castanho; trata-se de um sericita-quartzo-xisto. Essa rocha também é de fácil desagregação e com presença de forte xistosidade.

A complexidade geológico-estrutural do maciço rochoso, com a presença de significativos dobramentos e falhamentos influencia os mecanismos de ruptura, chegando mesmo a determinar o tipo de mecanismo, como será visto adiante.

Na Figura 2, pode-se observar uma ruptura na encosta Morro do Curral atrás das instalações do Centro de Artes e Convenções. A área foi estudada por Fernandes (2000), que procede ao levantamento geotécnico e divisão do maciço rochoso em regiões de comportamento geomecânico similar. O autor usou classificações geomecânicas e descrição dos indícios dos movimentos observados para estabelecer esses domínios.

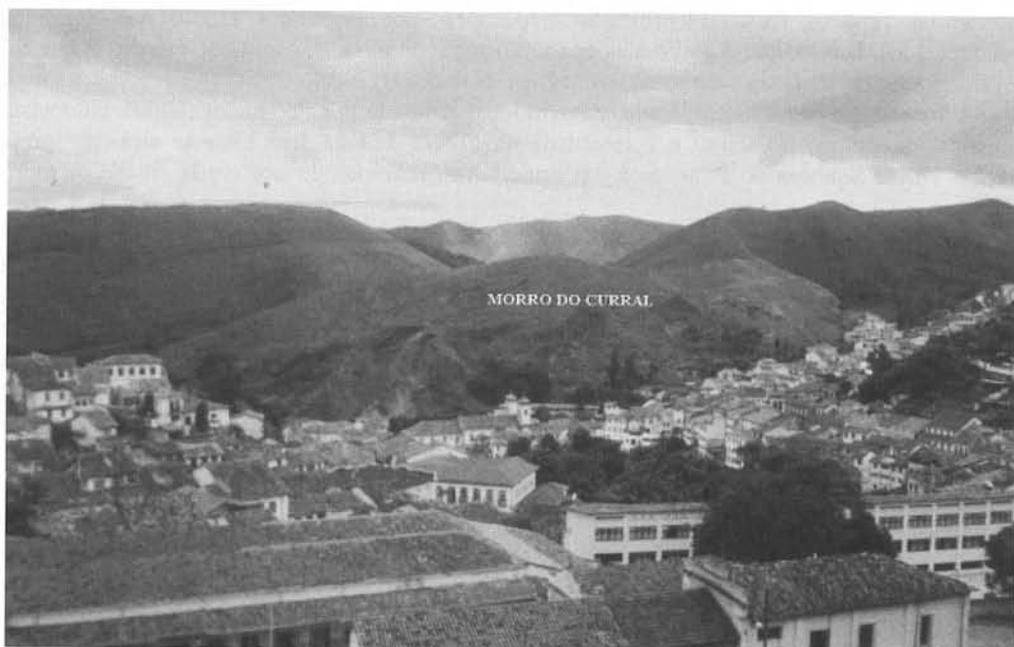


Fig. 1 - Vista da encosta Morro do Curral.

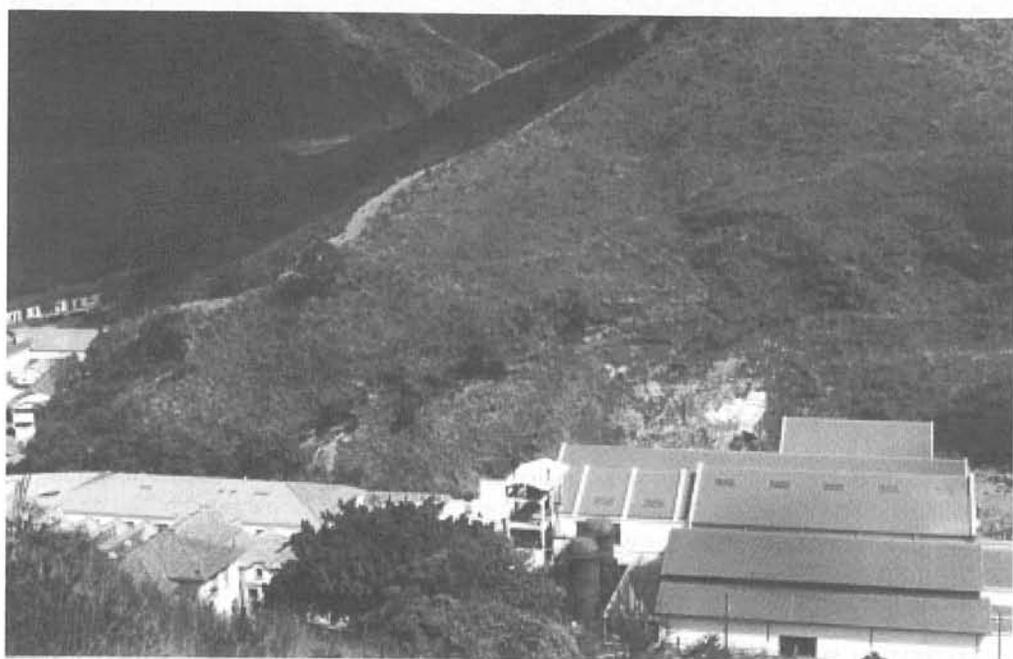


Fig. 2 - Instalações do Centro de Artes e Convenções mostrando ao fundo a presença de rupturas na encosta.

Várias rupturas foram identificadas e descritas por Fernandes (2000) nos domínios estabelecidos. Este trabalho de Fernandes (2000) motivou a realização desse estudo, já que foi a primeira tentativa de levantamento sistemático de dados no local.

A área objeto desse estudo é adjacente ao local estudado por Fernandes (2000). Uma vista do local mostrando a encosta é apresentada na Figura 3. Esta área situa-se atrás da igreja Matriz Nossa Senhora do Pilar, uma das importantes relíquias do acervo da cidade de Ouro Preto.

A encosta é banhada pelo córrego Caquende que flui em sua base. No sopé da encosta há um depósito de tálus com inclinação em torno de 45° . Este depósito possui pouquíssima cobertura vegetal e é composto por blocos de xisto decimétricos a métricos envolvidos por uma matriz de material fino. Houve movimentação recente (Janeiro, 2002), o que acarretou o deslizamento de material sobre as áreas de serviço das residências que se localizam na base da encosta. Estas áreas de serviços foram criadas pelo capeamento do córrego Caquende e de cortes executados no depósito de tálus pelos próprios moradores.



Fig. 3 - Vista da área estudada.

Acima do depósito encontram-se as cicatrizes das rupturas (Figura 4) que foram estudadas com detalhe. Estas cicatrizes geraram e continuam gerando material para o depósito de tálus e também geram finos que são carregados para o córrego Caquende através das duas drenagens laterais.

3 – METODOLOGIA UTILIZADA

Definida a área de estudo, foi feito o mapeamento geotécnico de detalhe, que consistiu na caracterização das estruturas geológicas presentes (xistosidade, fraturas, dobramentos) e no levantamento detalhado da geometria das cicatrizes.

O padrão de fraturamento foi caracterizado a partir do levantamento do espaçamento e rugosidade das fraturas. O grau de alteração do maciço foi utilizado para estimativa da resistência à compressão da rocha. A resistência do maciço foi estimada a partir da utilização de classificações geomecânicas (Bieniawski, 1989 e Barton et. al., 1974).

As investigações de campo no talude estudado no Morro do Curral compreenderam uma fase de reconhecimento de toda a área e outra fase de levantamento mais localizado, quando foram definidas as estruturas associadas aos mecanismos de ruptura. Esse levantamento geotécnico abordou apenas a área onde se encontram as cicatrizes e levou a resultados consistentes nas análises posteriores. Se os dados fossem provenientes de levantamentos geotécnicos em grandes áreas da encosta, além da região onde se encontram as cicatrizes das rupturas, não seria possível identificar corretamente os mecanismos de ruptura face à variabilidade na orientação das estruturas geológicas que condicionam essas rupturas, como é discutido em Pinheiro et. al.(2001).



Fig. 4 - Vista das cicatrizes estudadas.

Com dados do levantamento geotécnico foram definidas as famílias de discontinuidades, com o auxílio do programa Dips 5.079 (2002). Uma discussão detalhada envolvendo a definição dessas famílias pode ser encontrada em Pinheiro (2002).

Foram feitas análises cinemáticas a partir da utilização de projeções estereográficas com o objetivo de definir os mecanismos de ruptura. Os resultados dessas análises são descritos em detalhe por Pinheiro (2002) e Pinheiro et. al. (2002).

As dimensões das cicatrizes (comprimento, largura e altura) foram medidas em campo para definir com precisão a geometria das rupturas. Esses dados foram utilizados nas retroanálises das rupturas para definir a geometria do bloco que se movimentou.

Análises paramétricas considerando diferentes estados de carregamento foram feitas. Variações do estado de carregamento envolveram a consideração do carregamento gravitacional e do efeito das pressões neutras nas superfícies de discontinuidades.

Finalmente foram feitas retroanálises com o objetivo de determinar a resistência das descontinuidades. Tanto as análises paramétricas quanto as retroanálises foram realizadas com o auxílio do programa Swedge 4.079 (2002).

4 – INFLUÊNCIA DA XISTOSIDADE NOS MECANISMOS DE RUPTURA

A região onde se encontra o maciço é denominada Quadrilátero Ferrífero, conhecida província aurífera e ferrífera do estado de Minas Gerais. Nos maciços rochosos dessa região é comum a ocorrência de variações locais de atitude da xistosidade, levando a mecanismos de ruptura que também variam localmente. Isso deve-se à evolução geológico-estrutural dessa região, de grande complexidade, gerando feições estruturais importantes (xistosidade, dobramentos, falhamentos, intrusões), que influenciam e até determinam os mecanismos de ruptura, como é o caso da xistosidade.

Segundo Scarpelli (1994), que apresenta uma compilação das principais classificações geomecânicas utilizadas em diversas minas a céu aberto de ferro do Quadrilátero Ferrífero, essas classificações deveriam levar em conta as feições estruturais mais importantes, cuja influência na estabilidade dos taludes é marcante. A presença da xistosidade com ondulações em sua superfície é nítida nos diversos taludes analisados e isso não é considerado em nenhuma das classificações em uso nas minas analisadas (Scarpelli, 1994).

Um caso típico da importância da xistosidade nos fenômenos de ruptura pode ser observado em taludes de quartzito na Mina de Timbopeba (Ouro Preto, MG), também no Quadrilátero Ferrífero. Lana (2000) mostra que a xistosidade tem relação direta com os mecanismos de ruptura. Essa estrutura está presente em todos os mecanismos de ruptura identificados por Lana e Gripp (1999) e Lana (2000), gerando ora rupturas planares segundo o plano de xistosidade, ora rupturas em cunha segundo a interseção entre a xistosidade e uma das outras descontinuidades descritas. As rupturas ocorrem em áreas restritas dos taludes porque as dobras nas superfícies da xistosidade impedem o desenvolvimento de superfícies de rupturas contínuas.

Para caracterizar os mecanismos de ruptura em taludes dessa região a atitude da xistosidade deve ser medida sistematicamente ao longo da área estudada, delimitando os setores onde ocorrem as variações que levam a mecanismos diferentes.

Nos trabalhos desenvolvidos no Morro do Curral, a variabilidade na atitude da xistosidade devido aos dobramentos também é observada. As cicatrizes estudadas, formadas pelos processos de instabilização, desenvolveram-se paralelamente. Pela proximidade dos locais, a variação da atitude da xistosidade não deveria ser muito grande. Entretanto, os resultados do diagrama de frequência de pólos dessas medidas evidenciam uma variação significativa, como mostra a Figura 5.

Na cicatriz 1 (ver Figura 4), a xistosidade tem atitude média 094/32 (X1) e na cicatriz 2 (ver Figura 4), sua atitude é 167/42 (X2), como mostra a Figura 5. Essa variação é decorrente da presença de um dobramento local, sendo as cicatrizes desenvolvidas uma em cada flanco da dobra. No flanco 1, correspondente à xistosidade de atitude 094/32, o mecanismo de ruptura é planar segundo o plano de xistosidade. No flanco 2, correspondente à xistosidade de atitude 167/42, o mecanismo de ruptura é em cunha segundo a interseção do plano de xistosidade com uma das famílias de fraturas identificadas no local. Os dois mecanismos de ruptura só puderam ser identificados devido ao nível de detalhe do levantamento.

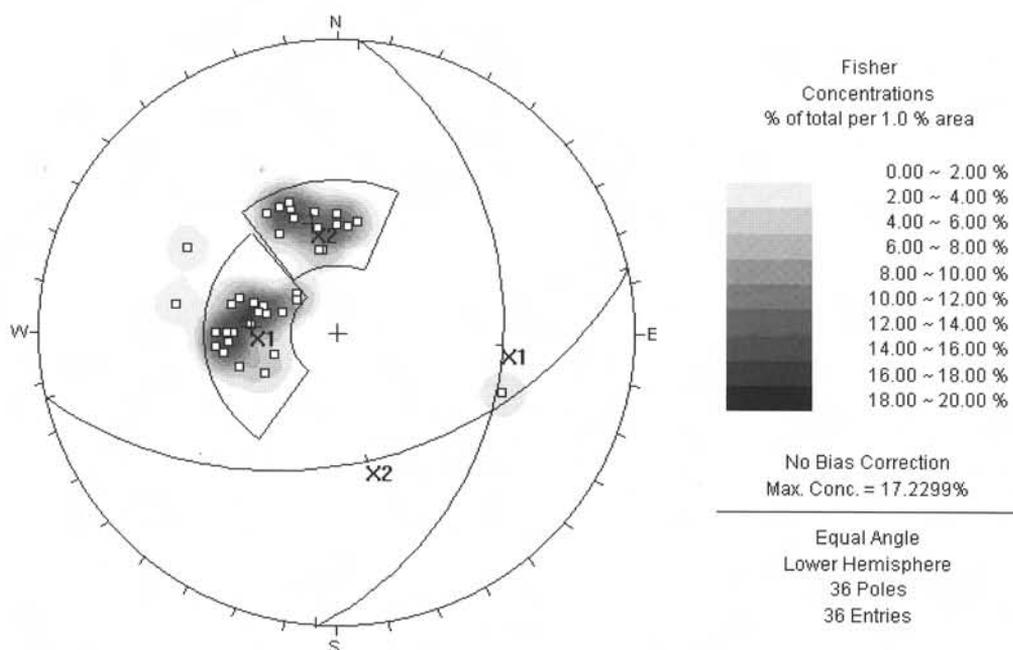


Fig. 5 - Diagrama de freqüência de pólos mostrando variação da atitude da xistosidade nas cicatrizes (Dips 5.079).

5 – DEFINIÇÃO DAS FAMÍLIAS DE FRATURAS

Com os dados obtidos do levantamento geotécnico das fraturas foi elaborado o diagrama de freqüência mostrado na Figura 6. Nesse diagrama são identificadas três famílias de fraturas; 1m: 041/71, 2m: 285/87, 3m: 343/74.

As famílias de fraturas 1m e 2m (Figura 6) condicionam a ruptura nas cicatrizes 1 e 2, juntamente com a xistosidade. Na cicatriz 3, em função da dificuldade de acesso foram levantados poucos dados, razão pela qual a sua análise não é apresentada nesse artigo.

Na cicatriz 1 o mecanismo de ruptura é planar segundo a xistosidade. No caso da cicatriz 2, onde o mecanismo de ruptura é por cunha, a direção de deslizamento é formada pela interseção entre a xistosidade e a família 1m.

A família 3 não condiciona as rupturas; encontra-se presente no interior das duas cicatrizes.

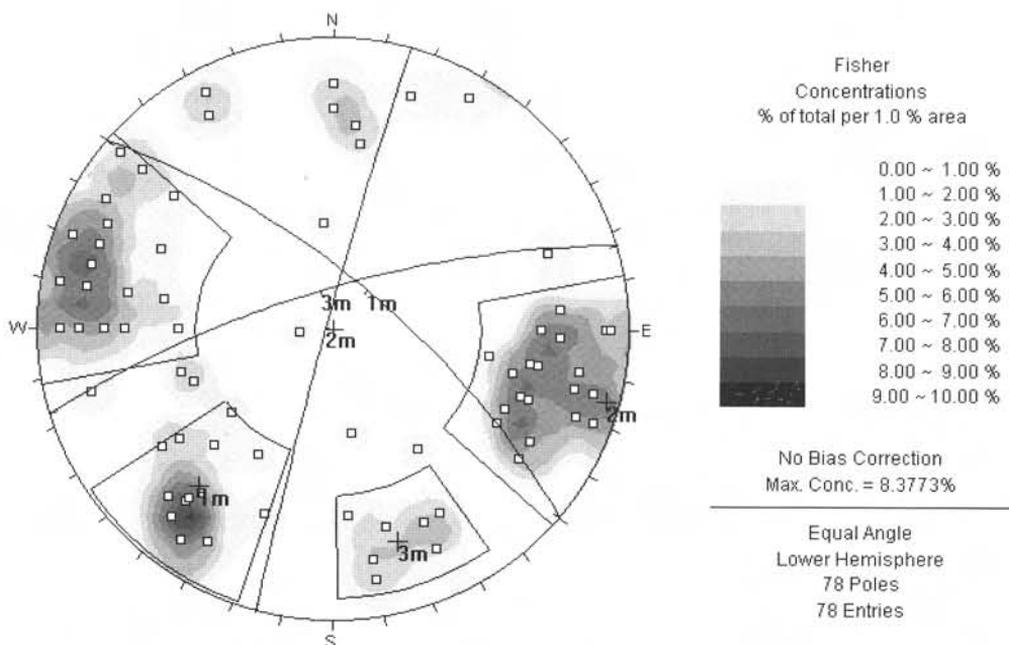


Fig. 6 - Diagrama de frequência de pólos mostrando as famílias de fraturas (Dips 5.079).

6 – ANÁLISES PARAMÉTRICAS E RETROANÁLISES

Hoek & Bray (1981) publicaram a solução analítica para o fator de segurança de um problema típico de deslizamento translacional envolvendo a formação de uma cunha de rocha num talude. A solução apresentada por esses autores permite que seja considerado um estado de carregamento geral, com a introdução de carregamento gravitacional, a consideração da existência de pressão de água nas descontinuidades, além da possibilidade de incluir na análise quaisquer forças externas (como forças geradas por eventos sísmicos, suportes etc.). A solução admite o cálculo do fator de segurança para uma cunha formada por duas descontinuidades, podendo também ser introduzida na análise uma fenda de tração. O programa Swedge, da Rocscience, é baseado nessa solução.

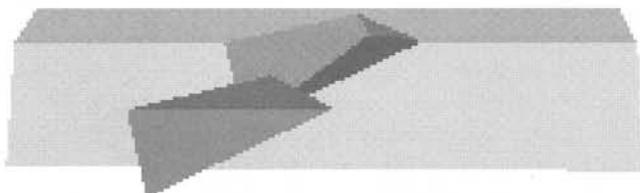
No caso da encosta estudada as cunhas formadas possuem geometria similar à geometria da cunha na solução publicada por Hoek & Bray (1981), o que permite a utilização do programa Swedge.

6.1. Geometria das cicatrizes

A definição da geometria das cicatrizes foi feita a partir dos dados coletados em campo, assim como as características do talude necessárias à análise (altura, orientação da face e do plano de topo).

A fratura 2m (Figura 6), para efeito da análise de estabilidade, é introduzida no programa Swedge 4.079, como uma fenda de tração, devido à sua posição na cicatriz, observada no campo. Sua distância à crista do talude foi medida em campo e introduzida na análise. Já a fratura 1m (Figura 6) e a xistosidade interceptam-se na face do talude, delimitando o bloco instável.

Na Figura 7 a geometria da cicatriz 1 é mostrada com a posição do bloco que deslizou. A ruptura planar segundo a xistosidade inicialmente foi confundida com uma ruptura por cunha, em função do plano de xistosidade não apresentar direção subparalela à face do talude (ver Figura 7). Entretanto, as análises cinemáticas através das projeções estereográficas na face do talude e a análise feita através do programa Swedge 4.079 confirmaram a ocorrência de ruptura planar, como mostra Pinheiro (2002). Além disso, foi medida no campo a direção do deslizamento que, mais uma vez, confirmou a ocorrência de ruptura planar segundo a xistosidade porque sua orientação é bem próxima da orientação média da reta de maior declive da xistosidade (X1, na Figura 5).



Perspective

Fig. 7 - Vista em perspectiva da cicatriz 1 (Swedge 4.079).

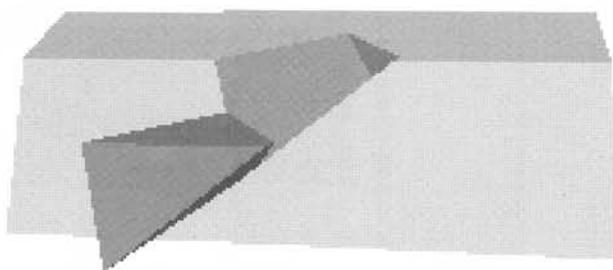
A Figura 8 é uma vista em perspectiva da cicatriz 2, mostrando a ruptura em cunha segundo a interseção da xistosidade com a família 1m. As análises cinemáticas confirmaram o mecanismo de ruptura, assim como a análise feita através do Swedge 4.079, como mostra Pinheiro (2002). Também nesse caso a ruptura foi confirmada pela medição em campo da direção de deslizamento, bastante próxima à orientação da linha de interseção entre a xistosidade e a família 1m.

6.2. Determinação da resistência das discontinuidades

Com os dados da geometria das cicatrizes descritos anteriormente e o peso específico do maciço obtido por Fernandes (2000) foram feitas retroanálises dos movimentos para obtenção da resistência das discontinuidades.

A realização de ensaios de resistência em laboratório não foi possível porque o maciço rochoso é muito alterado, dificultando a amostragem e a confecção de corpos de prova. Além disso, a dificuldade de acesso à área é um grande entrave à amostragem do material. A dificuldade de realização de ensaios, associada ao fato de que esses ensaios podem não ser representativos da resistência do maciço rochoso, fez com que a retroanálise fosse a opção viável para a obtenção de dados de resistência.

Como primeira aproximação para os valores de resistência, adotou-se estimativas de coesão e ângulo de atrito baseadas nos sistemas de classificações geomecânicas (Bieniawski, 1989 e Barton et. al, 1974).



Perspective

Fig. 8 - Vista em perspectiva da cicatriz 2 (Swedge 4.079).

Para a xistosidade assumiu-se os valores para o ângulo de atrito e para a coesão, como uma primeira aproximação, os mesmos valores de ângulo de atrito e coesão do maciço. A xistosidade é uma estrutura tão freqüente que suas propriedades mecânicas tendem a aproximar-se das propriedades do maciço. Estes valores podem ser obtidos através do índice RMR (Bieniawski, 1989). Este índice, levantado em campo, na região das cicatrizes é igual a 42. Utilizando-se a classificação de Bieniawski (1989), chega-se à faixa de valores para o ângulo de atrito de 25 a 35° e aproximadamente 200 a 300 kN/m² para a coesão.

Na retroanálise admitiu-se a presença de água nas descontinuidades como sendo a condição representativa na ocasião da ruptura, comprovada durante os trabalhos de levantamento geotécnico e pelo histórico da região, ou seja, só ocorre movimentação em períodos de intensa precipitação pluviométrica.

Na análise de estabilidade para a cicatriz 1, utilizando o programa Swedge 4.079, com as estimativas de resistência obtidas para a xistosidade, chega-se a um fator de segurança na faixa de 8,6 a 12,4, o que não condiz com a realidade. Isso ocorre porque os valores de coesão são extremamente altos para a superfície de xistosidade e para o maciço, que se encontra bastante alterado. A influência da alteração no cálculo do índice RMR não é significativa, levando a valores de coesão irrealistas. Já as estimativas de ângulos de atrito foram consideradas adequadas, bastando então ajustar o valor da coesão para a condição de equilíbrio limite.

A Figura 9 mostra os resultados da retroanálise para a cicatriz 1. Os valores de coesão e ângulo de atrito correspondem à situação de equilíbrio limite. Dois valores de coesão são representados para cada valor de ângulo de atrito, que correspondem aos valores mínimos e máximos encontrados para cada ângulo de atrito, na situação de equilíbrio limite.

Os valores de coesão na Figura 9 foram obtidos para uma faixa de valores de ângulo de atrito de 20° a 40°. Observa-se uma correlação linear entre os valores de ângulo de atrito e coesão. Na Figura 9 também são representadas as estimativas de coesão para um intervalo de confiança de 95%. Observa-se que essas estimativas estão bem próximas dos valores limites de coesão encontrados nas retroanálises.

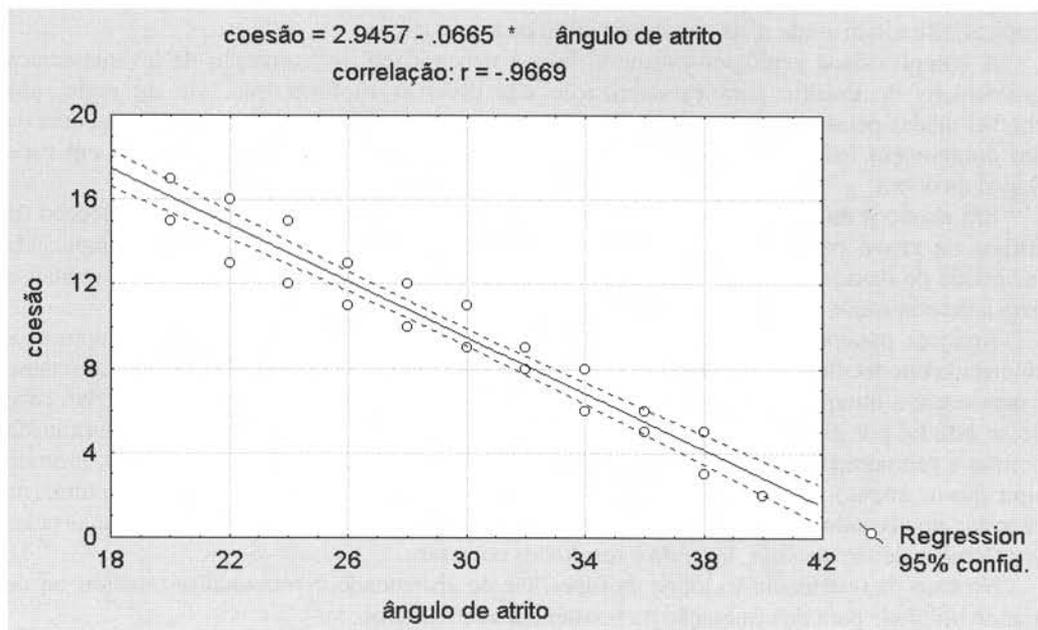


Fig. 9 - Resultados da retroanálise para determinação da resistência ao cisalhamento da xistosidade

Deve-se salientar que os resultados obtidos na retroanálise são preliminares, devendo ser testados por novas retroanálises de rupturas na mesma encosta, até que se consiga aferir os valores de coesão e ângulo de atrito da xistosidade.

Também é de grande interesse o desenvolvimento de metodologia que possibilite a amostragem do maciço rochoso do Morro do Curral e a confecção de corpos de prova para realização de ensaios de cisalhamento ou mesmo triaxiais. Os ensaios de laboratório, mesmo se não forem representativos da resistência do maciço rochoso, podem fornecer informações importantes para interpretação das retroanálises.

Na análise de estabilidade para a cicatriz 2, foram adotados os valores médios de coesão e ângulo de atrito da xistosidade para a determinação da resistência ao cisalhamento da família de fraturas 1m.

Durante as simulações observou-se que o ângulo de atrito não altera o valor do fator de segurança devido ao valor muito baixo da força normal no plano de 1m. Para a coesão qualquer valor acima de zero aumenta o fator de segurança além da condição de equilíbrio limite. Esses resultados impossibilitaram a determinação da resistência da fratura empregando retroanálises.

7 – CONCLUSÕES

Maçiços rochosos de complexa evolução geológico-estrutural e de baixa resistência, caso do Morro do Curral, são de difícil caracterização, tal a variedade de fatores que interferem no seu comportamento geomecânico. A metodologia básica descrita na literatura (Brown, 1981) para levantamento geotécnico deve sofrer algumas adaptações, já que ela não fornece resultados coerentes em maciços pouco resistentes, alterados, situados em regiões com história geológica de grande atividade tectônica. Os problemas de estabilidade de taludes nesses maciços são muito afetados pelo tipo de estruturas geológicas presentes, assim como pelos litotipos envolvidos. Além disso os processos de alteração verificados em regiões de clima tropical dificultam ainda mais a caracterização desses maciços.

A complexidade geológico-estrutural leva à necessidade de realização de levantamentos geotécnicos de detalhe para caracterização das diversas rupturas que, via de regra, são condicionadas pelas estruturas geológicas. No caso desse trabalho verificou-se a influência de um dobramento local que condicionou dois mecanismos de ruptura distintos, um em cada flanco da dobra.

Em maciços muito alterados, como é o caso desse estudo, a amostragem e confecção de corpos de prova para a realização de ensaios mecânicos de laboratório é dificultada pela facilidade de desagregação do material. Em tais casos a utilização de técnicas de retroanálise para a determinação da resistência na superfície de ruptura é de grande valia.

Análises paramétricas e retroanálises são facilitadas quando a geometria das rupturas é conhecida em detalhe, aumentando o grau de confiabilidade das estimativas obtidas. Entretanto é necessária a interpretação criteriosa dos resultados para evitar conclusões errôneas. No caso desse estudo, por exemplo, a resistência da família de fraturas 1m não pode ser determinada porque a geometria da ruptura leva a valores baixos para a força normal nesse plano, fazendo com que o ângulo de atrito não altere a condição de equilíbrio limite. Outras rupturas na encosta, envolvendo essa família e com geometria distinta da estudada poderiam ser analisadas por técnicas de retroanálise, levando a resultados coerentes.

No caso da resistência ao longo da superfície de xistosidade, a retroanálise mostrou ser de grande utilidade para determinação da resistência ao cisalhamento.

Os dados obtidos nesse estudo podem servir de base para estudos posteriores a serem realizados no mesmo maciço, já que a xistosidade condiciona diversos mecanismos de ruptura no local.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barton, N.; Lien, R.; Lunde, J. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mechanics*, v.6. n. 4, pp.189-236, 1974.
- Bieniawski, Z. T. Engineering rock mass classification. John Wiley, New York, 215p, 1989.
- Brown, E. T. Rock Characterization Testing & Monitoring-ISRM Suggested Methods. Pergamon Press, Oxford, 211p, 1981.
- Dips 5.079, Rocscience Inc., 2002.
- Fernandes, G. Caracterização Geológico-Geotécnica e Proposta de Estabilização da Encosta do Morro do Curral – Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 136p, 2000.
- Hoek, E. & Bray, J. W. Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy, London, 358p, 1981.

- Lana, M. S. & Gripp, M. F. Um procedimento para identificação dos mecanismos de ruptura em taludes rochosos. *Revista da Escola de Minas (REM)*, Ano 63, v.52, n.4, pp. 245-249, 1999.
- Lana, M. S. Estudo dos mecanismos de ruptura em taludes de grande altura num maciço rochoso de geologia estrutural complexa. Tese de doutorado, Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, MG, 211p, 2000.
- Pinheiro, A. L., Lana, M. S. & Goulart, L. E. A. Influência das estruturas geológicas e da escala de trabalho na metodologia de levantamentos geológico-geotécnicos. Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, III COBRAE, Rio de Janeiro, RJ, pp 97-103, 2001.
- Pinheiro, A. L. Análise de rupturas em talude no Morro do Curral, Ouro Preto, Minas Gerais. Dissertação de mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 111p, 2002.
- Pinheiro, A. L., Lana, M. S., Sobreira, F. G. & Goulart, L. E. A. Análise de rupturas em talude no Morro do Curral, Ouro Preto (MG). 100 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Ouro Preto, 25 a 28 de agosto de 2002, em CD.
- Scarpelli, A. G. Classificação Geomecânica Aplicada à Avaliação da Estabilidade de Taludes em Minas de Ferro do Quadrilátero Ferrífero. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, EESC – USP, São Paulo, SP, 187p, 1994.
- Sobreira, F. G. & Fonseca M. A. Impactos Físicos e Sociais de Antigas Atividades de Mineração em Ouro Preto, Brasil. *Geotecnia, SPG*, n. 92, pp.5-27, 2001.
- Swedge 4.079, Rocscience Inc., 2002.