

# Análise de ruptura em talude urbano, Ouro Preto, MG

Ferreira, S. B.

Mestre, PPGEM/UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil, e-mail: [suelibferreira@yahoo.com.br](mailto:suelibferreira@yahoo.com.br)

Lana, M. S.

Professora/UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil, e-mail: [milene@demin.ufop.br](mailto:milene@demin.ufop.br)

Ribeiro, L. F. M.

Professor/UNB, Brasília, DF, Brasil, e-mail: [lmartins@unb.br](mailto:lmartins@unb.br)

Pereira, B. A.

Mestre, NUGEO/UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil, e-mail: [brasileu.agnaldo@csn.com.br](mailto:brasileu.agnaldo@csn.com.br)

**Resumo:** Este trabalho apresenta o estudo de uma ruptura em talude no Morro do Curral, localizado na Vila São José – Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. Os objetivos foram a caracterização geotécnica do xisto Sabará, formação preponderante na encosta, bem como a realização de retroanálises para determinação da posição do nível d'água à época da ruptura. A geometria da superfície de ruptura e os parâmetros obtidos nos ensaios de cisalhamento direto foram inseridos como dados de entrada nas retroanálises, utilizando o programa Geo-Slope.

**Abstract:** This work presents the study of a failure in an urban slope of the Morro do Curral's hill, situated in the São José neighbourhood – Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. The objectives of this work were the geotechnical characterization of Sabará's schist, principal formation of the hill, and the back analyses to evaluate the groundwater level position at failure time. The failure geometry surface and the results provided in direct shear tests were given as input into the back analyses, using the software Geo-Slope.

## 1 INTRODUÇÃO

Na cidade de Ouro Preto, as características morfológicas, climáticas e geológicas; o relevo forte e o alto índice pluviométrico, entre outros fatores, predispõem movimentos de massa e processos erosivos nas formações rochosas deste importante sítio histórico.

Na área objeto de estudo deste trabalho, no Morro do Curral, existe um histórico de ocorrência de movimentos de massa importantes e a situação atual aponta para riscos iminentes de novos movimentos.

O maciço rochoso do Morro do Curral pertence à Formação Sabará – Super Grupo Minas. As litologias características da área em estudo são filitos e xistos.

O Morro do Curral está situado a oeste da Praça Tiradentes, no centro histórico da cidade. 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 ruptura estudada neste trabalho ocorreu na Vila São José (Figura 1).

A encosta tem inclinação média de 45°, altura da ordem de 50 m, comprimento na base de 151 m. O topo apresenta uma cobertura vegetal rasteira e a base mostra uma conformação longitudinal em “S”. A drenagem é representada por dois talwegues principais (Fernandes, 2000).



Figura 1: Talude estudado, mostrando escorregamento.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Levantamento topográfico

Foi feito o levantamento topográfico de detalhe da superfície de ruptura, utilizando estação total (Ferreira, 2004). Esse levantamento possibilitou a obtenção da geometria exata da superfície de ruptura para fins de aplicação de métodos de equilíbrio-limite.

### 2.2 Amostragem

Foram retiradas amostras indeformadas do material rochoso de 30x30x30cm para realização de ensaios de cisalhamento e obtenção de índices físicos. Também foi feita a caracterização mineralógica do material por microscopia óptica em lâminas delgadas e por difratometria de Raios-X. Ferreira (2004) apresenta os resultados detalhados da caracterização mineralógica.

A amostragem foi feita em período chuvoso e na estiagem.

### 2.3 Caracterização geotécnica

Envolveu a caracterização mineralógica do material rochoso que constitui a encosta, bem como a determinação dos índices físicos e da resistência ao cisalhamento. Os resultados detalhados são encontrados em Ferreira (2004).

Nos ensaios de cisalhamento direto foram utilizadas amostras indeformadas, obtidas dos blocos amostrados e devidamente parafinados em campo. Os ensaios foram realizados na condição de umidade natural e inundados.

### 2.4 Análises de estabilidade

Os programas computacionais do pacote GEO-SLOPE foram utilizados. Na ausência de dados relativos ao fluxo foram simuladas diversas posições de níveis d'água a partir da utilização do programa SEEP/W.

As análises de equilíbrio-limite foram realizadas utilizando-se o programa SLOPE/W, com o objetivo de retroanalisar a ruptura ocorrida para aferição de parâmetros de resistência e estimação da posição aproximada do nível freático.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Caracterização geotécnica

O maciço rochoso é constituído por xisto e encontra-se muito alterado, apresentando uma decomposição não uniforme. Sendo o xisto uma rocha metamórfica bem laminada, composta quase que exclusivamente por micas e quartzo, alguns minerais do maciço original acham-se totalmente ou parcialmente transformados em outros, com exceção do quartzo, que é o

principal mineral constituinte da rocha analisada.

Do ponto de vista geotécnico o xisto presente no local encontra-se num estágio de transição entre rocha e solo, devido ao seu grau de alteração e sua baixa resistência.

### 3.1.1 Índices físicos e granulometria

Os principais índices físicos para o material rochoso foram determinados em laboratório; seus valores médios são apresentados na tabela 1.

Apesar da heterogeneidade do material observada em campo, não houve significativa variação nos valores dos índices físicos das diversas amostras ensaiadas.

Tabela 1 – Índices físicos do material (Ferreira, 2004).

Índices físicos	Valor médio
Índice de vazios	0,62
Porosidade	38%
Peso específico natural	20,17kN/m <sup>3</sup>
Peso específico dos grãos	2,84
Peso específico saturado	23,25kN/m <sup>3</sup>

A análise granulométrica permitiu classificar o material como silte arenoso a silte arenoso-argiloso (Figura 2). A percentagem de argila só foi detectada quando o ensaio de granulometria foi realizado com defloculante. Este fato indica que, nas condições reais do campo boa parte da fração de argila está agregada em grumos nas partículas de silte. Segundo Bressani *et al.* (1997), esta agregação é uma característica microestrutural comum nos solos residuais tropicais e subtropicais e tem grande influência no comportamento do material no que diz respeito à permeabilidade e à dissipação de poro-pressões.

### 3.1.2 Ensaio de cisalhamento

Nos problemas de engenharia é conveniente que rochas de muito baixa resistência ou muito intemperizadas sejam tratadas como solos, para efeito da sua caracterização física e obtenção de parâmetros de resistência. Tal é o caso do maciço rochoso do Morro do Curral na área estudada. Durante todo o trabalho o material foi classificado e caracterizado através da mesma metodologia utilizada para os solos.

Entretanto, trata-se de uma rocha com presença marcante de xistosidade que no local se encontra muito intemperizada. Em outras regiões da encosta, estudadas por Fernandes (2000), Pinheiro (2002) e Pinheiro *et al.* (2003), o maciço exibe rupturas típicas de

maciços rochosos condicionadas por superfícies de xistosidade e demais fraturas presentes.

No local de estudo deste trabalho, embora o maciço seja do mesmo tipo litológico dos autores supracitados, as rupturas são típicas de solos, com geometrias aproximadamente circulares, não condicionadas por superfícies de descontinuidades. Mas sendo uma rocha, a presença de anisotropia marcante e a xistosidade influenciam a resistência na superfície de ruptura. Vê-se então, que o caso estudado está por assim dizer no limite do comportamento entre uma rocha e um solo, tendo sido essa característica peculiar cuidadosamente analisada e observada durante os trabalhos realizados.

Foram realizados oito ensaios de cisalhamento direto para cada bloco amostrado, sendo quatro com umidade natural e quatro saturados. Os ensaios foram feitos com a tensão de cisalhamento aplicada paralelamente à superfície de xistosidade, que corresponde à superfície de fraqueza condicionante da resistência ao longo da superfície de ruptura.

A realização dos ensaios de cisalhamento foi dificultada porque o xisto se encontra profundamente alterado e friável. A maior dificuldade reside justamente na etapa de preparação das amostras.

Resultados típicos de ensaios de cisalhamento são mostrados na Figura 3.

Como esperado, observa-se que na condição de saturação, houve uma expressiva diminuição da tensão cisalhante de pico em relação aos corpos de prova na umidade natural. Quanto à variação de volume, todos os corpos de prova apresentaram contração até o ponto de ruptura; depois da ruptura começaram a expandir quando submetidos às tensões menores (50 kPa e 100 kPa).

Após a ruptura, para as tensões normais maiores (200 kPa e 400 kPa), houve contração de volume na maioria dos corpos saturados ou na umidade natural.

As envoltórias típicas de resistência para o material são apresentadas nas Figuras 4 e 5. Percebe-se uma significativa redução no ângulo de atrito em meio inundado, ou seja, com o aumento da saturação dos corpos de prova, o atrito entre as partículas diminui; o que não ocorreu com a mesma intensidade para a coesão. É provável que, em função dos baixos valores de coesão, esta diferença não seja perceptível.

Os ângulos de atrito obtidos para umidade natural situaram-se no intervalo de 26°-36°. Já no caso de corpos de prova saturados a faixa encontrada para os ângulos de atrito foi de 20°-24°. Já os valores de coesão não ultrapassaram 20 kPa.

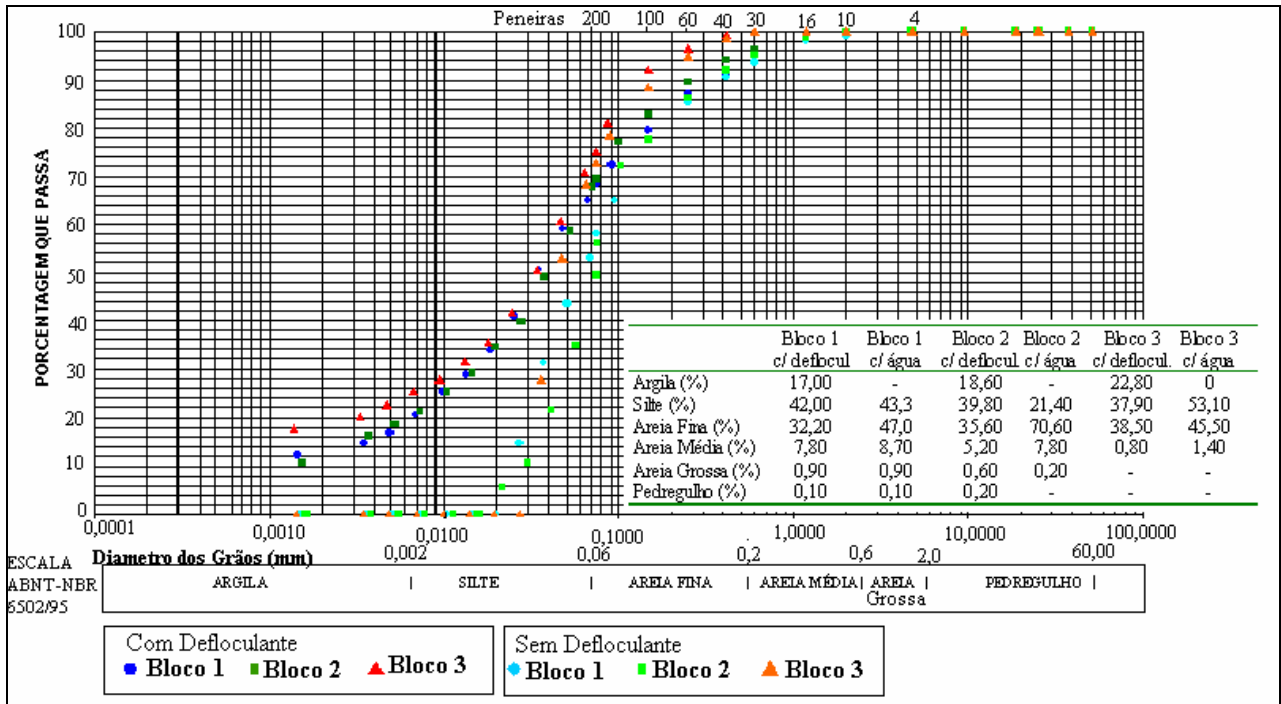


Figura 2: Análise granulométrica do material (Ferreira, 2004).

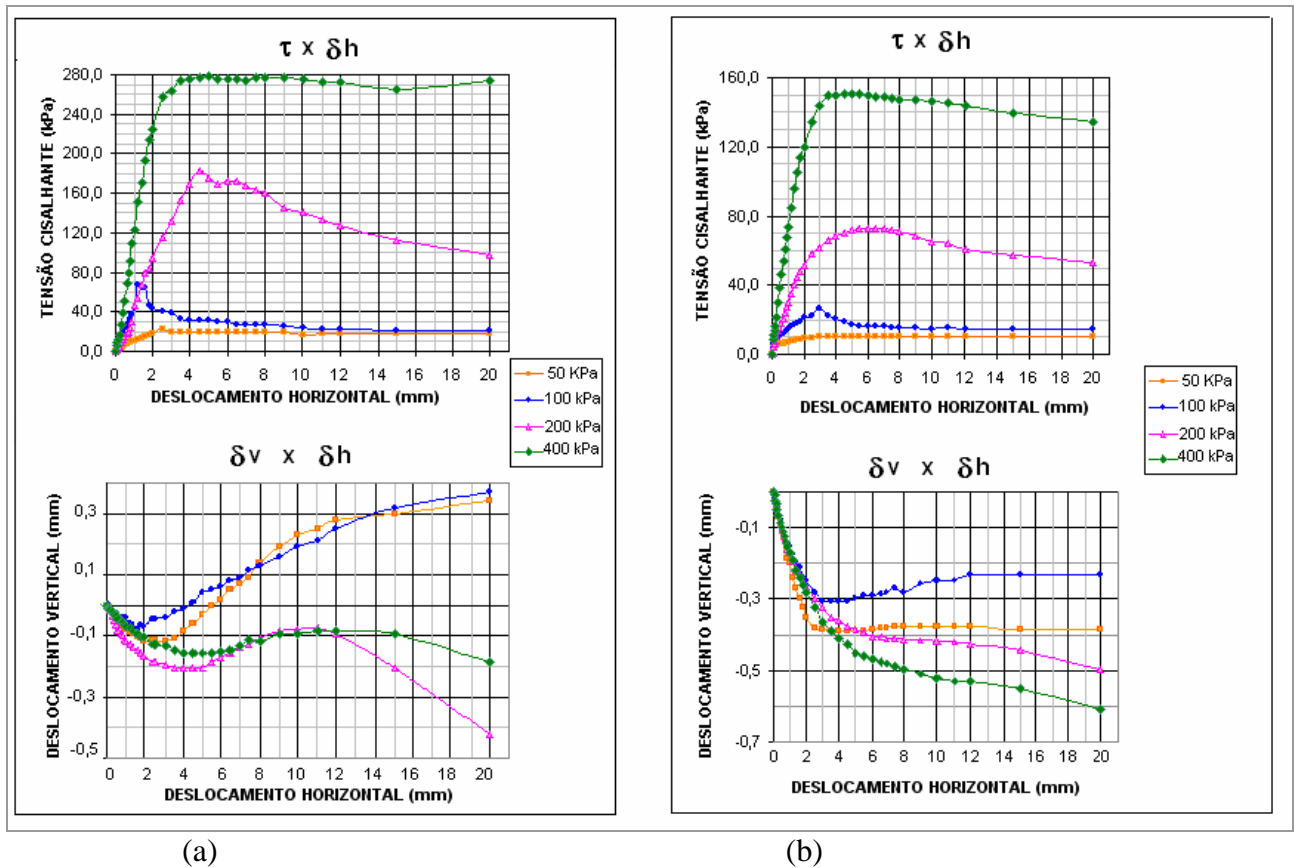


Figura 3: Curvas típicas para os ensaios de cisalhamento direto: (a) condição de umidade natural; (b) saturado. (Ferreira, 2004)

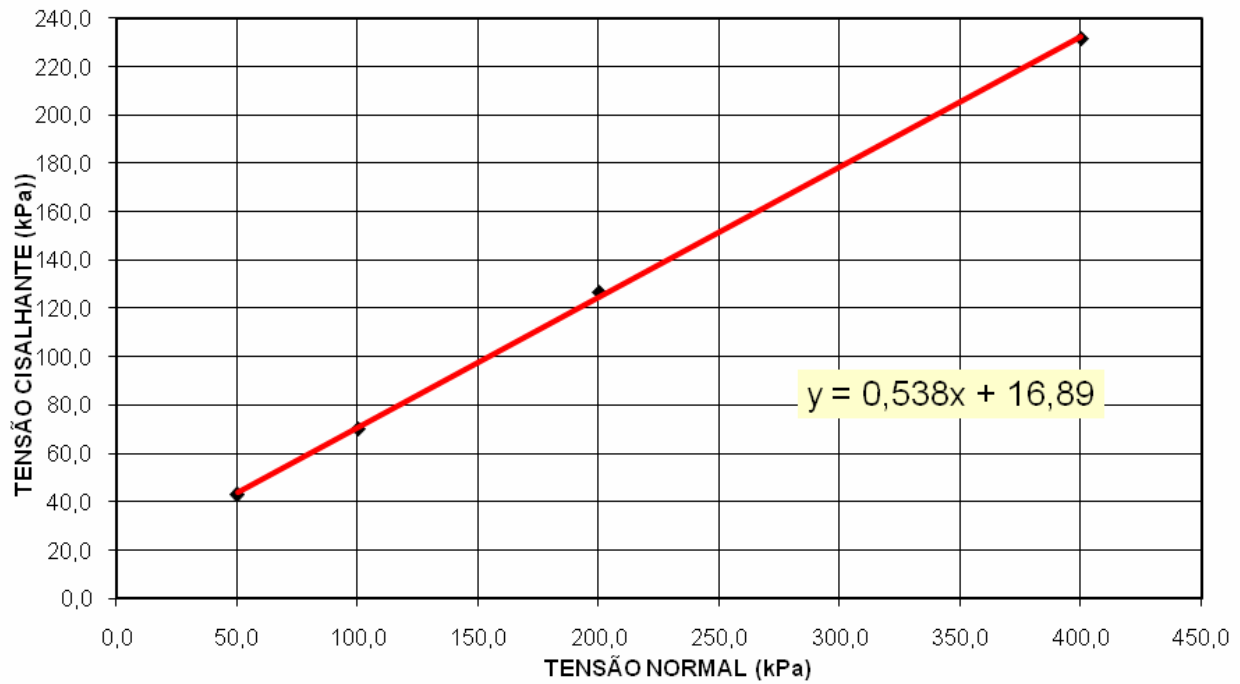


Figura 4: Envoltória típica para os ensaios de cisalhamento direto na condição de umidade natural (Ferreira, 2004).

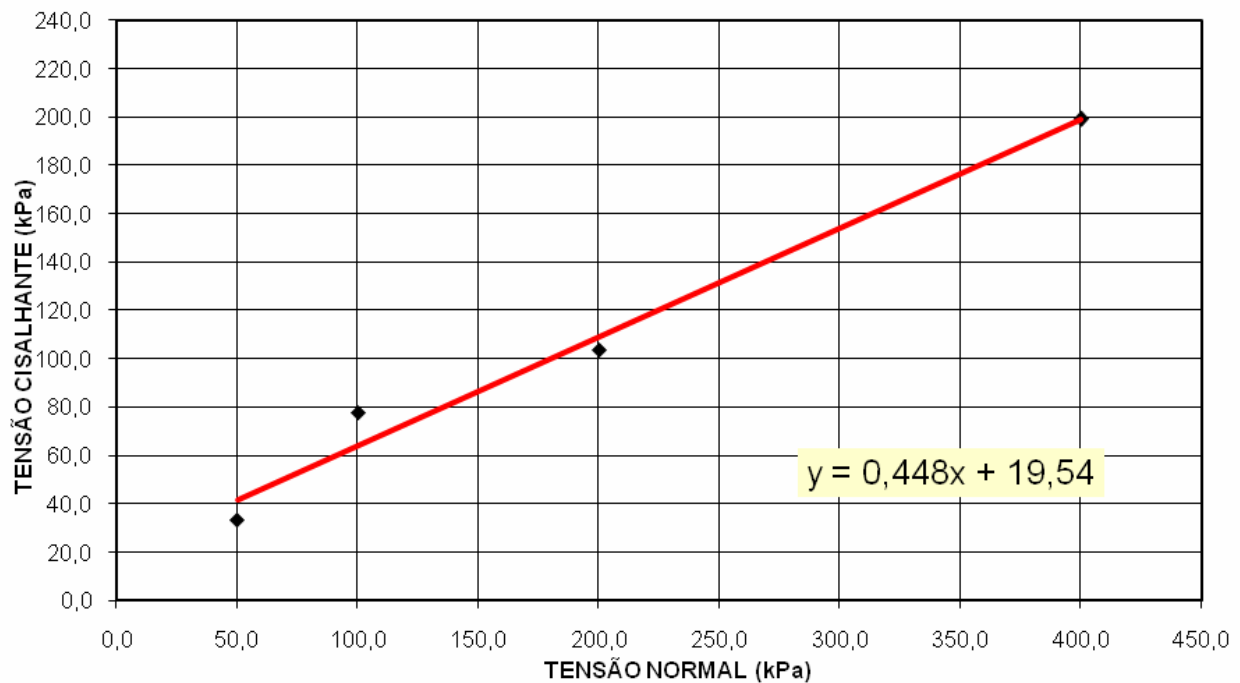


Figura 5: Envoltória típica para os ensaios de cisalhamento direto, condição de saturação (Ferreira, 2004).

### 3.2 Análises de estabilidade

#### 3.2.1 Entrada de dados para as retroanálises

Com o conjunto de parâmetros obtidos em laboratório e com o levantamento topográfico de detalhe da superfície de ruptura foram feitas retroanálises para determinação da posição do nível freático à época da ruptura, já que não se dispunham destes dados na encosta estudada.

Dois conjuntos de parâmetros de resistência ao cisalhamento do material foram utilizados. No primeiro caso os valores de coesão e ângulo de atrito para a condição de umidade natural são 17 kPa e 36°, respectivamente. Para o material saturado tem-se coesão de 17 kPa e ângulo de atrito de 24°. No segundo caso a coesão e o ângulo de atrito do material na condição de umidade natural são 8,5 kPa e 31°. Para o material saturado tem-se coesão de 8,5 kPa e ângulo de atrito de 22°.

O peso específico na condição de umidade natural foi de 20,17 kN/m<sup>3</sup> e o peso específico saturado foi de 23,25 kN/m<sup>3</sup>.

A figura 6 mostra o mapa topográfico e os perfis utilizados nas retroanálises, indicando a superfície de ruptura, que foi obtida a partir do levantamento topográfico. Várias seções foram levantadas, como mostra a figura 6.

Diversas posições para o nível freático foram consideradas na realização das retroanálises. Na determinação dessas posições foram utilizadas as funções de condutividade hidráulica e de teor de umidade volumétrica, características do silte argiloso, disponíveis no programa SEEP/W, do pacote do GEO-SLOPE, ver Figuras 7 e 8. O efeito da sucção, presente em materiais não saturados foi levado em conta.

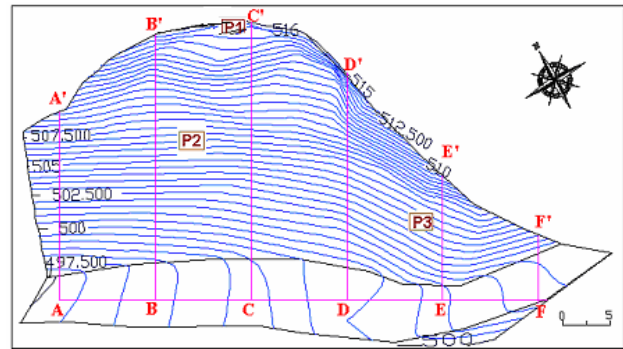
Em termos de condições de contorno todas as fronteiras foram consideradas impermeáveis, com exceção da fronteira lateral direita onde foram utilizados elementos infinitos e da fronteira lateral esquerda em que a condição de contorno se baseou numa função da carga total versus tempo, Figura 9.

A Figura 8 mostra a malha de elementos finitos utilizada no SEEP/W e as fronteiras do problema.

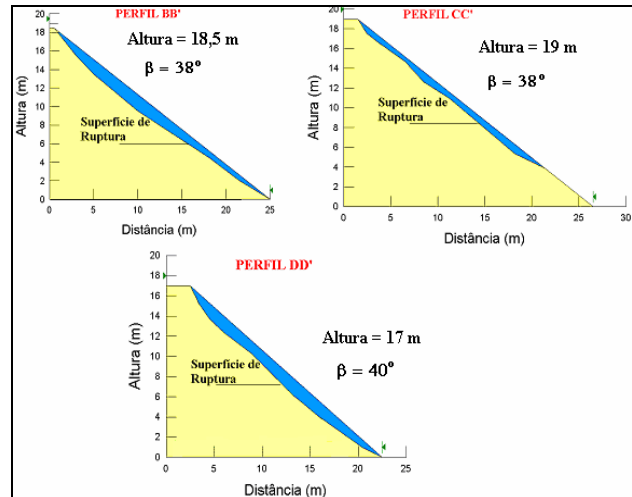
A Figura 9 mostra a função carga versus tempo utilizada para estabelecer a condição de contorno para a fronteira lateral esquerda.

A função carga total versus tempo permite a consideração da variação da posição do nível d'água, fenômeno típico na encosta, associado à variação dos índices pluviométricos locais.

As diversas posições possíveis do nível freático, obtidas no SEEP/W para a seção D'D são mostradas na Figura 10.



(a)



(b)

Figura 6: (a) Mapa topográfico; (b) Perfis utilizados nas retroanálises com superfície de ruptura indicada.

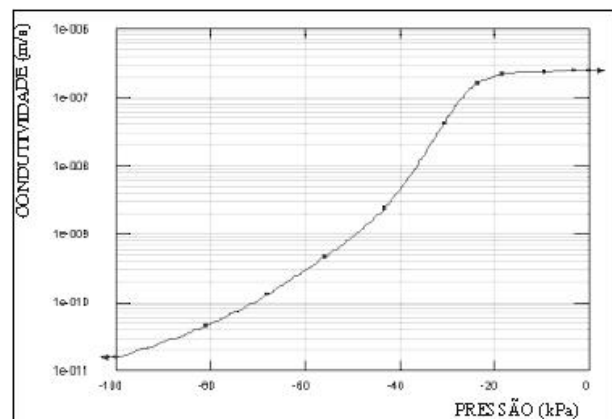


Figura 7: Função condutividade hidráulica para o silte, SEEP/W.

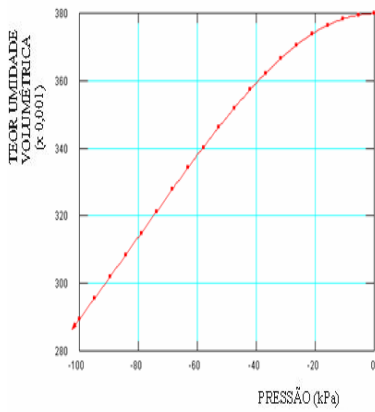


Figura 7: Função teor de umidade volumétrica para o silte, SEEP/W.

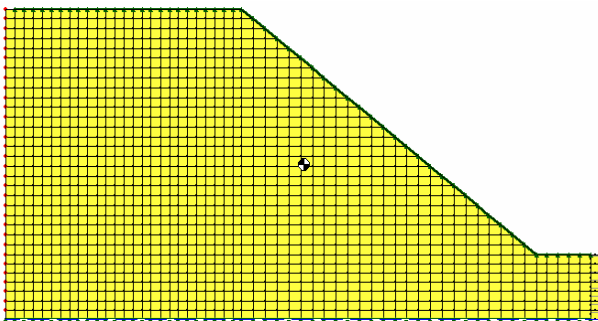


Figura 8: Talude com malha de elementos finitos e fronteiras externas, SEEP/W.

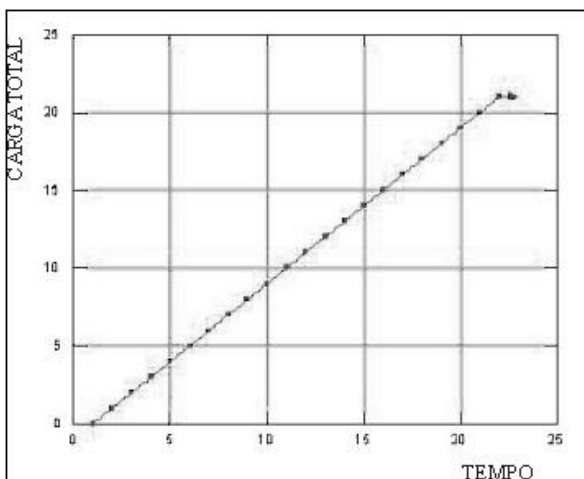


Figura 9: Função da carga total vs. tempo para a condição de contorno da fronteira lateral esquerda, SEEP/W.

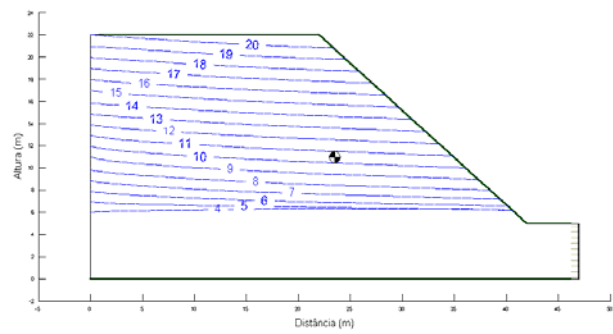


Figura 10: Posições do nível freático para a seção D'D, SEEP/W.

### 3.2.2 Resultados das retroanálises

As diferenças observadas na altura do nível d'água para as situações de equilíbrio limite encontradas ocorrem devido às diferenças entre as superfícies de ruptura em cada seção analisada. O problema analisado é na realidade tridimensional, o que explica estas diferenças. Mesmo assim, a análise bidimensional realizada estabelece a posição aproximada do nível d'água, informação muito relevante para análises futuras que venham a ser realizadas na encosta.

O equilíbrio limite é atingido quando o nível d'água, acima do pé do talude nas seções B'B, C'C e D'D, for aproximadamente igual a 10, 13 e 11m na melhor situação (valores mais altos de resistência) e 8, 11 e 6m na pior situação (valores mais baixos de resistência). As Figuras 11 e 12 mostram os resultados das retroanálises para a seção C'C, com a posição do nível freático indicada.

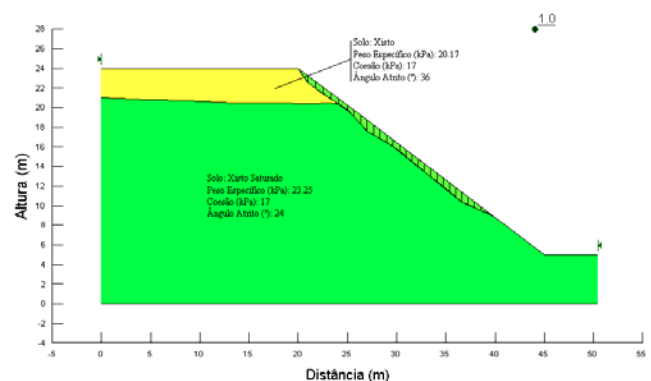


Figura 11: Equilíbrio limite para a seção C'C, melhor situação, SLOPE/W.

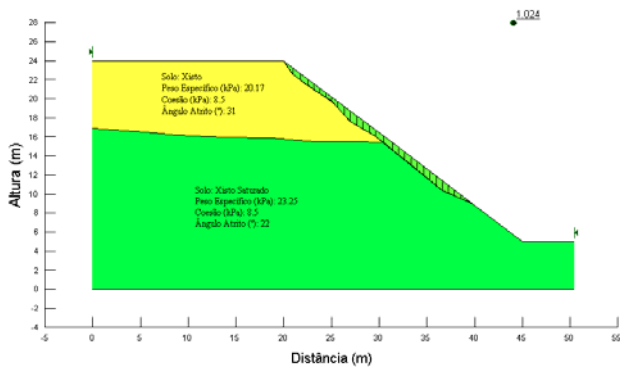


Figura 12: Equilíbrio limite para a seção C'C, pior situação, SLOPE/W.

#### 4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS

Neste trabalho a caracterização geotécnica do material rochoso da encosta estudada, os levantamentos em campo e a determinação por retroanálises da posição aproximada do lençol freático à época da ruptura permitiram definir as condições que propiciam escorregamentos de material no local.

A determinação, ainda que aproximada, da posição do nível freático é uma contribuição importante para um possível projeto de estabilização da encosta.

Destaca-se também a caracterização geotécnica do material da encosta como uma contribuição relevante, já que pouco conhecimento existe acerca do comportamento dos xistos e filitos em encostas da região.

#### 4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio à realização deste trabalho.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bressani, L. A.; Horn M. R.; Bica A. V. D.; Gehling, W. Y. Y. (1997) Estudo da Resistência ao Cisalhamento de um Solo Residual de Granito da Região de Porto Alegre, RS. Anais do III Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Vol. 1, Rio de Janeiro, 199-206.
- Fernandes, G. (2000). Caracterização Geológico-Geotécnica e Proposta de Estabilização da Encosta do Morro do Curral. Centro de Artes e Convenções de

Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, UFOP, Ouro Preto, 136p.

Ferreira, S. B. (2004) Estudo de ruptura em talude urbano no Morro do Curral. Dissertação de Mestrado, UFOP, Ouro Preto, 87p.

GEO-SLOPE (2002). SEEP/W.

GEO-SLOPE (2002). SLOPE/W.

Pinheiro, A. L. (2002) Análise de Rupturas em Taludes no Morro do Curral. Dissertação de Mestrado, UFOP, Ouro Preto, 116p.

Pinheiro, A. L.; Sobreira, F. G.; Lana, M. S. (2003). Influência da expansão urbana nos movimentos em encostas na cidade de Ouro Preto, MG. REM – Revista da Escola de Minas, v.56, n.3, pp. 169-174.