

# ESTUDO DE UMA RUPTURA EM TALUDE URBANO NO MORRO DO CURRAL – OURO PRETO

Failure's Study in an Urban Slope at Morro do Curral's hill- Ouro Preto

Sueli Batista Ferreira\*

Milene Sabino Lana\*\*

Luis Fernando Martins Ribeiro\*\*\*

Brasileu Agnaldo Pereira\*\*\*\*

**RESUMO** – Este trabalho apresenta o estudo de uma ruptura de um 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. Concluiu-se que a drenagem na área é fundamental, pois o fator de segurança é crítico quando há presença de água no talude.

**SYNOPSIS** – 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. It was concluded that drainage is fundamental in the slope studied, as the factor of safety is critical in presence of water in the slope.

**PALAVRAS CHAVE** – Escorregamentos em encostas, pressões neutras, retroanálises.

## 1 – INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa que interferem com a ocupação urbana na base de encostas constituem problemas dos mais importantes em geotecnia. Esta situação representa um grande impacto na ocupação das cidades em geral, principalmente naquelas que se encontram encravadas nos flancos de serras e montanhas. A sua análise conduz às investigações geotécnicas; e são pertinentes quanto a disciplinar a ocupação do espaço urbano em geral.

No caso da 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.

---

\* Mestre em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto – MG, Brasil.

E-mail: [suelibferreira@ibest.com.br](mailto:suelibferreira@ibest.com.br)

\*\* Doutora, Professora do Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto – MG, Brasil. E-mail: [milene@demin.ufop.br](mailto:milene@demin.ufop.br)

\*\*\* Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília – DF. E-mail: [lmartins@unb.br](mailto:lmartins@unb.br)

\*\*\*\* Mestre em Engenharia Civil, Engenheiro geotécnico, BVP Engenharia. E-mail: [brasileu.agnaldo@bvpengenharia.com.br](mailto:brasileu.agnaldo@bvpengenharia.com.br)

A ocupação e o crescimento urbano da cidade, desde o início de seu povoamento mostram não ter havido compromisso com a preservação do patrimônio histórico e com o planejamento urbano. Preocupação que todas as cidades devem ter sempre em foco e em particular uma cidade histórica e patrimônio mundial como Ouro Preto.

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 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).

O escorregamento estudado ocorreu no reperfilamento localizado na vila São José; a suavização da encosta foi realizada após um dos maiores movimentos de massa ocorridos na cidade, em 1979.



**Fig. 1** – Núcleo populacional da vila São José na base do Morro do Curral.

Em decorrência de acidentes e prejuízos causados por fortes chuvas, em tempos passados, especialmente o movimento ocorrido em 1979, questiona-se a urbanização na encosta do Morro do Curral, sem um planejamento adequado, especialmente sob o ponto de vista geotécnico.

Neste trabalho as condições existentes no maciço rochoso à época do escorregamento foram reconstituídas. A geometria da superfície de ruptura foi levantada em nível de detalhe. Ensaios de cisalhamento direto foram feitos para caracterizar o material e a posição do nível d'água foi obtida por retroanálises.

A grande carência de informações quantitativas acerca dos movimentos de massa na cidade de Ouro Preto foi uma das motivações do presente trabalho. A obtenção dessas informações é de grande relevância para os estudos geotécnicos que visam disciplinar a ocupação do espaço urbano da cidade.

## 2 – HISTÓRICO DA ÁREA

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 sistema de fracturas em alguns níveis filíticos é bastante contínuo, proporcionando áreas de fragilidade. O estudo da Formação Sabará é complicado pelo fato de que em muitos pontos a formação se transformou pelo intemperismo num saprolito, sendo escassas as exposições de rocha fresca, (Sobreira, 1990). O xisto, nos locais mais alterados, tem uma coloração de castanho a avermelhado, demonstrando sua oxidação.

Morfológicamente a encosta tem inclinação média de 45°, altura da ordem de 50 m, comprimento na base de 151 m. Apresenta perfil irregular, com escarpas quase verticais e aproximadamente paralelas, vertentes irregulares, com declives variáveis. 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).

Após as fortes chuvas ocorridas em Dezembro/78 a Fevereiro/79 foram registrados vários escorregamentos em Ouro Preto. O mais grave e também maior deles ocorreu na vila São José, onde a encosta foi atingida por fendas, as quais deslocaram um volume de aproximadamente 100.000 m<sup>3</sup> de material. A área localizada nos fundos da Rua Dr. Horlando Ramos e Dr. Albino Sartori foi retaludada para funcionar como área de segurança quanto a possíveis novos escorregamentos. O projeto, elaborado em 1979, previa, além da remoção de aproximadamente 500.000 m<sup>3</sup> de material, a instalação de um completo sistema de drenagem e a cobertura vegetal com grama em todos os taludes. Um ano mais tarde, em Junho de 1980, constatou-se a reativação de antigos escorregamentos, em virtude da não implantação do sistema de drenagem previsto (Figura 2).



**Fig. 2** – Rua Dr. Albino Sartori, Vila São José. À direita, os fundos das residências na rua Dr. Horlando Ramos após as chuvas de 1980. (Fonte: IPHAN).

Várias empresas e órgãos se responsabilizaram pelo projeto de suavização da encosta; Tecnosolo, Secretaria de Planejamento – SEPLAN-MG, Departamento de Estradas e Rodagem – DER-MG, dentre outras, recomendando ao IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional), responsável juntamente com a Prefeitura pela obra, que a encosta não deveria, em nenhuma hipótese, receber ocupação de tipo permanente como moradia ou outras edificações. Dentre as sugestões para inibir a ocupação inadequada, os técnicos recomendaram a construção de um tapume (cerca de arame) contornando os limites inferiores da área de terraplanagem; e que se implantasse

um bosque, com árvores de porte médio (ou pomar), para reforçar a estabilidade do terreno diluindo a agressividade visual da obra. Esses procedimentos não foram seguidos, como pode ser visto na Figura 3, que atesta a dificuldade de controle da ocupação urbana em Ouro Preto.

Bonuccelli (1999) fez um levantamento, junto ao corpo de bombeiros, relativo aos movimentos gravitacionais de massa e processos associados no município de Ouro Preto. Das 488 ocorrências feitas pelo corpo de bombeiros na área urbana de Ouro Preto, entre 1988 e 1998, cinco delas foram na Vila São José às quais registraram quatro atendimentos na rua Doutor Albino Sartori, referentes a escorregamentos e inundações – em Novembro/89, Fevereiro/92, Outubro/93 e Janeiro/97 – e uma ocorrência na rua Doutor Afonso Baeta, por risco de escorregamento e queda de bloco, em Dezembro/95.



**Fig. 3** – Ocupação após o reperfilamento na rua Dr. Horlando Ramos.  
À direita a ocupação atual. (Fonte: IPHAN).

Sobreira (1990) considera o reperfilamento da Vila São José como um dos pontos mais problemáticos da cidade. Foi constatado que a ocupação inadequada da área é o principal fator de periculosidade quanto ao risco geológico, que deveria ser combatido para prevenir acidentes.

Pinheiro *et al.* (2003) fazem considerações acerca da influência da expansão urbana nos movimentos ocorridos no Morro do Curral, chamando a atenção para a descoordenação dos órgãos fiscalizadores. Estes autores salientam a importância da realização de trabalhos voltados à geração de dados sobre as características dos terrenos que ainda são bastante escassos. Esta mesma preocupação é evidenciada por Fernandes (2000).

### 3 – METODOLOGIA

A metodologia empregue obedeceu às seguintes etapas:

- a) Levantamento topográfico de detalhe da superfície de ruptura utilizando estação total. Esse levantamento possibilitou a obtenção da superfície de ruptura em planta e em secção para fins de aplicação de métodos de equilíbrio limite.

- b) Caracterização do material: determinação da composição mineralógica por microscopia óptica em lâminas delgadas e difratometria de Raios-X e análise granulométrica para determinação da distribuição de tamanho das partículas do material que constitui a encosta. Também foram obtidos os índices físicos do material.
- c) Amostragem: foram retiradas amostras indeformadas de 30x30x30 cm<sup>3</sup> para ensaios de cisalhamento direto. Foram realizadas duas amostragens; uma em período chuvoso e outra na estiagem. Parte dos blocos ficaram inutilizados por rachaduras e macroporos derivados de raízes mortas e de origem animal (principalmente formigueiro), confirmando o quão alterado e intemperizado se encontra o xisto, em alguns pontos da encosta.
- d) Ensaios de cisalhamento direto – obedeceram a duas etapas: depois de aplicado sobre o corpo-de-prova a tensão normal ( $\sigma$ ) e após a estabilização das deformações verticais, foi aplicada a tensão cisalhante ( $\tau$ ) a uma velocidade de 0,04 mm/s, sob condições drenadas. Para a determinação da envolvente de resistência fizeram-se ensaios em diferentes níveis de tensões normais: 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa e 400 kPa. Esses ensaios foram realizados na condição de umidade natural e inundados para simular a pior situação no campo. Todos os ensaios foram realizados no laboratório de Geotecnia da UFOP e seu procedimento detalhado, inclusive para cálculo da velocidade de aplicação de carga, é descrito por Ferreira (2004).

A determinação das prováveis posições dos níveis d'água (NAs) foram feitas com a utilização do programa SEEP/W e a análise da estabilidade de taludes com o SLOPE/W, ambos do pacote GEO-SLOPE.

## 4 – RESULTADOS

### 4.1 – Composição Mineralógica

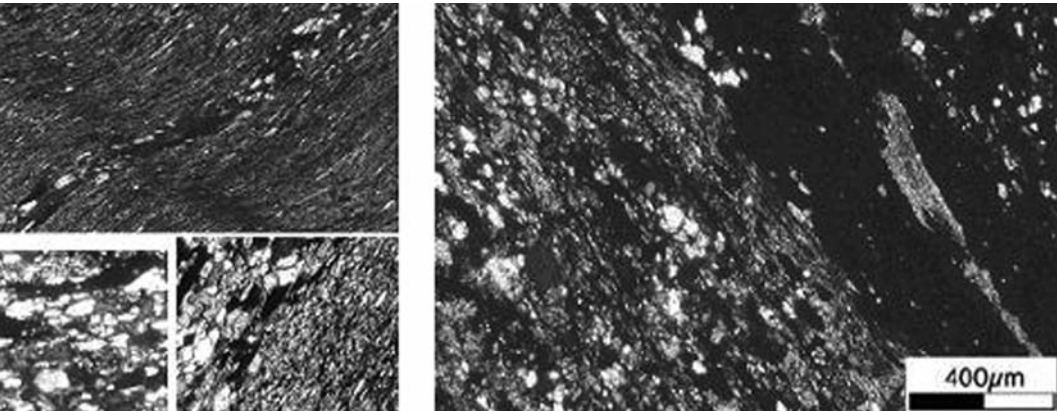
No Quadro 1 apresentam-se os resultados obtidos na análise mineralógica através de lâminas delgadas e detectados pela difratometria de RX. Os blocos 1, 2 e 3 no Quadro 1 representam amostras retiradas do talude (P1, P2 e P3 na figura 14). O quartzo, o principal constituinte da rocha analisada, encontra-se presente na faixa 48% a 95%, apresenta-se incolor, subédrico a anédrico, concordante com a xistosidade. Alguns cristais apresentam extinção ondulante, relevo baixo; está orientado e localmente apresenta-se dobrado, mostra cristais médios e grossos; apresenta-se também como agregados (cherts) com predomínio de cristais finos. A sericite, segundo principal cons -

**Quadro 1** – Análise Mineralógica das lâminas delgadas e difratometria de RX.

Bloco	Lâmina Delgada (%)	Minerais do RX	Rocha
1	Quartzo (95), Opacos (3), Clorite(1), Sericite (1).	Quartzo e Caulinite	Quartzito – Ferruginoso
2	Quartzo (48), Sericite (35), Hematite (15), Turmalina (1), Muscovite (1).	Muscovite, Quartzo e Caulinite	Quartzo – Mica – Xisto
3	Quartzo (65), Sericite (22), Opacos (10), Turmalina (1), Clorite (1), Muscovite (1).	Muscovite, Quartzo e Caulinite	Mica – Quartzito



tituinte encontrado, ocorre sobre a forma de agregados fibrosos, com hábito tabular, amarelada, lepidoblástica, clivagem excelente, relevo moderado, com escamas minúsculas de brilho sedoso, é um produto da alteração do feldspato; varia de 1% a 35%. Os demais constituintes são hematite, turmalina, clorite, muscovite e opacos, ocorrem juntos em até 17%. A Figura 4 mostra os minerais encontrados nas lâminas delgadas.



**Fig. 4** – Contato de nível quartzozo com nível de muscovite e quartzito ferruginoso. Polarizadores cruzados.

### 4.2 – Caracterização geotécnica

Nos mesmos locais onde foi feita a amostragem para caracterização mineralógica foram retirados os blocos indeformados para caracterização geotécnica e realização de ensaios de cisalhamento. No Quadro 2 mostram-se os índices físicos do material que representam os índices médios das amostras caracterizadas. Apesar da heterogeneidade do material observada nos blocos indeformados não houve significativa variação nos valores dos índices físicos.

**Quadro 2** – Índices físicos do material.

Índice	Valor médio
Índice de vazios (e)	0,62
Porosidade (n)	38%
Peso específico natural ( $\gamma$ )	20,17 kN/m <sup>3</sup>
Peso específico dos grãos (G)	2,84
Peso específico saturado ( $\gamma_{sat}$ )	23,25 kN/m <sup>3</sup>

A análise granulométrica (Figura 5) permitiu classificar o material como silte arenoso a silte areno-argiloso. 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.

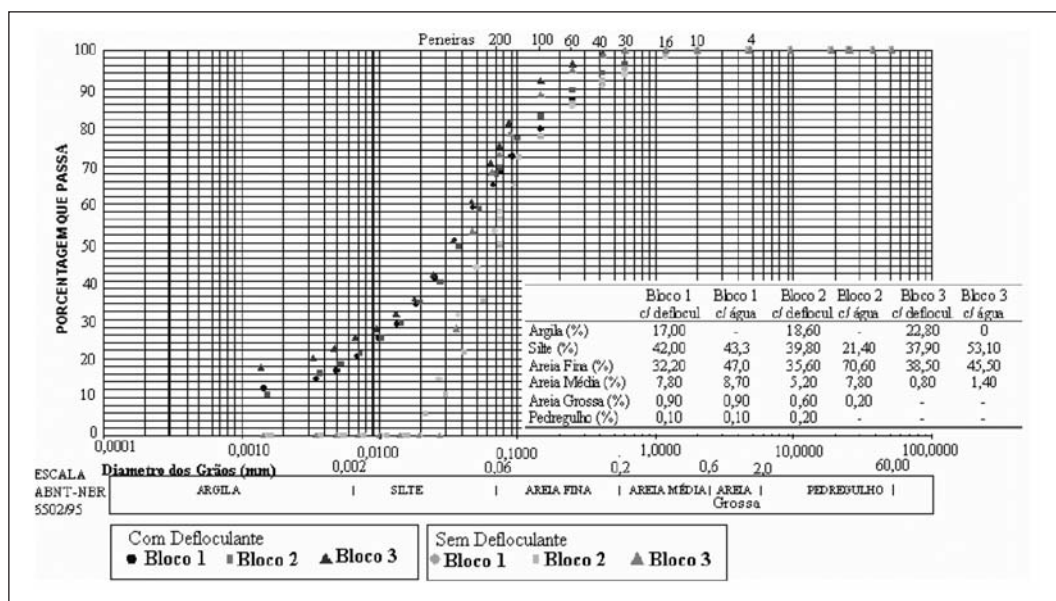


Fig. 5 – Curvas granulométricas típica do material.

### 4.3 – Ensaios 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 xistosidades e demais fraturas presentes.

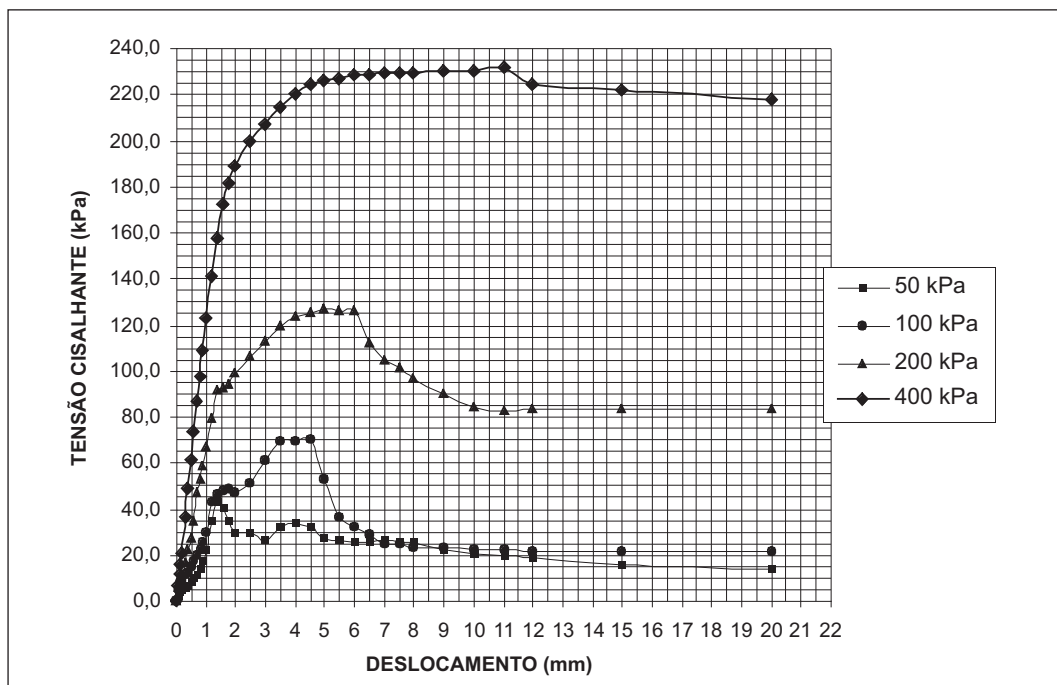
No local de estudo deste trabalho, embora o maciço seja do mesmo tipo litológico dos autores supracitados, as rupturas são típicas de solos, de forma aproximadamente circulares, não condicionadas por superfícies de descontinuidades. Mas sendo uma rocha, a presença de anisotropia marcante e a xistosidade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

Foram realizados oito ensaios para cada bloco, 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 do movimento.

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

Na Figura 6 apresentam-se curvas típicas tensões de cisalhamento versus deslocamento horizontal para o material, no estado de umidade natural. Na Figura 7 as mesmas curvas são apresentadas para a condição saturada.

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; os corpos de



**Fig. 6** – Curvas típicas tensão cisalhante versus deslocamento, umidade natural.

prova obtidos dos blocos 1 e 2, depois da ruptura começaram a expandir quando submetidos às tensões menores (50 kPa e 100 kPa), enquanto o corpo de prova referente ao bloco 3 (saturado) sob tensão de 50 kPa apenas sofreu contração.

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, exceto para o bloco 1, que em meio natural também se expandiu.

Na Figura 8 e na Figura 9 são apresentadas as envoltórias típicas de ruptura para o material para as condições de umidade natural e saturada, respectivamente. A partir destas figuras 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 diminuiu, 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.

Pinheiro (2002) encontrou valores de coesão e ângulo de atrito para a xistosidade, através da aplicação de retroanálise, em escorregamento planar segundo essa descontinuidade no Morro do Curral; valores esses bem próximos aos resultados dos ensaios realizados neste trabalho nessa superfície paralelos à superfície de xistosidade.

## 4.4 – Retroanálises

### 4.4.1 – Propriedades do material

Para efeito das retroanálises foram consideradas três situações – pior, melhor e intermédia assim caracterizadas:

- Pior situação: para esta situação foram escolhidos os menores parâmetros de resistência ( $c'$  e  $\phi'$ ), obtidos dos ensaios de cisalhamento direto. A coesão e o ângulo de atrito do solo natural são 0 kPa e  $26^\circ$  e para o solo saturado 0 kPa e  $20^\circ$ ;



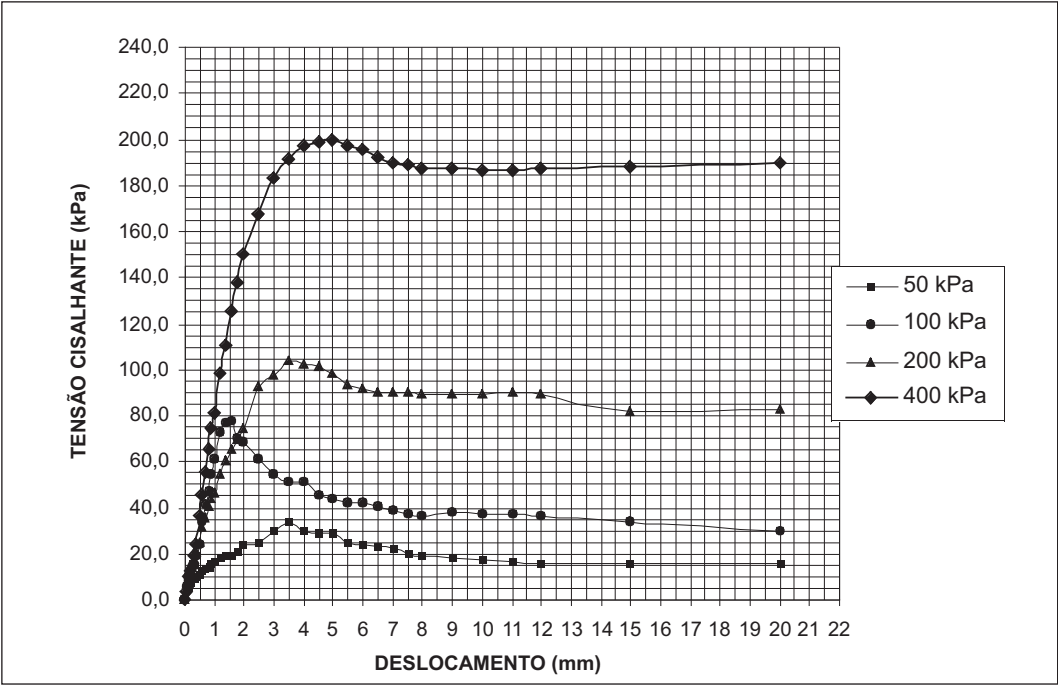


Fig. 7 – Curvas típicas tensão cisalhante versus deslocamento, condição de saturação.

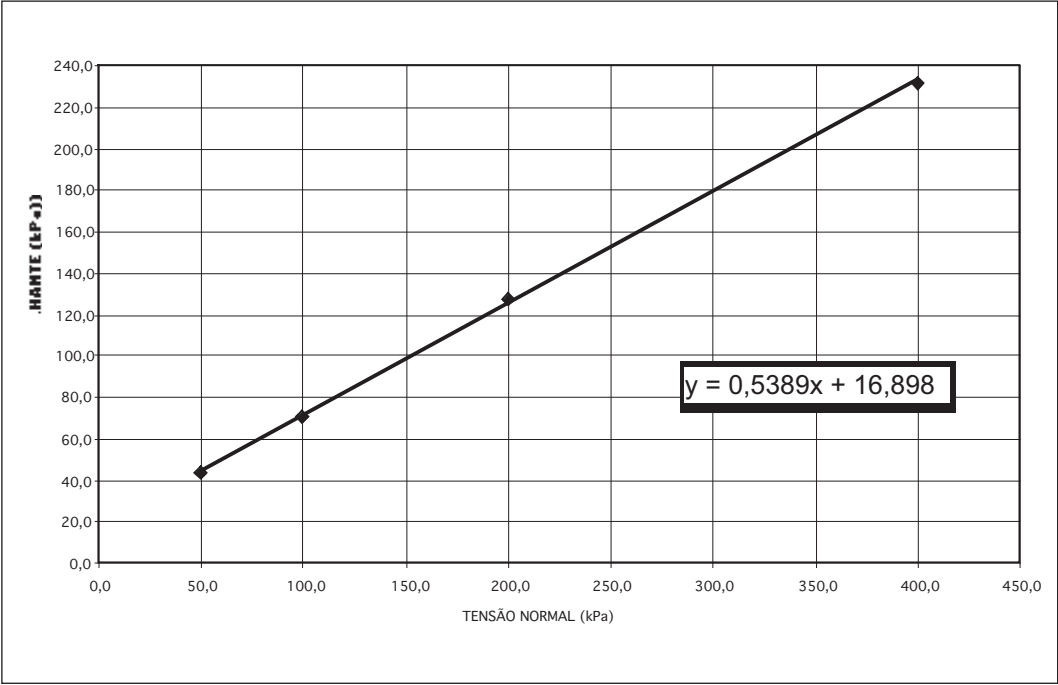
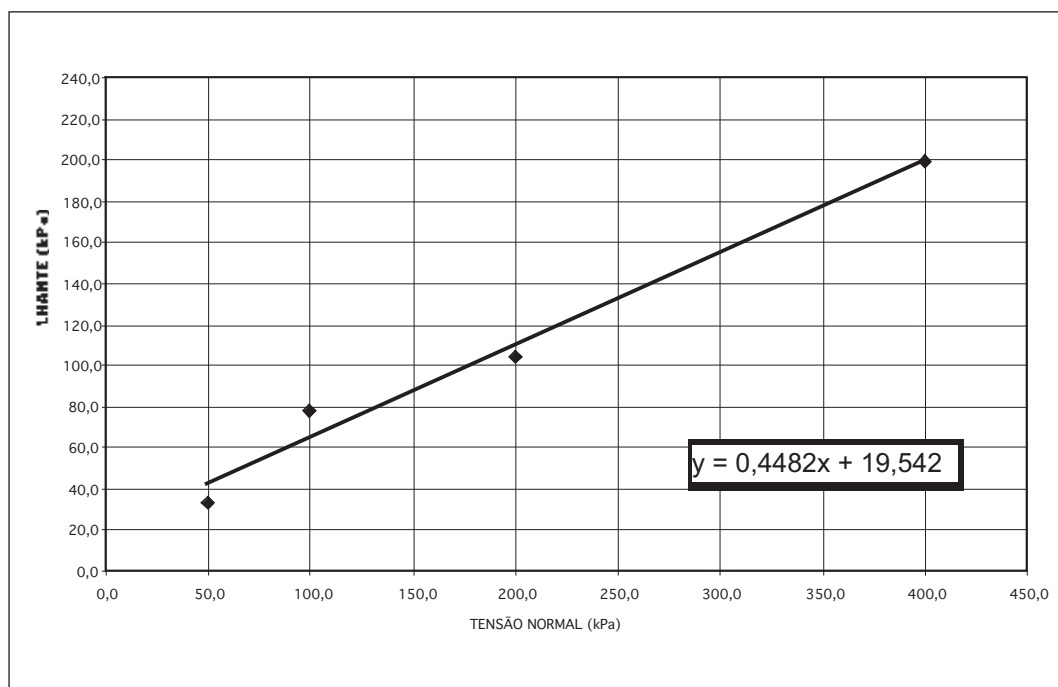


Fig. 8 – Envoltória típica de resistência, umidade natural.



**Fig. 9** – Envoltória típica de resistência, condição de saturação.

- b) Melhor situação: para esta situação foram escolhidos os maiores parâmetros de resistência ( $c'$  e  $\phi'$ ), obtidos dos ensaios de cisalhamento direto. Assim, a coesão e o ângulo de atrito do solo natural são 17 kPa e  $36^\circ$  e para o solo saturado 17 kPa e  $24^\circ$ ;
- c) Situação intermédia: para esta situação utilizou-se a média das situações anteriores. Assim a coesão e o ângulo de atrito do solo natural são 8,5 kPa e  $31^\circ$  e para o solo saturado 8,5 kPa e  $22^\circ$ .

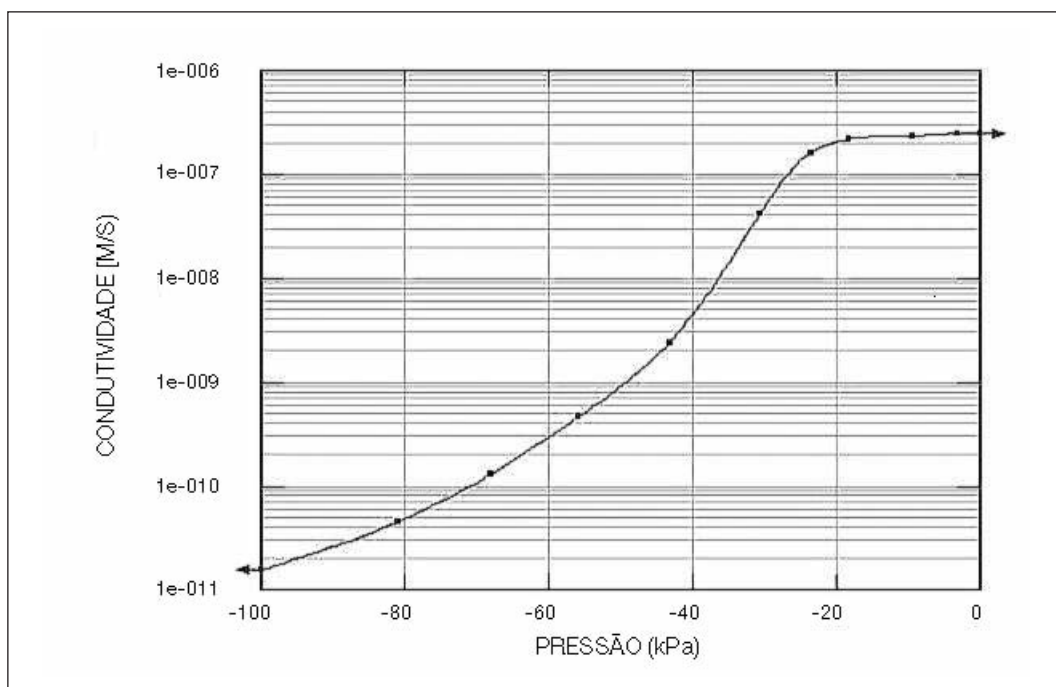
O maciço foi dividido em dois materiais, natural e saturado, sendo que o natural está acima do lençol freático e o saturado abaixo. O peso específico do material natural é igual a  $20,17 \text{ kN/m}^3$  e do saturado é  $23,25 \text{ kN/m}^3$ , conforme resultados obtidos no laboratório.

#### 4.4.2 – Determinação da posição do nível d'água

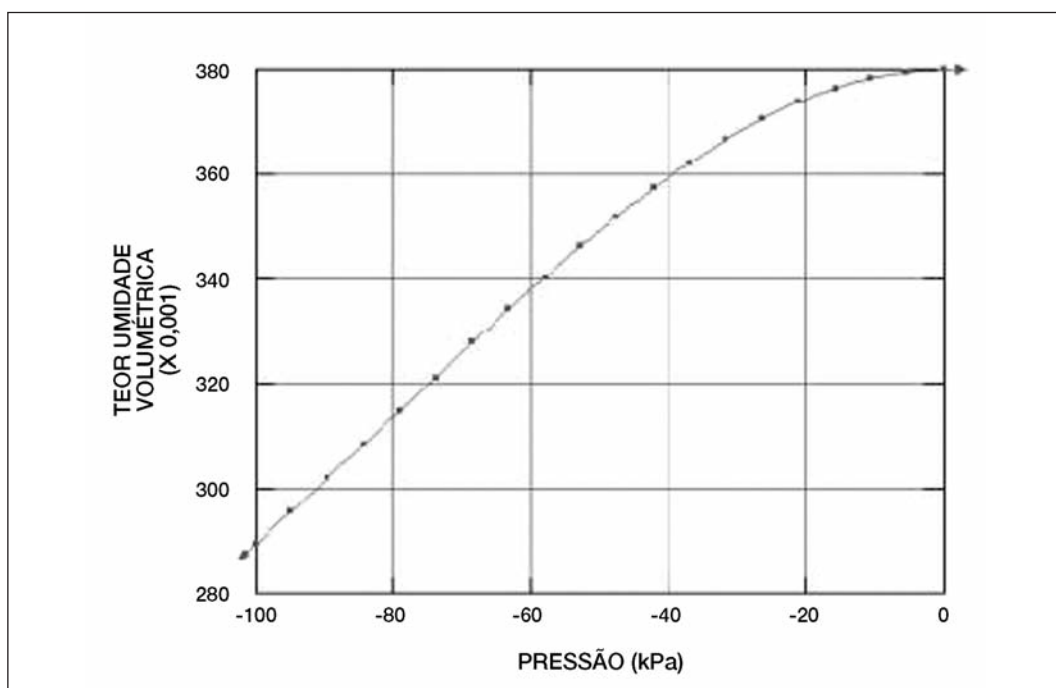
Como não existiam medidas de piezômetros no local, as retroanálises foram feitas para diversas posições possíveis do nível d'água. Para a determinação dessas posições nas seções analisadas foram utilizadas as funções de condutividade hidráulica e teor de umidade volumétrica (Figura 10 e Figura 11) disponíveis no SEEP/W e escolhidas em função da classificação do maciço como silte arenoso.

As funções apresentadas na Figura 10 e Figura 11 permitem levar em conta o efeito da sucção presente em materiais não saturados.

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.



**Fig. 10** – Função condutividade hidráulica versus pressão para silte, disponível no SEEP/W.

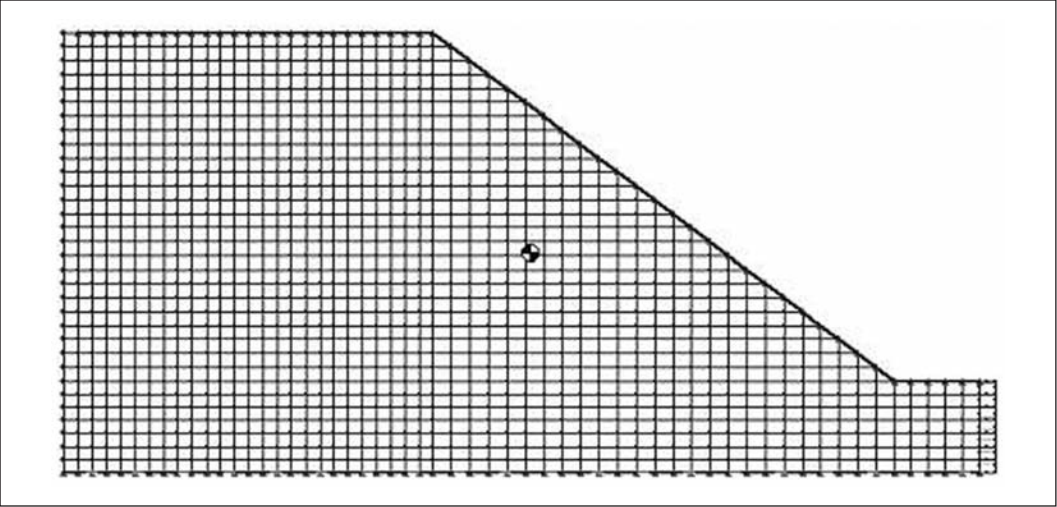


**Fig. 11** – Função teor de umidade volumétrica versus pressão para silte, disponível no SEEP/W.

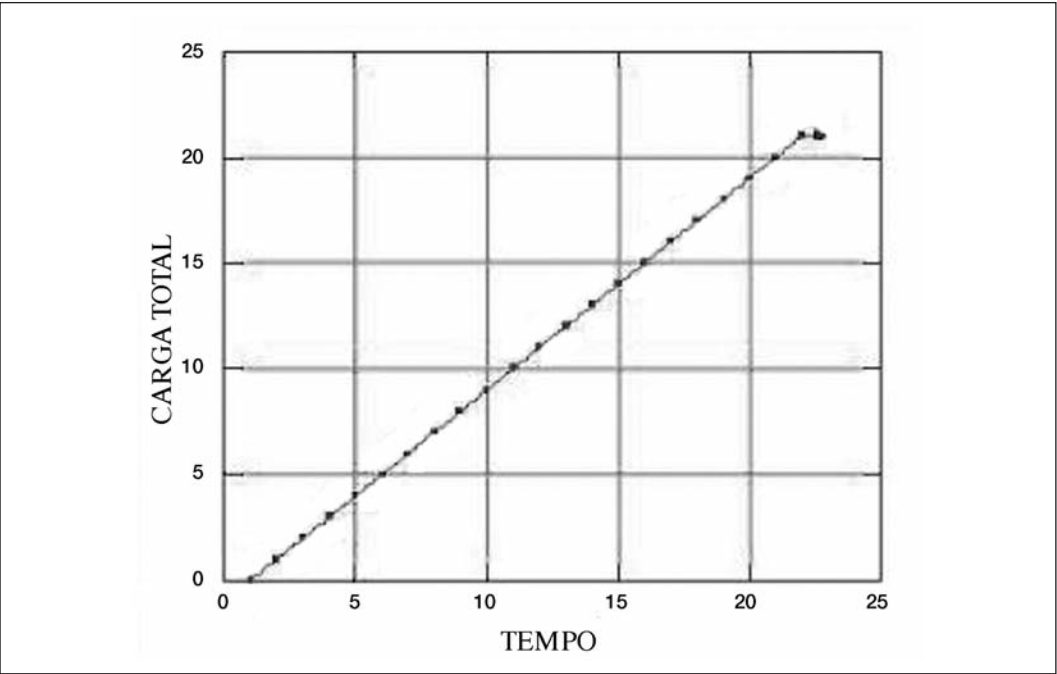
A Figura 12 mostra a malha de elementos finitos utilizada no SEEP/W e as fronteiras do problema.

A Figura 13 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.



**Fig. 12** – Talude com malha de elementos finitos e fronteiras externas.



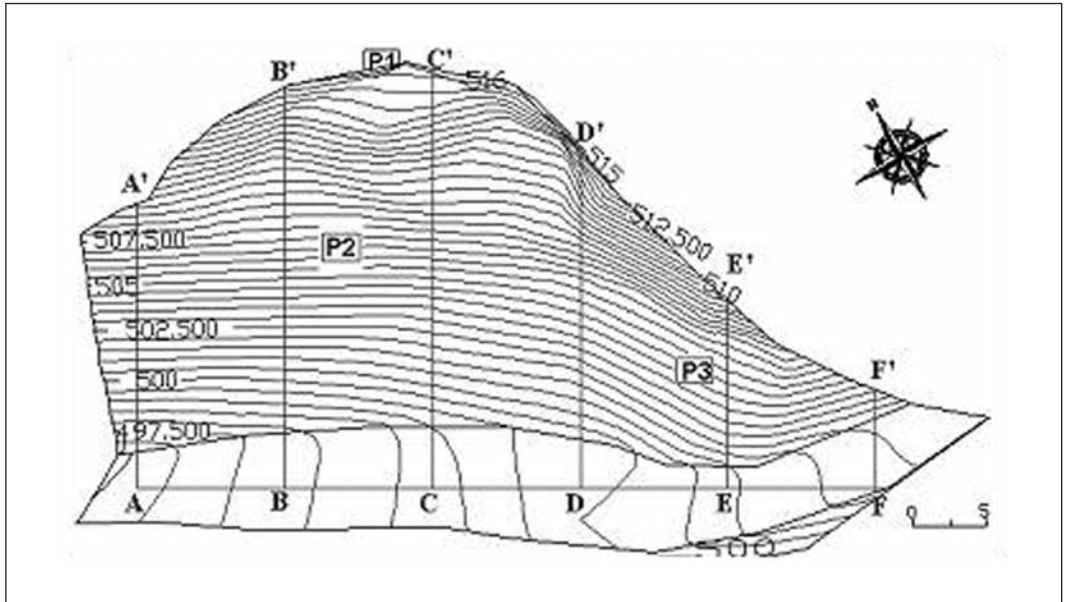
**Fig. 13** – Função da carga total vs. tempo para a condição de contorno da fronteira lateral esquerda.

#### 4.4.3 – Análises de estabilidade

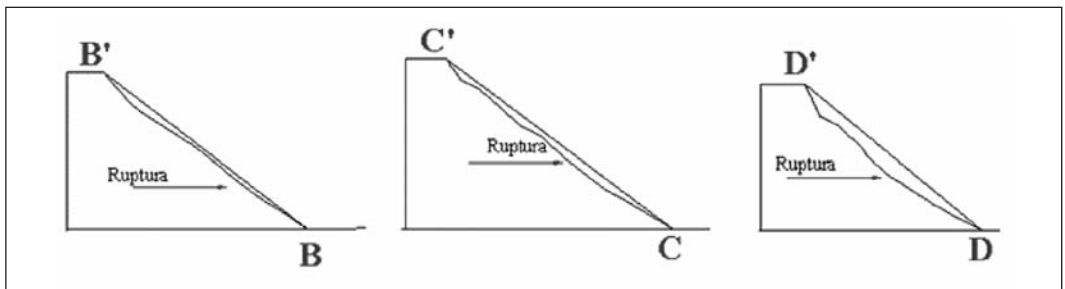
As retroanálises foram feitas com o programa SLOPE/W e com as diversas posições do nível d'água determinadas no programa SEEP/W. As seções analisadas são mostradas na Figura 14, B'B, C'C e D'D.

Na Figura 14 também são mostrados os pontos de amostragem para os ensaios de cisalhamento, caracterização mineralógica e geotécnica do material.

A geometria da superfície de ruptura em cada seção foi cuidadosamente determinada através de levantamento topográfico utilizando estação total (Figura 15).



**Fig. 14** – Planta topográfica do talude com as seções analisadas. P1, P2 e P3 – pontos de amostragem.



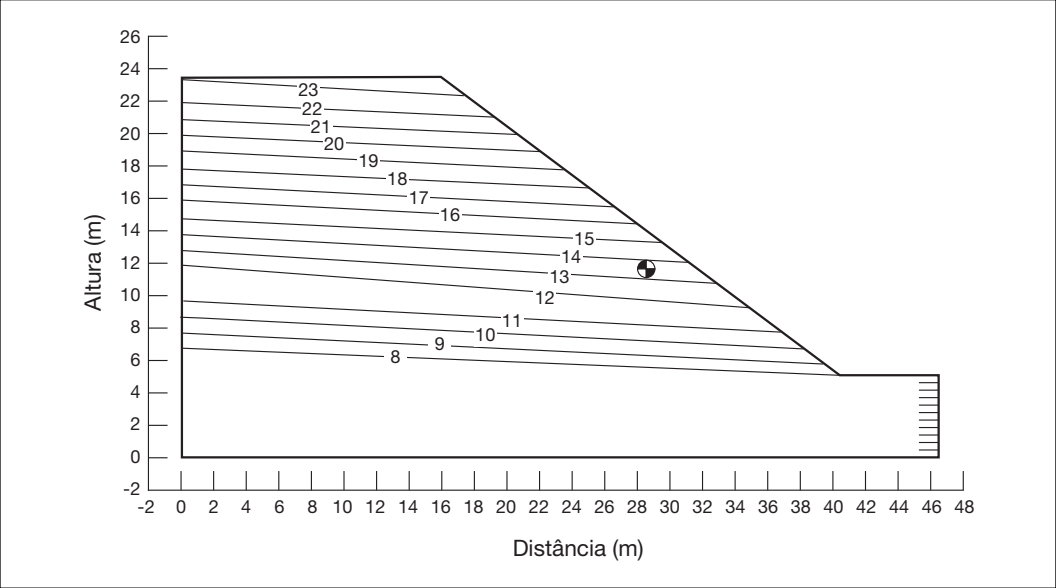
**Fig. 15** – Seções analisadas mostrando a superfície de ruptura.

Para as seções B'B, C'C e D'D foram analisadas três situações possíveis para os parâmetros de resistência do material (pior situação, melhor situação e situação intermédia) e para cada uma dessas situações foram feitos cálculos de estabilidade para diversas posições do lençol freático, uti -

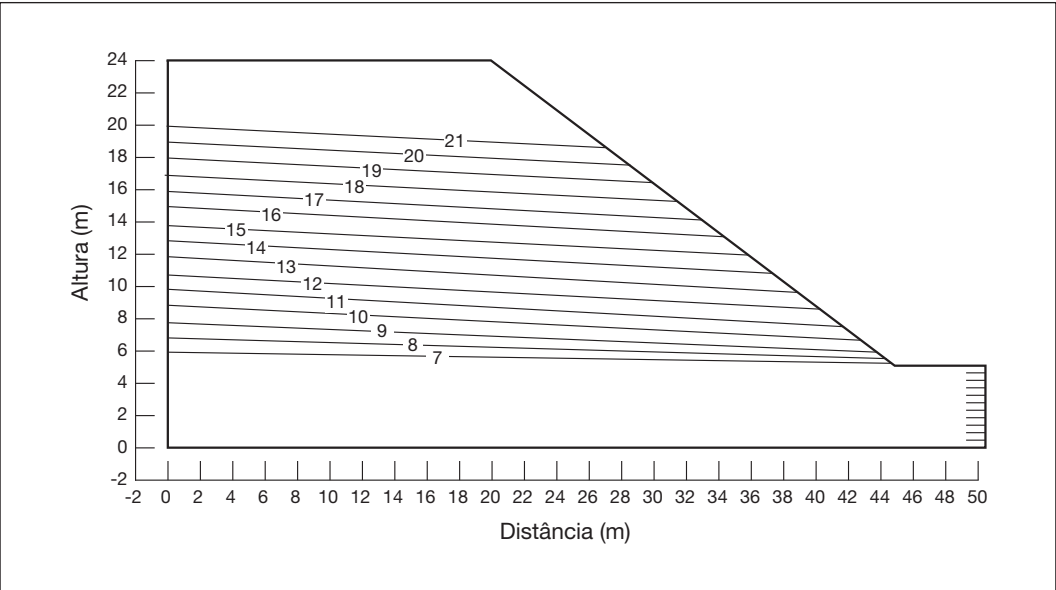


lizando os métodos de Fellenius, Bishop, Janbu e GLE. O objetivo desse conjunto de análises foi estabelecer aquelas situações que correspondessem ao equilíbrio limite, de modo a determinar as condições presentes no momento do escorregamento.

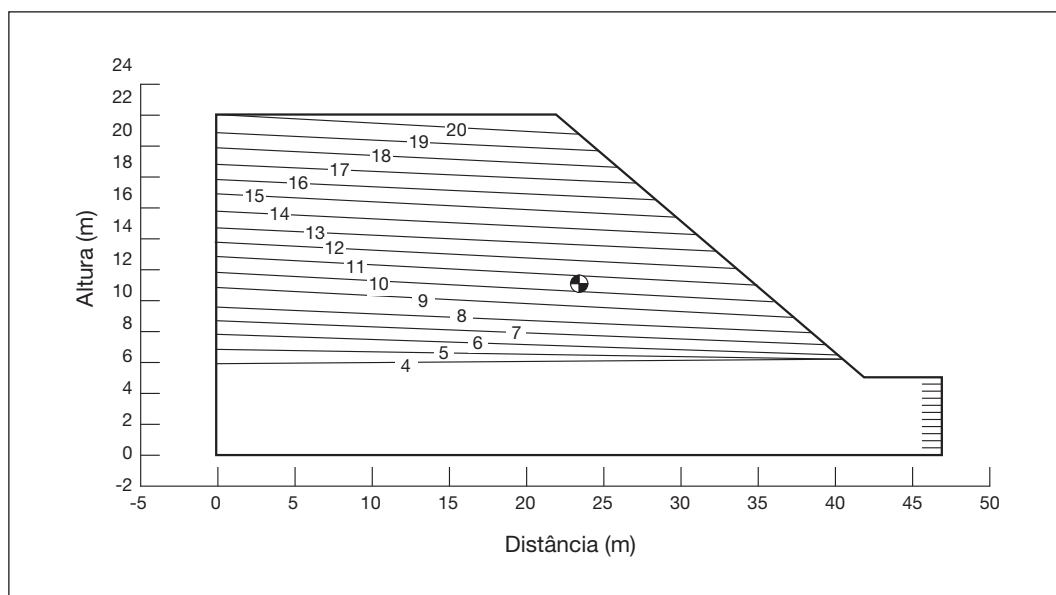
As diversas posições consideradas para o nível d'água em cada seção, obtidas pelo programa SEEP/W são mostradas nas Figuras 16, 17 e 18. Foram testadas diversas situações consideradas representativas do nível d'água para que fosse possível obter, através das retroanálises, a mais próxima possível das condições de carregamento à época do escorregamento.



**Fig. 16** – Posições do nível d'água na seção B'B obtidas no SEEP/W.



**Fig. 17** – Posições do nível d'água na seção C'C obtidas no SEEP/W.



**Fig. 18** – Posições do nível d'água na seção D'D obtidas no SEEP/W.

#### **4.4.3.1 – Análises de estabilidade na pior situação**

A pior situação é representada por um valor de coesão nula para o material no estado natural e no estado saturado e ângulo de atrito de  $26^\circ$  para o material em seu estado natural e  $20^\circ$  para o material saturado. Estes parâmetros foram os valores mais baixos de resistência obtidos nos ensaios de cisalhamento.

As análises de estabilidade para essa situação mostraram que os parâmetros de resistência adotados não são coerentes porque os fatores de segurança encontrados ficaram sempre abaixo da situação de equilíbrio limite, mesmo considerando-se o talude seco.

Essa situação foi então rejeitada por não representar as condições de campo, já que o escorregamento considerado ocorreu em período chuvoso.

#### **4.4.3.2 – Análises de estabilidade na situação intermédia**

Nas Figuras 19, 20 e 21 são apresentadas as situações de equilíbrio limite encontradas nas retroanálises com os parâmetros de resistência característicos da situação intermediária para as seções B'B, C'C e D'D. Estas situações foram encontradas variando-se a posição do nível d'água, de acordo com os resultados fornecidos pelo SEEP/W, até que se obtivesse a situação correspondente ao equilíbrio limite.

#### **4.4.3.3 – Análises de estabilidade na melhor situação**

Nas Figuras 22, 23 e 24 são apresentadas as situações de equilíbrio limite encontradas nas retroanálises com os parâmetros de resistência característicos da melhor situação para as seções B'B, C'C e D'D.

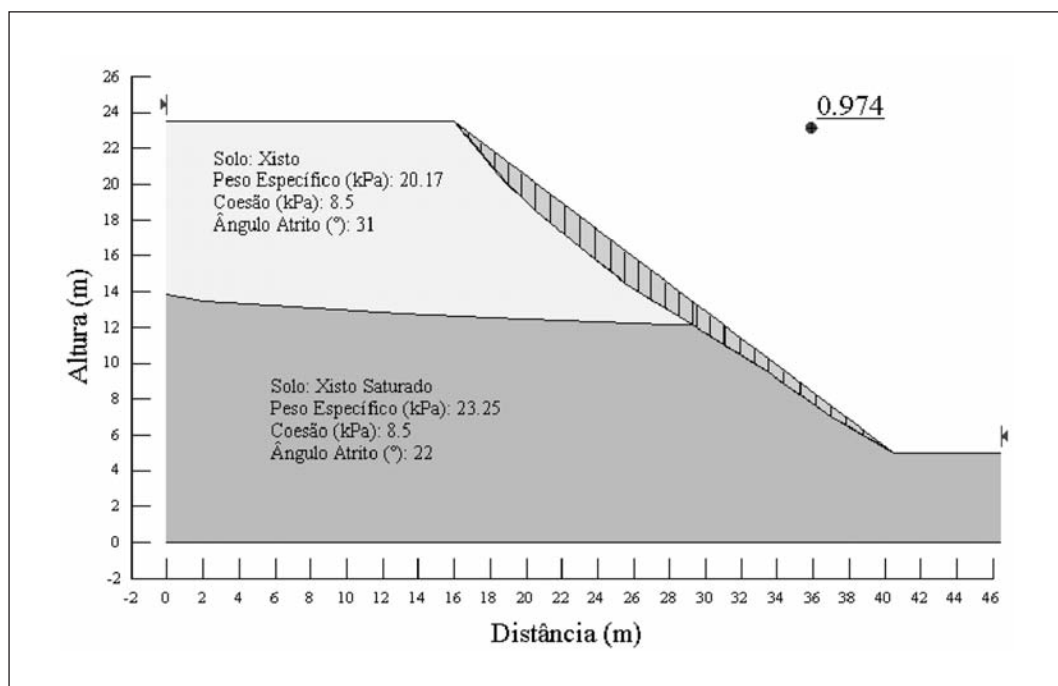


Fig. 19 – Equilíbrio limite para a situação intermédia, seção B'B.

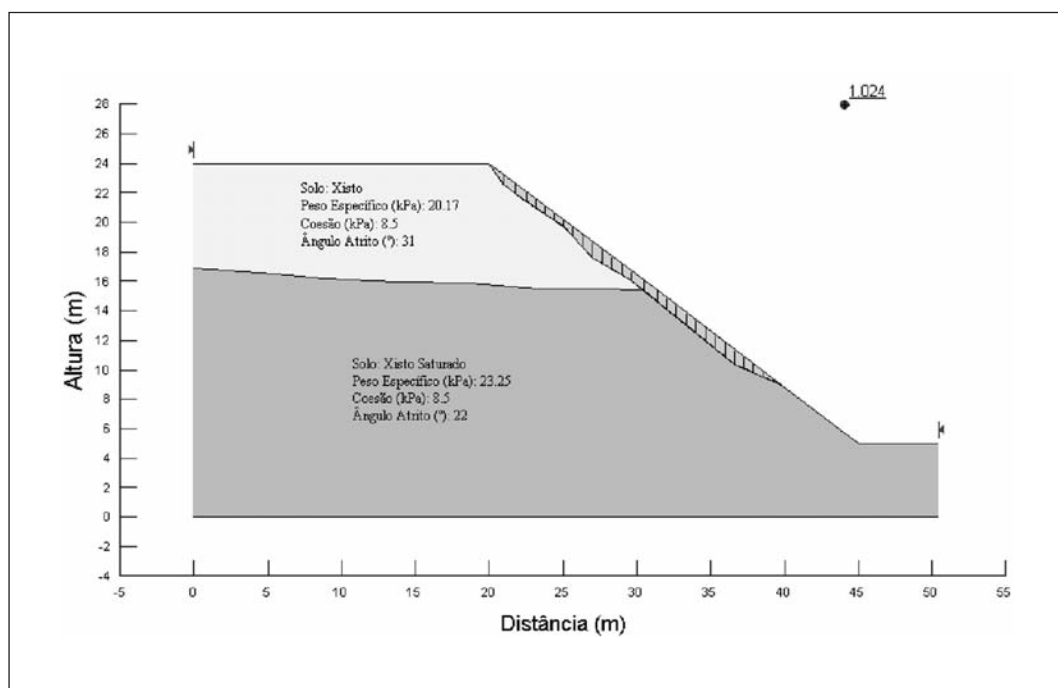


Fig. 20 – Equilíbrio limite para a situação intermédia, seção C'C.

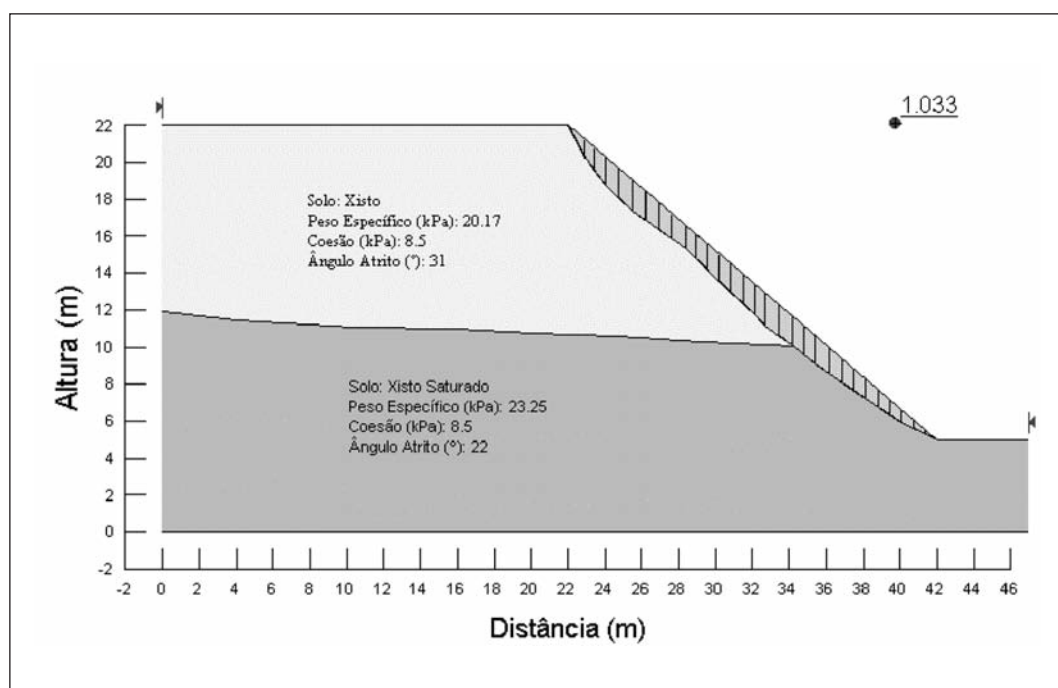


Fig. 21 – Equilíbrio limite para a situação intermédia, seção D'D.

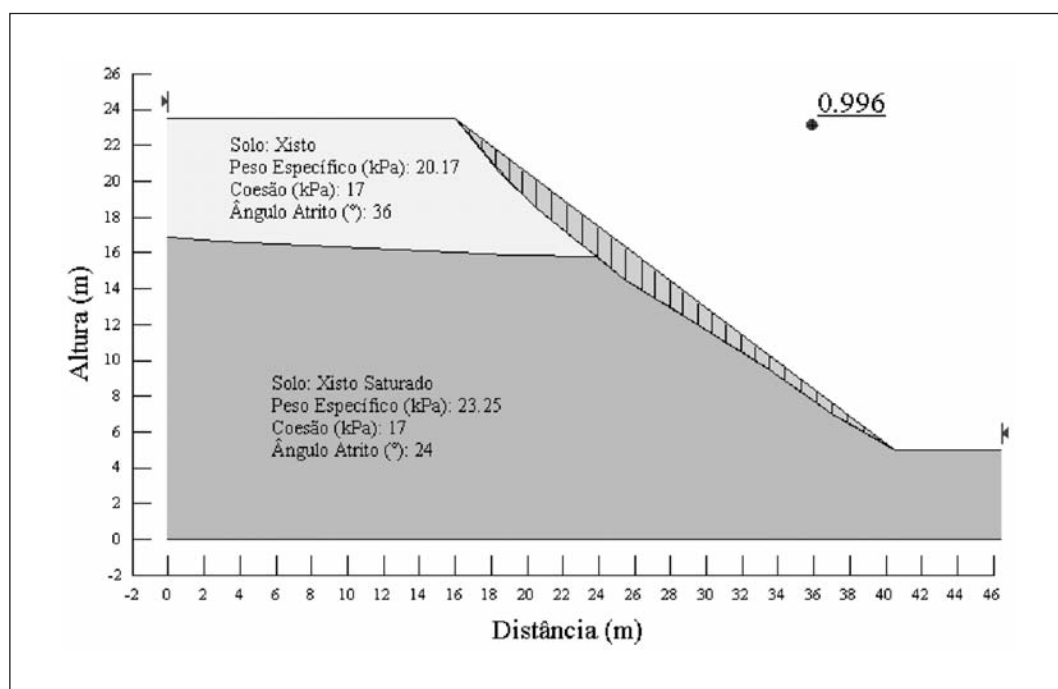


Fig. 22 – Equilíbrio limite para a melhor situação, seção B'B.

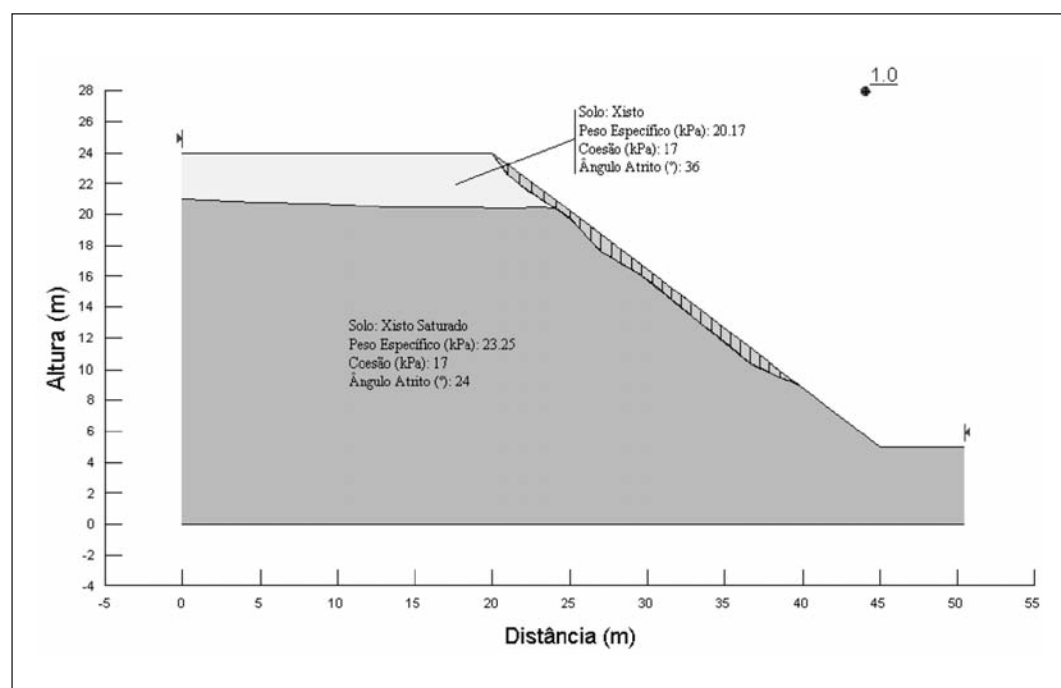


Fig. 23 – Equilíbrio limite para a melhor situação, seção C'C.

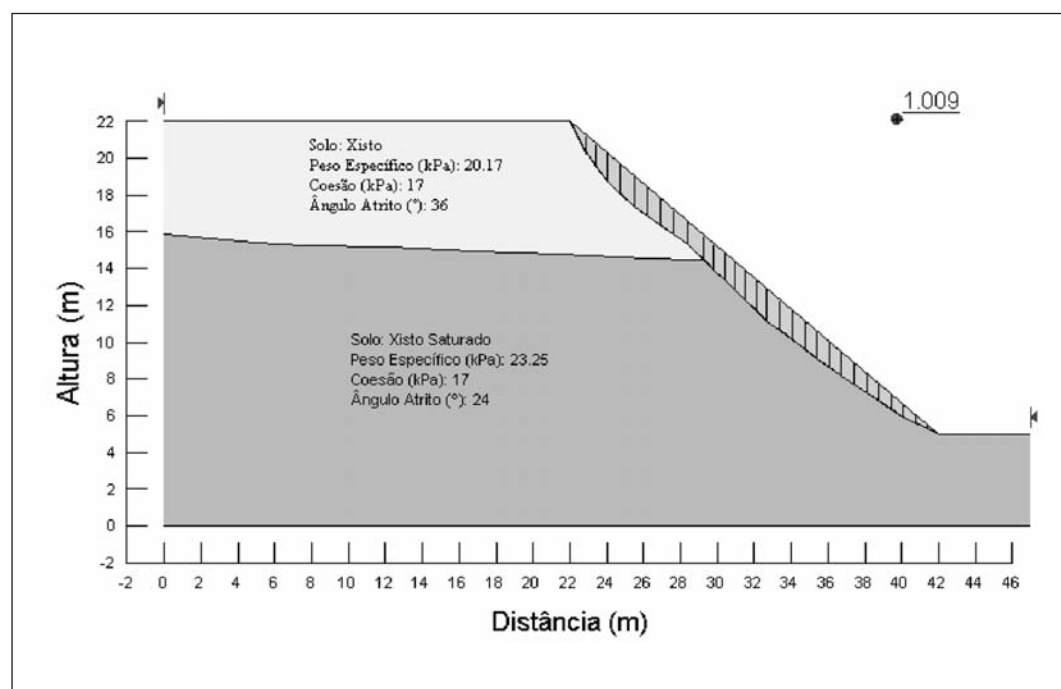


Fig. 24 – Equilíbrio limite para a melhor situação, seção D'D.



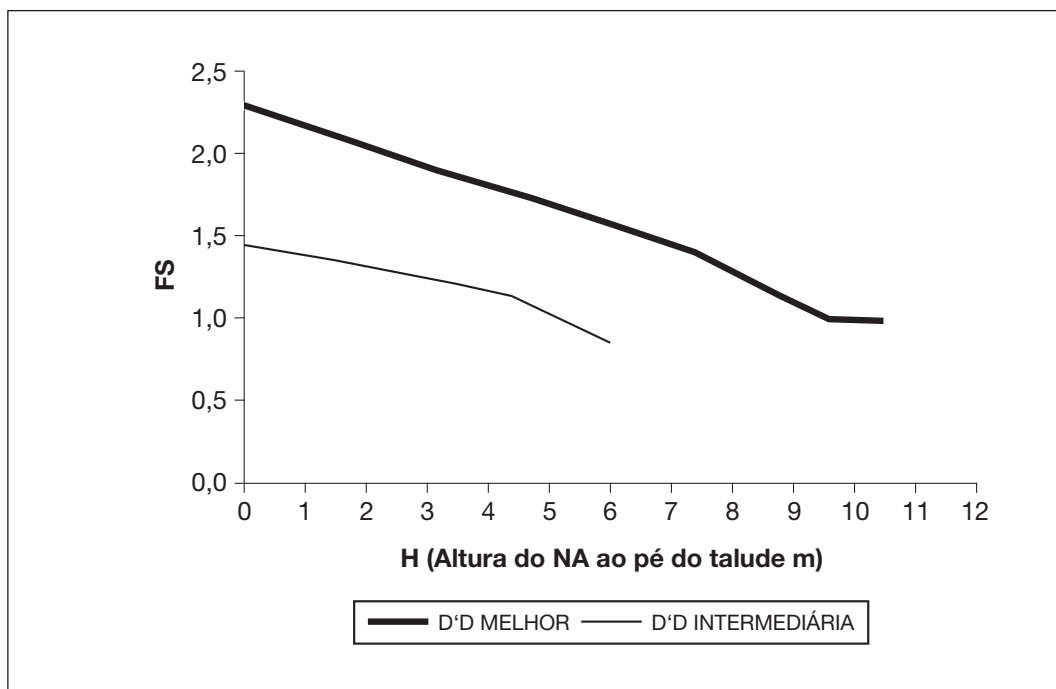
#### 4.4.4 – Considerações sobre as retroanálises

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, já que as análises apresentadas foram feitas para cada seção, de forma independente. 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 e 8, 11 e 6m na pior situação.

Na Figura 25 é mostrada a sensibilidade do fator de segurança à posição do nível d'água na seção D'D na melhor situação e na situação intermédia. O valor de H, no eixo das abscissas corresponde à altura do nível d'água acima do pé do talude. A curva superior corresponde à melhor situação e a inferior à situação intermédia.

Na seção D'D o equilíbrio limite é atingido na posição mais baixa do nível d'água; isso acontece porque nessa seção a superfície de ruptura é maior e mais íngreme.



**Fig. 25** – Sensibilidade do fator de segurança à posição do nível d'água.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho a caracterização geotécnica detalhada do material rochoso da encosta estudada, os levantamentos em campo e a determinação por retroanálises da posição aproximada do lençol freático na época da ruptura permitiram definir as condições que propiciam o escorregamento de material no local. Com essas condições bem definidas o controle dos movimentos e o projeto de

estabilização da encosta podem ser executados de forma mais criteriosa já que se tem idéia do tipo de intervenção necessária.

Vale ressaltar que em todas as análises realizadas para o talude seco se encontrou um valor de fator de segurança satisfatório em termos das condições de estabilidade da encosta; isso evidencia a importância da drenagem no controle dos movimentos.

O estabelecimento da resistência do material rochoso também é uma contribuição relevante do trabalho, já que esses dados são escassos na região estudada; justamente porque a execução de ensaios é dificultada pela grande perda de corpos de prova nas fases de amostragem e preparação das amostras para os ensaios de cisalhamento.

## **6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bonuccelli, T. J. (1999). *Movimentos Gravitacionais de Massa e Processos Erosivos com Aplicação na Área Urbana de Ouro Preto, MG –Escala 1:10.000*. Tese de Doutorado. USP. 3v.
- 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, v.1, pp. 199-206, Rio de Janeiro.
- 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. 136p.
- Ferreira, S. B. (2004). *Estudo de ruptura em talude urbano no Morro do Curral*. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 87p.
- Pinheiro, A. L. (2002). *Análise de Rupturas em Taludes no Morro do Curral*. Dissertação de Mestrado da Universidade de Ouro Preto, MG. 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.
- Sobreira, F. G. (1990). *Levantamento de Áreas de Riscos no Espaço Urbano de Ouro Preto*. UFOP. Ouro Preto. 87p.