

AVALIAÇÕES E SOLUÇÕES PARA ESTABILIDADE DE TALUDES EM SOLOS RESIDUAIS. ESTUDO DE CASO: PONTE NOVA, MG – BRASIL

EVALUATION AND SOLUTION OF SLOPE STABILITY STUDIES IN RESIDUAL SOIL. THE CASE PONTE NOVA, MG – BRAZIL

Marchi, Othávio Afonso, *Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, othavio@ufv.br*
Calijuri, Maria Lucia, *Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, calijuri@ufv.br*
Marques, Eduardo A. G., *Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, emarques@ufv.br*
Minette, Enivaldo, *Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, eminette@ufv.br*
Lima, Dario Cardoso de, *Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, declima@ufv.br*

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise de estabilidade de um talude situado na área urbana do município de Ponte Nova, MG. A pesquisa baseou-se em um levantamento sistemático de campo, coletas de amostras de solos para caracterização e determinação dos parâmetros de resistência, análise computacional da instabilidade e proposição de alternativas para sua estabilização. A obra de contenção do talude foi elaborada para as condições e faixas de solicitação impostas pela massa de solo e espaços disponíveis, levando-se em consideração a questão do custo final de execução. A solução projetada e avaliada comprovou ser eficaz e barata.

ABSTRACT

This work has as objective to present an analysis of stability of a slope located in the urban area of the municipal district of Ponte Nova, MG. The research based on a systematic survey, collections of soil samples for characterization and determination of the resistance parameters, computer analysis of the slope instability and proposition of alternatives for its stabilization. The work of contention of the slope was elaborated for the conditions and request levels imposed by the soil mass and by the available spaces, being taken into account the subject of the final cost of execution. The solution, assessed and projected proved to be effective and affordable.

1. INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento urbano, na maioria das vezes desordenado, cria e acentua problemas de má integração intra-urbana, de carência de infra-estrutura e de uso inadequado do solo. Com isso agravam-se os problemas relacionados com a ocupação de encostas, trazendo sérios danos ao município e colocando em risco a vida de moradores.

Um levantamento detalhado das variáveis que regem a estabilidade de encostas naturais, indicando suas restrições e potencialidades para o estabelecimento de limitações legais e a apresentação de planos e projetos de intervenção torna-se, portanto, de fundamental importância. Estas intervenções podem ter caráter preventivo ou corretivo, fazendo uso de medidas estruturais ou não-estruturais.

Com o desenvolvimento da informática, os métodos de análise de estabilidade ficaram disponíveis em softwares diversos, executáveis em microcomputadores, facilitando sua difusão e utilização. Apesar da importância da realização das análises de estabilidade, deve-se sempre

ter em mente que a qualidade e a confiabilidade dos resultados obtidos com estes métodos são diretamente dependentes dos parâmetros que alimentam os diferentes modelos de análise, reforçando a importância de uma boa caracterização geológico-geotécnica de campo; da realização adequada dos ensaios de laboratório, procurando representar as condições existentes em campo; e do correto entendimento dos agentes, causas e geometria do escorregamento analisado (AUGUSTO FILHO, 1998).

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo realizar retro-análises de um talude de corte de grandes dimensões localizado na área urbana do município de Ponte Nova (MG) e projetar, calcular a estabilidade e caracterizar a viabilidade de uma obra de estabilização de baixo custo.

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Do ponto de vista geográfico, o distrito sede do município de Ponte Nova localiza-se a 20°25' de latitude sul e a 42°55' de longitude oeste. Situado na Zona da Mata Mineira, o município abrange uma área de 471 km² e possui altitudes médias de 430m. A Figura 01 mostra a localização do município.



Figura 01 – Localização do Município de Ponte Nova.

A zona urbana, com aproximadamente 29,94 Km², apresenta uma característica comum às das cidades da Zona da Mata Mineira, conformada pelos seus relevos acidentados e uma ocupação desordenada.

Este município vem sofrendo freqüentemente com a ação das chuvas. Em épocas de elevado nível de precipitação, grande parte da população é atingida por inundações e acidentes geológicos, causando desabamentos de residências, de estabelecimentos comerciais e

alagamentos de grandes áreas. Com isso, grandes prejuízos econômicos e sociais são registrados, sistematicamente, em todo município, tanto na área urbana, quanto na rural.

O problema de erosões na zona urbana se apresenta de forma acentuada, com a ocorrência de desabamentos e voçorocas, além da existência de regiões que apresentam características preocupantes em relação ao assentamento urbano.

O talude alvo deste trabalho localiza-se na Rua Cristiano Freitas de Castro, no bairro conhecido como CDI. Morfologicamente, trata-se de uma encosta convexa, com cerca de 220m de extensão na base e aproximadamente 35m de altura.

4. METODOLOGIA

Foram realizadas sondagens de simples reconhecimento – SPT, em que se retiraram amostras representativas do solo de modo a permitir o conhecimento do perfil investigado em profundidade e a realização de uma classificação táctil-visual do material extraído. Estes ensaios de campo foram executados sob a responsabilidade do Laboratório de Geotecnia da UFV e fornecidos pela prefeitura para realização deste trabalho.

Os resultados obtidos nas sondagens SPT descrevem uma área predominantemente argilosa nas camadas superficiais, sobrepondo-se a camadas arenosas e siltosas, com elevados teores de mica. As camadas argilosas, quando encontradas, possuem espessuras muito variáveis em cada sondagem provavelmente em função da movimentação de terra anteriormente realizada e/ou erosões ocorridas na área instabilizada.

Após a realização desse levantamento, foram definidos os pontos de coleta das amostras de cada uma das camadas do talude identificadas nas sondagens. Foram coletadas amostras deformadas para realização de ensaios de caracterização dos solos, e amostras indeformadas para obtenção dos parâmetros de resistência dos solos.

As 3 camadas que compõem o talude estão indicadas na Figura 02, que representa uma seção da área de estudo.

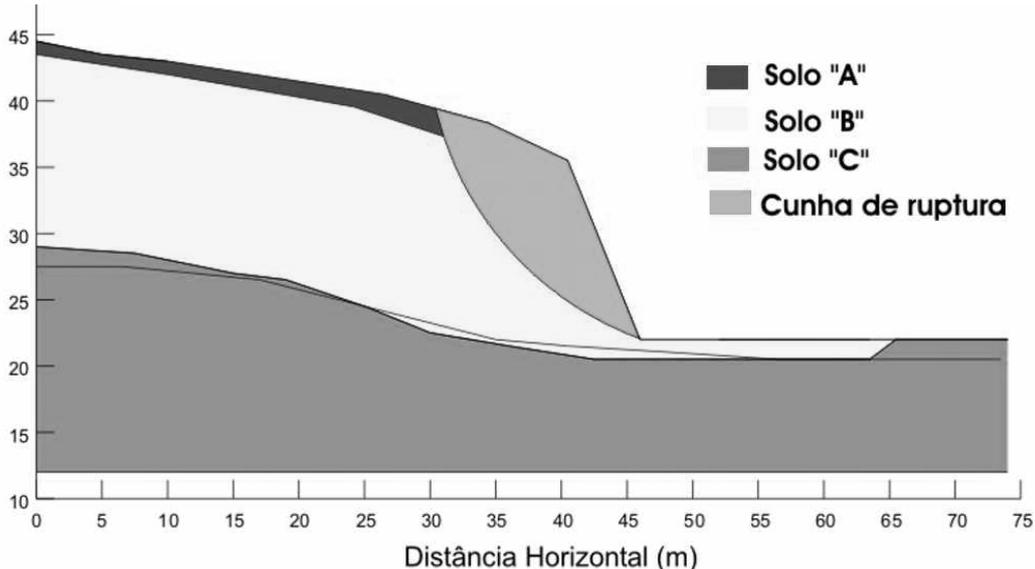


Figura 02 – Talude estudado

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil (LEC) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

A análise da estabilidade foi realizada considerando os taludes como corpos bidimensionais, utilizando-se o método do equilíbrio-limite. Admitiram-se superfícies de deslizamento circular e critério de ruptura de Mohr-Coulomb, em termos de tensões efetivas.

A análise computacional da estabilidade foi realizada, com as hipóteses apresentadas, no software SLOPE/W versão 4.21 de 1998, da GEO-SLOPE International Ltd.

Os parâmetros de resistência dos solos, coesão e ângulo de atrito, foram obtidos nos ensaios triaxiais drenados, realizados em corpos de prova extraídos de amostras indeformadas de cada uma das camadas de solo constituintes do talude.

As amostras indeformadas coletadas nas 3 camadas foram ensaiadas em condições de umidade natural, tal qual a situação em que se encontravam no campo. As envoltórias de resistência foram obtidas pela aplicação de tensões de confinamento de 50kPa, 100kPa e 200kPa, e com velocidade de carregamento de 0,15 mm/min.

A análise da estabilidade no SLOPE/W requer a definição da geometria do problema. Estes dados foram obtidos a partir do levantamento topográfico planialtimétrico, de onde se obteve as seções do terreno. O peso específico, a coesão e o ângulo de atrito dos solos são parâmetros de entrada do sistema. Neste caso especificamente, foram utilizados os parâmetros ângulo de atrito interno e a coesão de pico, ou seja, os valores máximos da resistência obtidos dos solos ensaiados.

Como o levantamento topográfico da área em estudo, foi realizado após a ruptura do talude, foi feita uma recomposição da geometria original da encosta e do talude de corte antes da ruptura, a partir de uma inversão do processo de ruptura circular. Primeiramente identificou-se a cunha de ruptura nas seções elaboradas com base nos dados do levantamento planialtimétrico e das sondagens, em seguida inverteu-se o sentido do movimento das mesmas obtendo uma aproximação da topografia local antes da ruptura do talude. As reconstituições elaboradas, para as seções do terreno, possibilitaram a realização de uma retroanálise da estabilidade do talude em estudo.

De todas as metodologias existentes na literatura para estabilização de uma massa de terra verifica-se, neste caso, que devido à grande extensão do talude e ao grande volume de solo, obras de contenção que contenham estruturas de concreto são inviáveis, devido o alto custo de implantação. Entretanto, soluções alternativas podem necessitar de mais espaço para implantação, e no caso estudado, houve a necessidade de se verificar se o espaço disponível permitiria a implantação da obra de contenção inicialmente concebida.

Com isso, adotou-se, como solução para esse problema, um projeto de uma obra de contenção que apresentasse eficiência para as condições e faixas de solicitação impostas pela massa de solo e os espaços solicitados.

A elaboração da estabilização consistiu em projetar um dique de pé composto de aterro compactado assentado sobre a base do talude (terreno natural), de modo que este aterro pudesse agir como uma carga estabilizadora, ou seja, atuando como uma berma de equilíbrio para o restante da encosta.

Os parâmetros de resistência do aterro compactado foram obtidos a partir de ensaios triaxiais drenados e não saturados realizados nos corpos de prova moldados de acordo com a umidade ótima determinada no ensaio de compactação.

A análise computacional da estabilidade da obra de contenção foi realizada também a partir do software SLOPE/W. O tamanho e a geometria adotada para a berma de estabilização foram determinados a partir de um coeficiente de segurança que garantisse a estabilidade do conjunto talude / estrutura de contenção.

A título de comparação com o método selecionado para contenção da massa de solo, realizou-se uma segunda análise, porém utilizando um segundo tipo de intervenção, no caso, um muro de gravidade do tipo gabião-caixa. A análise computacional da estabilidade do muro de gabião-caixa foi realizada através do software GAWACBR 2.0 da Maccaferri Gabiões do Brasil Ltda.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização Física dos Solos

Foram realizados ensaios de caracterização para as 3 camadas de solo formadoras do talude, bem como para o solo a ser utilizado para construção da berma para estabilização do maciço.

Os Quadros 01 e 02 apresentam uma síntese do resultado dos ensaios de caracterização dos solos, envolvendo determinação das granulometria conjunta, limites de Atterberg, umidade natural, peso específico natural e peso específico dos sólidos.

Quadro 01 – Resultados das análises granulométricas dos solos

Amostras	Argila	Silte	Areia	Pedregulho
Solo “A”	40	20	40	-
Solo “B”	14	19	67	-
Solo “C”	6	21	65	8

Quadro 02 – Limites de Atterberg, umidade natural (W), peso específico natural (γ_{nat}) e peso específico dos grãos (γ_s)

Amostras	LL (%)	LP (%)	IP (%)	W (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)
Solo “A”	56,5	20,4	36,1	14,98	16,0	26,97
Solo “B”	38,5	20,2	18,3	19,03	14,43	27,19
Solo “C”	34,2	17,8	16,4	17,20	16,77	26,82

5.2 Resistência dos solos

Os ensaios triaxiais realizados em amostras indeformadas, na condição natural, para cada um dos solos das camadas que constituem o talude, visaram fornecer, além da resistência efetiva dos solos, a resistência residual dos mesmos.

O Quadro 03 apresenta uma síntese dos parâmetros de resistência obtidos nos ensaios triaxiais.

Quadro 03 – Resultado dos ensaios triaxiais.

Solo	Ângulo de atrito ϕ (°)	Coesão (kPa)
A	38	25
B	23	28
C	27	41

5.3 Análises de Estabilidade

Os resultados das análises computacionais de estabilidade realizadas nas quatro seções pré-determinadas do talude são apresentados nas tabelas abaixo. Foram consideradas as análises realizadas com os métodos de Fellenius, Bishop e Morgenstern-Price.

O Quadro 04 apresenta os fatores de segurança obtidos para cada método de análise para a seção 1.

Quadro 04 – Fatores de segurança da seção 1.

Método de Análise	Fator de Segurança
Bishop	1,167
Fellenius	1,167
Morgenstern-Price	1,159

O Quadro 05 apresenta os fatores de segurança de cada método utilizado na análise da estabilidade da seção 2.

Quadro 05 – Fatores de segurança da seção 2.

Método de Análise	Fator de Segurança
Bishop	1,123
Fellenius	1,170
Morgenstern-Price	1,173

O Quadro 06 apresenta os fatores de segurança de cada método utilizado na análise da estabilidade da seção 3.

Quadro 06 – Fatores de segurança da seção 3.

Método de Análise	Fator de Segurança
Bishop	1,107
Fellenius	1,156
Morgenstern-Price	0,835

O Quadro 07 apresenta os fatores de segurança de cada método utilizado na análise da estabilidade da seção 4.

Quadro 07 – Fatores de segurança da seção 4.

Método de Análise	Fator de Segurança
Bishop	1,136
Fellenius	1,146
Morgenstern-Price	1,141

As variações do comportamento do fator de segurança em relação aos métodos de análise utilizados mostram que, em geral, as seções se encontram em um nível de segurança muito baixo, apresentando valores entre, 0,835 (seção 3, método de Morgenstern-Price) e 1,421 (seção 2, método de Morgenstern-Price). As seções 1 e 4 apresentaram os menores fatores de segurança, 1,139 e 1,141 respectivamente, ambos calculados pelo método de Bishop.

Vale ressaltar que as amostras de solo nas quais foram realizados os ensaios, não se encontravam saturadas, ou seja, o fator de segurança obtido é função dos parâmetros de resistência total do solo, diminuindo quando o solo for submetido a maiores níveis de saturação.

5.4 Proposta de Estabilização

O solo utilizado para realização da obra de contenção da massa instabilizada apresenta a predominância de grãos na fração argila (45%), com 38% de areia e 17% de silte.

Realizou-se o ensaio de compactação para obtenção da umidade ótima do solo de maneira a obter-se os parâmetros de resistência a serem efetivamente utilizados nas análises de estabilidade e utilizados no projeto.

O ensaio de compactação realizado indicou uma umidade ótima de 26,74% para um peso específico seco máximo de 14,93 kN/m³.

Como resultado dos ensaios de resistência realizados neste material, verificou-se que os parâmetros de resistência do aterro compactado são, como se segue:

- Ângulo de atrito interno (ϕ) = 21°
- Coesão (C) = 96 Kpa

O aterro construído na base do talude, para contenção da massa de solo, possui uma geometria trapezoidal com as seguintes dimensões:

- Base maior = 10 m
- Base menor = 4 m
- Altura = 5 m

A Figura 03 mostra um croqui esquematizando o aterro compactado e indicando suas dimensões.

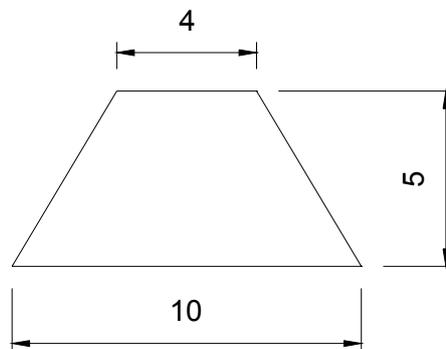


Figura 03 – Dimensões da obra de contenção (m).

Após a construção da berm de estabilização, o talude será recomposto para que sua inclinação seja a menor possível, favorecendo a estabilidade da obra, assim como apresentado na Figura 04.

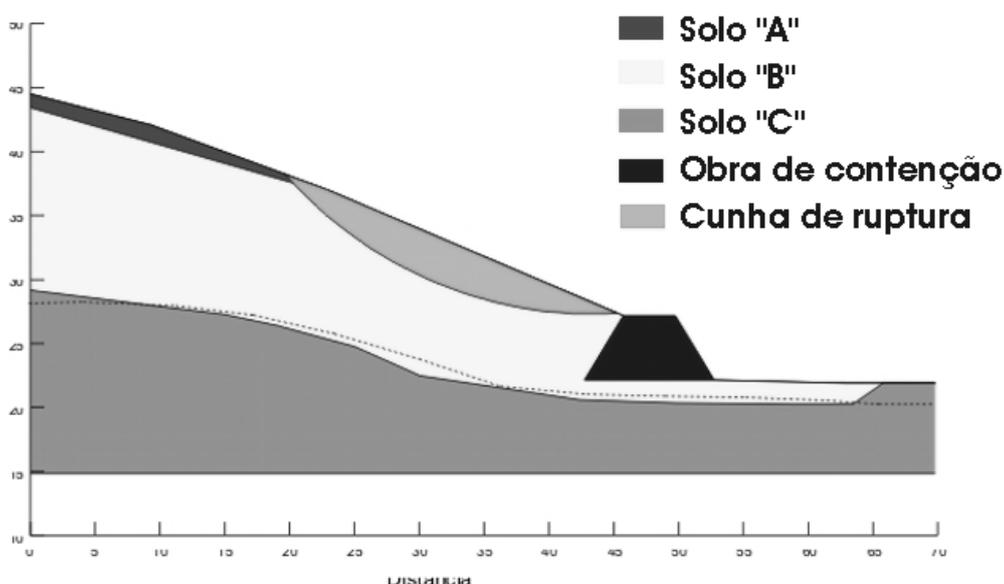


Figura 04 – Obra de contenção.

5.6 Análise da segurança da obra de contenção

Os parâmetros de resistência utilizados na análise da estabilidade do talude após a construção da berm de estabilização foram as resistências residuais, determinadas a partir dos dados dos gráficos de tensão x deformação obtidos nos resultados do ensaio de compressão triaxial de cada um dos três solos.

A partir dos gráficos de Tensão x Deformação dos solos de cada uma das camadas do talude, foram calculados o ângulo de atrito residual e a coesão residual dos solos. O Quadro 08 apresenta os valores encontrados para as resistências residuais comparando-os com os valores máximos de resistências dos solos estudados.

Quadro 08 – Resistência residual dos solos “A”, “B” e “C”.

SOLO	Ângulo de Atrito Residual (°)	Coesão Residual (kPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kPa)
A	39	13	38	25
B	25	13	23	28
C	27	16	27	41

Os Quadros abaixo apresentam os resultados das análises computacionais de estabilidade e a obtenção do fator de segurança para cada método de análise. As análises foram realizadas nas quatro seções pré-determinadas do talude, considerando-se as análises via os métodos de Fellenius, Bishop e Morgenstern-Price.

O Quadro 09 apresenta os fatores de segurança de cada método utilizado na análise da estabilidade da obra de contenção da seção 1.

Quadro 09 – Fatores de segurança da obra de contenção da seção 1.

Método de Análise	Fator de Segurança
Bishop	1,629
Fellenius	1,515
Morgenstern-Price	1,627

O Quadro 10 apresenta os fatores de segurança de cada método utilizado na análise da estabilidade da obra de contenção da seção 2.

Quadro 10 – Fatores de segurança da obra de contenção da seção 2.

Método de Análise	Fator de Segurança
Bishop	1,922
Fellenius	1,859
Morgenstern-Price	1,921

O Quadro 11 apresenta os fatores de segurança de cada método utilizado na análise da estabilidade da obra de contenção da seção 3.

Quadro 11 – Fatores de segurança da obra de contenção da seção 3.

Método de Análise	Fator de Segurança
Bishop	1,687
Fellenius	1,658
Morgenstern-Price	1,690

O Quadro 12 apresenta os fatores de segurança de cada método utilizado na análise da estabilidade da obra de contenção da seção 4.

Quadro 12 – Fatores de segurança da obra de contenção da seção 4.

Método de Análise	Fator de Segurança
Bishop	1,533
Fellenius	1,434
Morgenstern-Price	1,528

As tabelas relativas ao comportamento do fator de segurança do talude após a instalação da berma de estabilização mostram que, em geral, o sistema permanece estável com o aterro compactado na base da encosta. Observa-se que foram obtidos valores de fatores de segurança entre 1,434 na seção 4 (método de Fellenius) e 1,922 na seção 2 (pelo método de Bishop).

Outra alternativa de contenção que foi analisada e avaliada para estabilização da massa de solo é o muro de gravidade tipo gabião-caixa como mostrado na Figura 05.

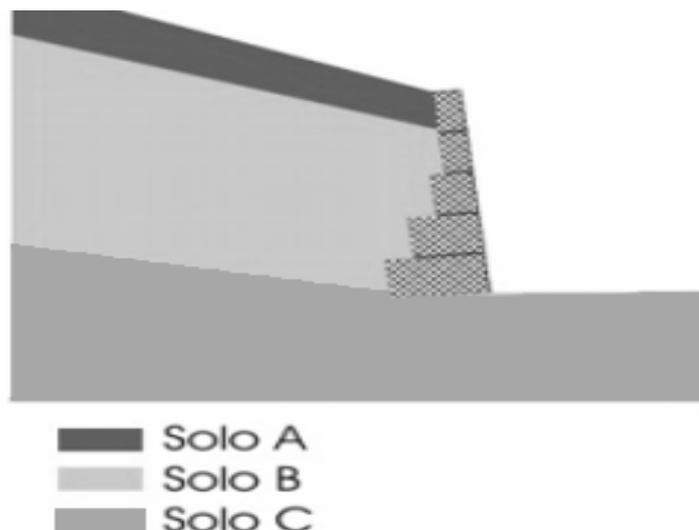


Figura 05 – Muro de gravidade tipo gabião-caixa

Cada gabião-caixa possui 1,0 metro de altura, formando uma estrutura de 5m de altura total para contenção da massa de solo. A base da contenção possui uma largura de 2m reduzindo-se, sucessivamente, até 0,5 metro no topo. A estrutura possui uma inclinação de 6° com a vertical de maneira a favorecer a estabilidade. O gabião utilizado neste perfil pode ser aplicado em toda a extensão do talude. A análise da estabilidade da obra com este muro foi realizada com uso do software GAWACBR 2.0 da Maccaferri Gabiões do Brasil Ltda. O Quadro 13 apresenta os resultados obtidos no GAWACBR 2.0.

Quadro 13 – Resultados da análise da estabilidade da obra de contenção.

Deslizamento	Tombamento
Empuxo ativo = 106,1 kN/m	Momento ativo = 58,3 kN m/m
Empuxo ativo = 0 kN/m	Momento resistente = 197,4 kN m/m
Fator de Segurança = 1,870	Fator de Segurança = 3,386

Por fim, realizou-se uma estimativa de preços para cada uma das obras de contenção. Em pesquisa realizada com prestadores de serviços de terraplanagem da região, a obra de retaludamento com o aterro compactado e construção da berma de estabilização custaria cerca de U\$ 28.500,00; ao passo que o muro de gravidade do tipo gabião-caixa cerca de U\$ 54.000,00. Esta análise mostra uma economia de mais de 50% com o uso da berma de estabilização e retaludamento da encosta. Essa solução é viável uma vez que o espaço disponível permite esse arranjo.

6. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que:

- comprovou-se a instabilidade do talude nas condições existentes antes do escorregamento, para as quais foram obtidos fatores de segurança em torno 1, limite de equilíbrio da massa de solo;
- a adoção de retaludamento da massa de solo conjugado com berma de estabilização na base aumenta os fatores de segurança para uma faixa entre 1,5 e 2,0;

- a solução de contenção proposta neste trabalho é estável, resultando em um sistema confiável, de boa relação custo-benefício, e de grande facilidade de implantação, em comparação com outros métodos tradicionais de contenção.

7. REFERÊNCIAS

- [1] CASTELLO, Reno Reine; POLIDO, Uberescilas Fernandes. As encostas urbanas: análise e proposta de metodologia para enfrentar o problema. Vitória: Fundação Ceciliano Abel de Almeida / UFES, 1986. 86p.
- [2] GUIDICINE, Guido; NIEBLE, Carlos Manoel. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Edgard Blücher, 1983, 194 p.
- [3] KRYNINE, Dimitri. P.; JUDD, William. R. Principios de geología y geotecnia para ingenieros. Barcelona: Omega, 1972. 797p.
- [4] NATALI, P.P. Carta de Riscos de Escorregamentos de Ponte Nova (MG). 1999. 180 f.. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.