

Estudo de caso – Projeto de estabilização de um talude de grande porte com plano preferencial de fluxo provocado por material micáceo a montante de área residencial em Itajubá, Minas Gerais

Jéssica Pereira Castello

PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, jessicacastello@yahoo.com.br

Kadson Matheus Barreiros Gomes

ALTA Geotecnia, Rio de Janeiro, Brasil, kadson.gomes@altageotecnia.com

Álvaro de Freitas Viana

ALTA Geotecnia, Rio de Janeiro, Brasil, alvaro.viana@altageotecnia.com

Tácio Mauro Pereira de Campos

PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, tacio@puc-rio.br

Manuella Suellen Vieira Galindo

ALTA Geotecnia, Rio de Janeiro, Brasil, manuella.galindo@altageotecnia.com

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma solução de estabilização para a ruptura de um talude de grande porte situado a montante de uma área residencial na cidade de Itajubá, Minas Gerais. Visando estabelecer o projeto com a melhor relação custo-benefício, foi necessário conhecer os processos em desenvolvimento, estudar diversas alternativas e métodos de análise. O talude apresentava um histórico de sucessivos deslizamentos em função da execução de cortes pretéritos que buscavam aumentar a área útil de construção junto à via, a jusante. Os referidos cortes, sem qualquer embasamento técnico, apresentavam declividades acentuadas, próximas a 60°. As características do material constituinte, alterações no regime hidrogeológico do maciço em função dos cortes, e a ocorrência periódica de altos índices pluviométricos na região representavam aspectos de riscos elevados às edificações, vias de acesso e passagem de pessoas no local, sobretudo ao se levar em consideração as elevadas dimensões da ruptura, com cerca de 110m de extensão em um corte com 25m de altura. Deste modo, para subsidiar a elaboração do projeto executivo, foi realizado um mapeamento geológico-geotécnico de campo que propiciou a programação e execução de uma importante campanha de investigações geotécnicas, acompanhada por um detalhado levantamento planialtimétrico, visando detalhar as condições de instabilidade e problemas de drenagem do maciço. Os modelos geotécnicos gerados possibilitaram obter, através da técnica de retroanálise, os parâmetros de resistência considerando uma situação onde o talude está no limiar da estabilidade, ou seja, o fator de segurança encontra-se próximo da unidade. Isto possibilitou concluir que a ruptura foi fortemente influenciada pelo contexto geológico local, uma vez que foi identificada a presença de uma camada com concentração de material micáceo cujo mergulho dava-se na direção do movimento, constituindo tanto um plano preferencial de percolação de fluidos, quanto uma zona de fraqueza, a partir da qual se desenvolveu o movimento. Após a obtenção de um perfil crítico, avaliou-se que, dentre uma gama de possibilidades, a solução mais adequada englobaria a execução de um muro de gravidade em gabião com aterro no pé do talude, uma camada de colchão drenante entre o aterro e o maciço, o retaludamento com proteção de biomanta, o preenchimento das trincas do solo com solo compactado e uma drenagem de crista eficiente.

PALAVRAS-CHAVE: Obra de contenção, movimento de massa, muro de gravidade, retaludamento, material micáceo.

1 INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional e o consequente desenvolvimento desordenado dos centros urbanos é um dos maiores problemas contemporâneos. A incompatibilidade entre as características geológicas dos terrenos e as técnicas inadequadas de ocupação tem aumentado consideravelmente a produção de áreas de risco, ocasionando uma série de problemas indesejados, dentre os quais os desastres naturais deflagrados pelas chuvas.

Tratam-se, atualmente, de um dos grandes problemas socioeconômicos mundiais por provocarem extensos danos materiais e, na maioria dos casos, estarem associados a perdas de vidas humanas. De acordo com Gomes (2006), dentre os fenômenos que mais se destacam, podem-se citar os terremotos, as inundações e os movimentos de massa.

Intensamente estudados por diversos pesquisadores, embora sejam considerados importantes nos processos de modelagem do relevo, os movimentos de massa são, de acordo com a ONU (1993), os fenômenos naturais que mais causam prejuízos financeiros e mortes no mundo.

Segundo Augusto Filho & Virgili (1998), os primeiros estudos sobre escorregamentos remontam a mais de 2000 anos em países como a China e o Japão. Especialmente no Brasil, o início destes estudos deve-se aos escorregamentos ocorridos nos Morros de Santos, São Paulo, em 1928 e 1956, e na cidade do Rio de Janeiro e regiões circunvizinhas, em 1966 e 1967 (De Campos, 1984).

De acordo com Hassiotis *et al.* (1997), assegurar a estabilidade de taludes naturais ou artificiais continua sendo um problema fundamental para a engenharia geotécnica e, para resolvê-lo, faz-se necessário entender os mecanismos de ruptura bem como os fatores associados à instabilidade.

Dentro deste contexto, o presente trabalho propõe avaliar e, posteriormente, elaborar o projeto executivo de estabilização de um talude a montante da Avenida Clemente Teodoro da Silva, bairro de Vila Isabel, situado no

Município de Itajubá, Minas Gerais.

Desde 2014, o maciço terroso local vinha sofrendo sucessivos deslizamentos em função da execução de cortes pretéritos que visavam à ampliação da área útil de construção residencial junto à referida via. Tais movimentos representavam um risco ao tráfego local, passagem de pessoas e possíveis novas obras.

A Figura 1 apresenta o mapa de localização da área de estudo (coordenadas 452045,00 m E, 7521180,00 m S – referências SAD69 e FUSO 23S).

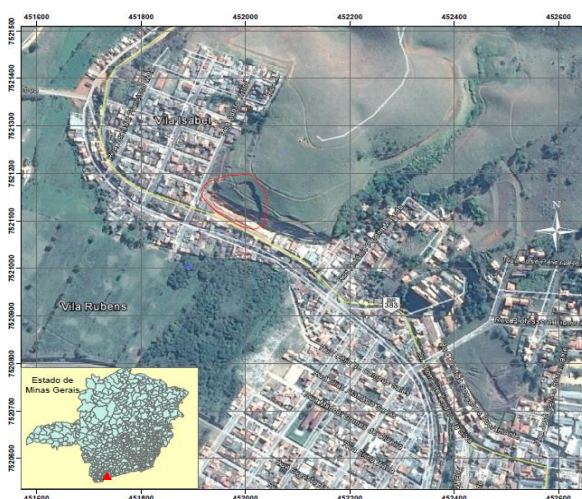


Figura 1. Localização da área de estudo.

Este projeto foi elaborado pela ALTA Geotecnia por intermédio de um contrato de serviços demandado pela Prefeitura Municipal de Itajubá, MG.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consistiu basicamente em diagnosticar a causa dos deslizamentos ocorridos e, em seguida, estabelecer uma proposta para conter a propagação destes eventos.

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada para se chegar a uma solução de estabilização do talude atendeu às

seguintes etapas:

- Análise dos laudos de vistoria da Defesa Civil do Município de Itajubá;
- Coleta e análise das informações locais (geologia, geomorfologia, pedologia, hidrologia, hidrogeologia, etc.) a partir de publicações, cartas, mapas, fotografias existentes sobre da área em estudo;
- Mapeamento geológico-geotécnico de superfície;
- Programação e execução dos serviços de campo (topografia e sondagens à percussão);
- Análise e interpretação dos resultados obtidos, com:

a. Modelagem geotécnica do problema, com especificação dos parâmetros de resistência para as análises de estabilidade a partir de retroanálises e resultados das sondagens à percussão;

b. Especificação de soluções de estabilização e drenagem;

c. Análise de custo-benefício de cada alternativa e escolha da mais adequada para o problema;

d. Execução de análises de estabilidade considerando a solução proposta;

e. Detalhamento da solução, com estabelecimento dos métodos construtivos.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Em agosto de 2014 foi realizada uma vistoria técnica ao local. Conforme apresentado na Figura 2, o trecho é composto por uma seção de corte, possuindo cerca de 110m de extensão e 25m de altura. Neste local, seria implantado um conjunto habitacional, o que motivou a execução de serviços de terraplanagem, incluindo a escavação do maciço.



Figura 2. Vista de jusante para montante do corte, com detalhe para os deslizamentos ocorridos.

De acordo com as informações fornecidas pela Contratante, o primeiro sinal de ruptura, durante o processo de corte do talude, foi uma pequena trinca ocorrida no dia 28/05/2014. No dia 31/05/2014, a movimentação de terra aumentou, perdurando em sequência até atingir a configuração atual. É importante destacar que o evento ocorreu sem a presença de qualquer episódio de chuva.

Durante a vistoria, foram observadas trincas de tração com até 8m de profundidade, conforme exposto nas Figuras 3 e 4.



Figura 3. Trincas de tração observadas no maciço, vista de montante para jusante.



Figura 4. Vista interna da massa rompida, com destaque para a magnitude das trincas.

Sobre o processo ocorrido, observa-se que, embora as obras de corte tenham alterado não apenas o equilíbrio de forças atuantes, como também suas condições hidrogeológicas, a principal condicionante de ruptura está relacionada à geologia do maciço.

A caracterização macro da região indica que a rocha do substrato é metamórfica, constituída por biotita gnaisses com níveis migmatíticos, tal fato cria níveis com concentração de minerais micáceos, especialmente biotita, e esta condição afeta o comportamento dos solos residuais formados a partir desta rocha. Assim, a xistosidade supracitada favorece a ocorrência de movimentos por intermédio da intercalação de níveis pouco permeáveis, em função da concentração de argila resultante da alteração da biotita, e muito permeáveis, derivados da alteração das camadas mais quartzo-feldspáticas, criando superfícies preferenciais de percolação de fluidos.

Outro ponto importante a ressaltar que condicionou a ocorrência do movimento de massa é a clivagem presente nos minerais micáceos, que se reflete nos solos residuais derivados destes, isto os tornam menos resistentes a esforços nesta direção. No presente caso, este fato é especialmente relevante uma vez que foram identificados planos ricos em biotita com direção de mergulho coincidente com a do talude o que condicionou o desenvolvimento da superfície de ruptura nestas camadas, cuja inclinação varia de 40° a 50° como apresentado na Figura 5.



Figura 5. Plano de fraqueza e de percolação preferencial de fluidos derivado da xistosidade da rocha matriz (vista interior de uma trinca).

5 MODELAGEM GEOTÉCNICA

A modelagem geotécnica do problema, de forma a se estabelecer uma proposta de estratigrafia e parâmetros de resistência das diferentes camadas do subsolo, e assim determinar a superfície de ruptura e os fatores de segurança atual e futuro (pós-obra), se baseou no levantamento topográfico, sondagens à percussão com ensaios de SPT – *Standard Penetration Test* executadas, observações de campo e revisões bibliográficas.

Inicialmente, foi definido um perfil de solo residual com quatro horizontes distintos e resistência crescente conforme aumento da profundidade: a camada superior (A), constituída predominantemente por argila-siltosa vermelha, com $N_{SPT} \leq 10$ (número de golpes do ensaio de SPT menor ou igual a 10) e espessura aproximada de 1m; uma camada intermediária (B) constituída por uma transição entre os materiais encontrados nas camadas A e C, com cerca de 9m de espessura e $10 < N_{SPT} \leq 20$; uma camada inferior (C), constituída predominantemente por silte-arenoso cinza, podendo conter areia grossa, com $N_{SPT} > 20$ e aproximadamente, 10m de espessura; e, por fim, a rocha alterada, impenetrável.

Complementarmente, foram definidas duas camadas adicionais ao modelo, sendo a primeira referente à massa mobilizada, que teve seus parâmetros de resistência reduzidos durante o

evento, com cerca de 9m de espessura, e a segunda devido à camada de material micáceo a partir do qual se desenvolveu a ruptura, apresentando cerca de 0,5m de espessura. Ambas tiveram suas inclinações e localizações definidas pelas observações de campo e perdas abruptas de resistência no perfil da sondagem.

É válido ressaltar que os resultados do SPT não foram considerados como indicadores diretos de resistência do material a escorregamentos, pois as correlações empíricas do N_{SPT} com a resistência do material são baseadas em solos sedimentares não estruturados, com comportamento diferente dos solos residuais aqui estudados. Assim sendo, no presente trabalho, o referido parâmetro foi usado apenas para a definição da estratigrafia local.

Uma vez definido o perfil estratigráfico do terreno, foi elaborada uma retroanálise para se determinar os parâmetros de resistência referentes ao momento de ruptura do talude. Para tal, considerou-se a encosta com um fator de segurança – razão entre forças e momentos estabilizantes e mobilizantes – próximo da unidade (1,0). A retroanálise foi realizada para a seção mais crítica da área de intervenção, ou seja, a de maior altura, inclinação e que demonstrava, segundo as sondagens, o perfil mais propício a movimentos de massa. Desta forma, apresentam-se na Tabela 1 os parâmetros de resistência estimados que, retroanalizados, levaram os taludes a um fator de segurança da ordem de 1,05.

Tabela 1. Parâmetros de resistência estimados.

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Solo A	17	10	18
Solo B	18	15	25
Solo C	20	15	28
Material Mobilizado	16	4,0	25
Micas Imtemperizadas	18	4,0	19
Rocha Alterada	23	35	30

Em todas as análises de estabilidade foi empregado o método rigoroso de Morgenstern-Price, que estabelece o equilíbrio de forças e momentos das massas mobilizantes, considerando uma relação meso-senoidal (*half sine*) como função entre fatias. As análises

foram executadas com auxílio do programa SVSlope, pacote do software SVOOffice 2009. A superfície de ruptura crítica gerada automaticamente em todas as análises foi de forma qualquer (arbitrária), ou seja, *a priori*, de forma não circular ou não planar. No modelo não foi empregada a superfície freática, uma vez que, durante as sondagens e observações de campo, não foi observado nível d'água.

A Figura 6 ilustra a retroanálise realizada para a seção crítica, onde se obteve um fator de segurança de 1,032.

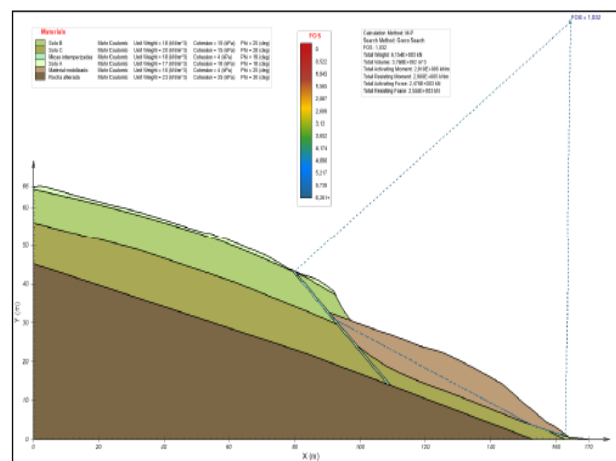


Figura 6. Retroanálise da seção crítica S5, com FS =1,032.

6 CONCEPÇÃO DA SOLUÇÃO

Após a definição do modelo geotécnico do maciço, foram estudadas diversas soluções para o problema, dentre elas cortina atirantada na base, solo grampeado nas cotas superiores, retaludamento do maciço, muros de gravidade na base, e cortina de estacas na base. Estava clara a necessidade de se estabelecer uma relação de contrapeso na base, e/ou diminuição da massa rompida do talude, devido à tendência progressiva do movimento, restando definir se seria uma contenção ativa ou passiva.

Em função das observações de campo quanto ao material constituinte do maciço, tipologia do movimento, geometria do talude, riscos à população em função de possíveis novos escorregamentos, área disponível para a execução da contenção, aspectos construtivos e custo, a solução que melhor atendeu ao

problema foi constituída por cinco etapas, a saber:

- (i) Execução de muro de gabião com aterro na base do talude;
- (ii) Execução de colchão drenante entre o aterro e o talude;
- (iii) Retaludamento com proteção de biomanta e hidrossemeadura;
- (iv) Preenchimento das trincas com solo;
- (v) Execução de um sistema de drenagem de crista.

A seguir, são descritas cada uma dessas etapas.

6.1 Execução de muro de gabião com aterro na base do talude

Levando-se em consideração a necessidade de contrabalançar o peso do talude em movimento, uma eventual demanda de drenagem do maciço, uma vez que as análises foram realizadas em temporada de seca, assim como as condicionantes locais como a espessura do solo e o espaço disponível a jusante, foi adotada a solução de muro de gravidade constituído por gabião e aterro na base.

Esta opção foi ainda favorecida por questões econômicas, uma vez que outras soluções como cortinas atirantadas e cortinas de estacas exigiriam ancoragens na rocha que, neste caso, estão bastante profundas, o que resultaria em um elevado custo de implantação.

Como vantagens, pontuam-se características como a simplicidade de execução, durabilidade, flexibilidade e resistência da estrutura, além do fato da mesma ser drenante, evitando assim problemas decorrentes de possíveis acúmulos de água em sub-superfície.

Entre o gabião e a base do talude será executado um aterro compactado utilizando o próprio material proveniente do retaludamento com o objetivo de aumentar o peso da base do talude e, consequentemente, as forças estabilizantes, contribuindo assim para a segurança.

No que diz respeito à configuração do muro, foi feita a adoção pelo gabião tipo caixa, que se trata de uma peça com formato de paralelepípedo, constituída de telas em malha

hexagonal de dupla torção.

6.2 Execução de colchão drenante entre o aterro e o talude

Com o objetivo de contribuir para uma drenagem de sub-superfície mais eficiente no maciço e evitar a formação de um plano preferencial de percolação de fluidos na interface entre o solo e o aterro em função das diferenças de permeabilidade, projetou-se um colchão drenante entre a massa mobilizada e o aterro compactado.

6.3 Retaludamento com proteção de biomanta e hidrossemeadura.

Visando contribuir tanto com a estabilidade global da encosta, quanto com a estabilidade local de sua porção superior, recomendou-se o rebatimento do talude em até 1,5:1 (H:V), principalmente aquele formado pelo deslocamento de solo, consequente do movimento de massa que ocorreu no local, conforme observado na Figura 4.

Uma vez realizado o retaludamento haverá uma diminuição da massa de solo nas cotas superiores, contribuindo para o equilíbrio de forças contrabalançado pelo muro a jusante, e reduzindo os riscos de novos movimentos de massa de grande porte que possam oferecer riscos à segurança e aos bens dos moradores próximos.

Complementarmente, visando evitar o desencadeamento de processos erosivos que possam vir a comprometer a solução global proposta, deve-se proceder com o recobrimento vegetal e proteção da face do talude com biomanta.

Para tal, previamente à implantação da biomanta, composta por fibras de coco, deve-se executar um microcoveamento e hidrossemeadura na face do talude, com espécies de gramíneas e leguminosas compatíveis ao solo e clima locais, as quais irão exercer um papel de reforço superficial importante através de suas raízes.

6.4 Preenchimento das trincas com solo

Para evitar que águas pluviais se acumulem nas

trincas ou infiltrem diretamente no solo a partir delas, propõe-se que as mesmas sejam preenchidas com o material terroso removido no retaludamento.

6.5 Execução de Um Sistema de Drenagem de Crista

Como drenagem superficial, está prevista uma canaleta retangular de concreto posicionada a montante da contenção, direcionando a água captada para caixas de passagem definidas no projeto, localizadas nas extremidades da obra. Tal sistema irá propiciar uma menor incidência de água na face do talude, o que proporcionará uma maior segurança e durabilidade da obra.

Tendo em vista a declividade do terreno, e a consequente velocidade de escoamento da água dimensionada para um tempo de recorrência de cinco anos, a canaleta projetada deve conter degraus para redução da energia de escoamento, evitando assim o desgaste excessivo do concreto, o que o comprometeria no longo prazo.

7 ANÁLISES DE ESTABILIDADE DA SOLUÇÃO PROPOSTA

A seguir, apresenta-se a análise de estabilidade executada para as soluções definidas. Para a composição das seções, foram utilizados o levantamento topográfico cadastral realizado e os parâmetros geotécnicos determinados no item 4, acrescentando o solo compactado, cujos parâmetros são; $\gamma = 18 \text{ Kn/m}^3$, $c' = 10 \text{ kPa}$ e $\phi' = 28^\circ$.

Para analisar a estabilidade do talude após a implantação do muro de gabião com aterro e retaludamento na parte superior, escolheu-se a seção mais crítica do levantamento topográfico.

No que tange a configuração final, a porção superior, constituída pelo material do Solo B, foi retaludado em taludes de 10m de altura, com inclinação de 34° . Já a porção inferior do talude, constituída pelo material mobilizado e por uma nova porção de solo compactado, possui uma declividade de cerca 17° .

No que diz respeito às dimensões do muro de gabião, este foi projetado possuindo 5m de base, 5m de altura e uma extensão externa frontal de 127,15m. Foram consideradas caixas

de 1m de altura, e a cada patamar na direção horizontal, foi sendo decrescido 1m, de modo que no último patamar o bloco possui dimensões de 1mx1m.

Segundo a NBR 11.682/09 – Estabilidade de Taludes, o fator de segurança mínimo aceitável para um talude deve ser calculado em função da relação entre os impactos que uma eventual ruptura teria em vidas humanas e em bens materiais ou ambientais.

Com base nos critérios supracitados, é possível definir qual o fator de segurança mínimo aceitável para a referida solução de estabilização do talude.

Foram consideradas, para o caso em questão, duas situações distintas. A primeira para rupturas globais, onde se avaliou que o grau de segurança esperado para o local fosse alto no quesito vidas humanas e baixo em perdas materiais e ambientais, apresentando fator de segurança mínimo de 1,4. A segunda situação engloba rupturas locais na parte superior do talude onde se considerou que o grau de segurança esperado para o local fosse médio no quesito vidas humanas e baixo em perdas materiais e ambientais, apresentando fator de segurança mínimo de 1,3.

Partindo-se das premissas acima, executaram-se as análises de estabilidade da referida seção, conforme mostrado nas Figuras 7 e 8 (método de Morgenstern-Price, talude infinito), e obtiveram-se os fatores de segurança de 1,36 para rupturas locais e 1,41 para ruptura global, o que demonstra que a solução proposta foi adequada para ambas as situações.

Com o objetivo de aperfeiçoar as análises de estabilidade e otimizar a segurança da contenção, as superfícies de ruptura foram geradas de forma qualquer (arbitrária), ou seja, *a priori*, de forma não circular ou não planar, quanto de forma semicircular (composite circular), além de terem sido considerados os fatores de segurança mais baixos.

O muro de gabião foi projetado respeitando-se as dimensões necessárias tanto para a estabilidade do talude, analisada por intermédio do *software* SVSlope, do pacote SVOOffice 2009, quanto para a estabilidade interna do muro, avaliada através do programa GawacWin 2003. Todos os resultados obtidos foram satisfatórios.

Os resultados obtidos na análise de estabilidade interna do muro foram:

Tabela 2. Fator de Segurança da Análise de estabilidade interna do muro de gabião.

Fator de Segurança	
Deslizamento	2,84
Tombamento	7,03
Global	1,81

Tabela 3. Resultados da Análise de estabilidade interna do muro de gabião.

Tensão Normal na Base (lado esquerdo)	118,35(kN/m ²)
Tensão Normal na Base (lado direito)	64,14(kN/m ²)
Máxima Tensão Admissível	194,77(kN/m ²)

Ressalta-se ainda que a solução adotada constitui-se de uma série de medidas onde cada uma delas representa uma parcela significativa na reconstituição do maciço, atuando de forma conjunta para condição de estabilidade.

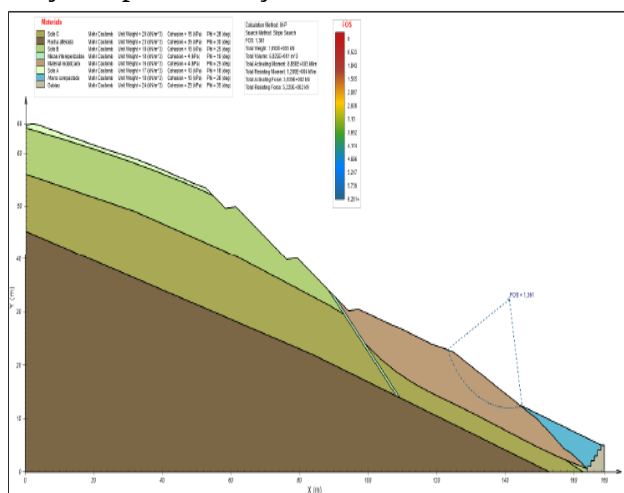


Figura 7. Análise de estabilidade local do talude, contido por muro de gabião e aterro, representado pela seção crítica, FS = 1,36.

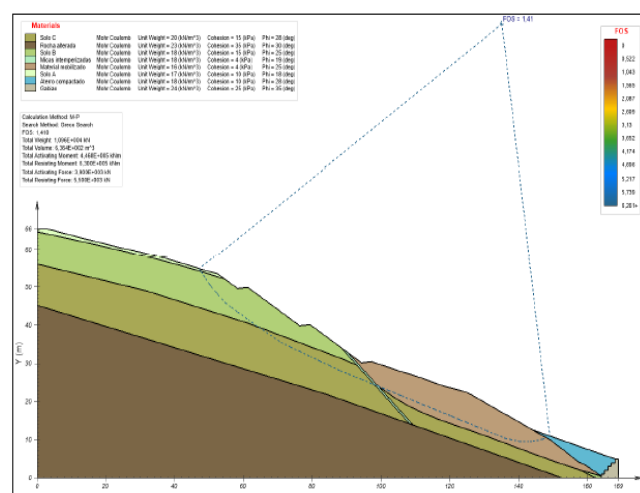


Figura 8. Análise de estabilidade global do talude contido por muro de gabião e aterro, representado pela seção crítica, FS = 1,41.

8 CONCLUSÕES

O presente trabalho mostra a importância de se determinar, com o menor grau de incerteza possível, os fatores deflagradores e processos ocorridos em uma ruptura de talude, de modo a se combater o problema com uma solução eficaz e que apresente a melhor relação custo-benefício. Para tal, é fundamental a execução de uma extensa campanha de investigação geotécnica, acompanhada de um adequado mapeamento geológico-geotécnico de campo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Município de Itajubá, que propiciou o presente contrato de serviço e, gentilmente, autorizou a sua publicação, e à ALTA Geotecnia, responsável técnica pelo projeto.

REFERÊNCIAS

- ALTA Geotecnia. Elaboração de Projeto Executivo de Estabilidade de Encosta no Bairro Vila Isabel, conforme contrato nº 089/2014 estabelecido junto à Prefeitura Municipal de Itajubá, MG. Dezembro de 2014.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Estabilidade de Taludes. 2009. (NBR-11.682).
- Augusti Filho, O.; Virgili, J.C. Estabilidade de taludes. In: Oliveira, A.M.D.S.; Brito, S.N.A.D. (Eds). Geologia de Engenharia, São Paulo: ABGE, 1998, p. 243-269.
- De Campos, L.E.P. Influência da sucção na estabilidade de taludes naturais em solos residuais. Dissertação de mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1984, 192 p.
- Gomes, R.A.T. Modelagem e previsão de movimentos de massa a partir da combinação de modelos de escorregamentos e corridas de massa. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, 2006, 102 p.
- Hassiotis, S.; Chameau, J.L.; Gunaratne, M. Design method for stabilization of slope with piles. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 123, nº 4, 1997, p. 314-323.