

Procedimentos para Estabilização de um Talude com Cunha de Ruptura Ativa

Marco Aurelio de Oliveira

ZF & Engenheiros Associados, São Paulo, Brasil, marco@zfsolos.com.br

Frederico Fernando Falconi

ZF & Engenheiros Associados, São Paulo, Brasil, fred@zfsolos.com.br

Celso Nogueira Corrêa

ZF & Engenheiros Associados, São Paulo, Brasil, celso@zfsolos.com.br

RESUMO: Trata-se de talude com aproximadamente 600 m de extensão e 50 m de altura que sofreu uma ruptura entre os fins dos anos 70 e início dos anos 80. Durante a limpeza e escavação para início das obras de contenção, a cunha rompida há 30 anos iniciou novo processo de movimentação. Esse trabalho relata como foi possível estabilizar novamente essa massa rompida em movimento, com projetos de contenções adequados para cada região do talude, interpretação de instrumentação (inclinômetros e marcos superficiais), investigações geotécnicas e geológicas de campo e laboratório, procedimentos executivos apropriados com a utilização de métodos observacionais e acompanhamento em campo de todos os trabalhos. Fatos históricos também serão relatados para mostrar a importância do conhecimento da história de uma região, quando se pretende alterar a geometria, topografia, vegetação etc. para a instalação de um empreendimento, seja imobiliário, infraestrutura etc. Para estabilização foram utilizados basicamente solo grampeado e muros de concreto sobre estacas raiz com ancoragens passivas. Com a instrumentação e as observações de campo foram sendo feitas as adequações de campo e definição dos métodos executivos.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização de Talude, Cunha Ativa, Solo Grampeado, Instrumentação, Análises.

ABSTRACT: This paper presents a slope of approximately 600 m width and 50 m height which suffered a failure process at the end of the 1970's and beginning of the 1980's. In the process of cleaning and excavating to begin the retaining works, the rotational shear slide began moving again 30 years after its initial failure. This paper presents the process of re-stabilizing the moving mass with adequate retainment designs for each portion of the slope, interpretation of instrumentation results (inclinometers and superficial marks), field and laboratory geotechnical and geological investigations, and appropriate execution methods, using field observations and attending all the field works. Historical facts will also be told to show the importance of knowing the history of a region, when proposing to alter its geometry, topography, vegetation, etc, for construction. For slope stabilization, soil nailing and concrete walls supported by root piles with passive anchorage were used. With the instrumentation results and field observations, changes were made *in situ* and the execution methods were fixed.

KEYWORDS: Slope Stability, Active Failure, Soil Nailing, Instrumentation, Analysis.

1 Introdução

Trata-se de talude com aproximadamente 600 m de extensão e 50 m de altura na Zona Sul da Cidade de São Paulo, parte da encosta esquerda da represa de Guarapiranga e às margens do Rio Pinheiros, que sofreu uma ruptura entre os fins dos anos 70 e início dos anos 80 e estabilizou.

Na implantação de uma obra viária a jusante desse talude, houve a necessidade de limpeza da vegetação, terraplenagem e contenção. Durante a limpeza e escavação para início das obras de contenção, no segundo semestre de 2017, a cunha rompida há 30 anos iniciou novo processo de movimentação.

Na ocasião estava em escavação a parte inferior da região rompida e sendo reconstituída a porção superior, processos que aceleraram a reativação da massa rompida. Foi nesta fase que foram iniciados os trabalhos, orientando a paralisação destas duas frentes. Na tentativa de desacelerar as movimentações, até então visuais e sem medições, foi orientada a realização de aterro com todo o material disponível na porção inferior.

2 Primeiras Avaliações Geotécnicas

Nas visitas iniciais observaram-se trincas de eventuais cunhas de ruptura (foto 1), materiais diversos (foto 2), como solo residual jovem, solo residual maduro, alteração de rocha, aterro, sedimentos. Tais fatos sinalizaram que havia uma complexidade geológica a ser estudada antes de propor uma solução ou dar um diagnóstico.



Foto 1. Trincas no talude inferior.



Foto 2. Vista de materiais diversos no talude.

Em uma pesquisa preliminar com fotos do Google Earth foi possível identificar em uma foto de 2009 (Foto 3) a cicatriz de uma ruptura de grande volume ocorrida no passado.

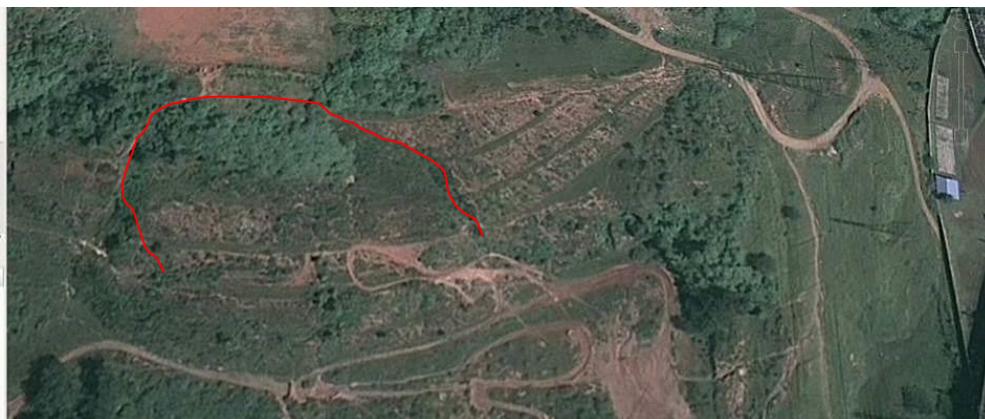


Foto 3. Cicatriz da ruptura estabilizada.

2 Geologia e Contexto Histórico

Os trabalhos de análise dos mecanismos que ocasionaram a ruptura inicial foram subsidiados por avaliações geológicas e histórias.

Nas fotos aéreas mostradas a seguir de 1958 e 1986 observa-se que o morro sofreu intensas intervenções, com retirada de elevados volumes de corte. É mostrado pelo contorno em vermelho a morfologia do morro na década de 50 e uma sobreposição na imagem da década de 80, na qual é possível verificar o volume de material removido.



Foto 4. Foto aérea de 1958.



Foto 5. Foto aérea de 1986.

As avaliações geológicas concluíram que a predominância de metarenito, material com permeabilidade relativamente alta, na porção superior do morro reliquiar, favoreceu a infiltração de água no maciço saprolitizado, uma vez que o sistema de drenagem superficial foi ineficiente e as bermas e taludes foram erodidos ao longo do tempo. O sistema de fraturas subverticais nos metapelitos, sotopostos à camada de metarenito, foi continuamente alimentado pela infiltração através da camada de metarenito e pode ter funcionado como gatilho na deflagração da ruptura.

Ainda sob o ponto de vista estrutural, a inversão local da foliação foi outro condicionante geológico determinante. Apesar de a foliação regional apresentar mergulho para NW, conforme citado por Coutinho (1968), a encosta resultante do retaludamento efetuado na década de 70 expôs dobras de escala decamétrica, que apresentam inversões do mergulho da foliação para NE e SE, portanto desfavoráveis à estabilidade, uma vez que ficaram paralelas aos taludes da encosta.

Infere-se que o relaxamento de tensões provocado pelo desconfinamento do maciço após o retaludamento teria favorecido a conexão das fraturas subverticais, que funcionam como elementos de condução das águas infiltradas no maciço, com os planos de foliação desfavoráveis à estabilidade do talude, determinando o provável mecanismo de ruptura.

As figuras 1 a 3 apresentam o esquema dos diferentes estágios até a ruptura do talude, onde as curvas mostram a disposição da foliação, desfavorável à estabilidade do talude, e as retas correspondem às fraturas.

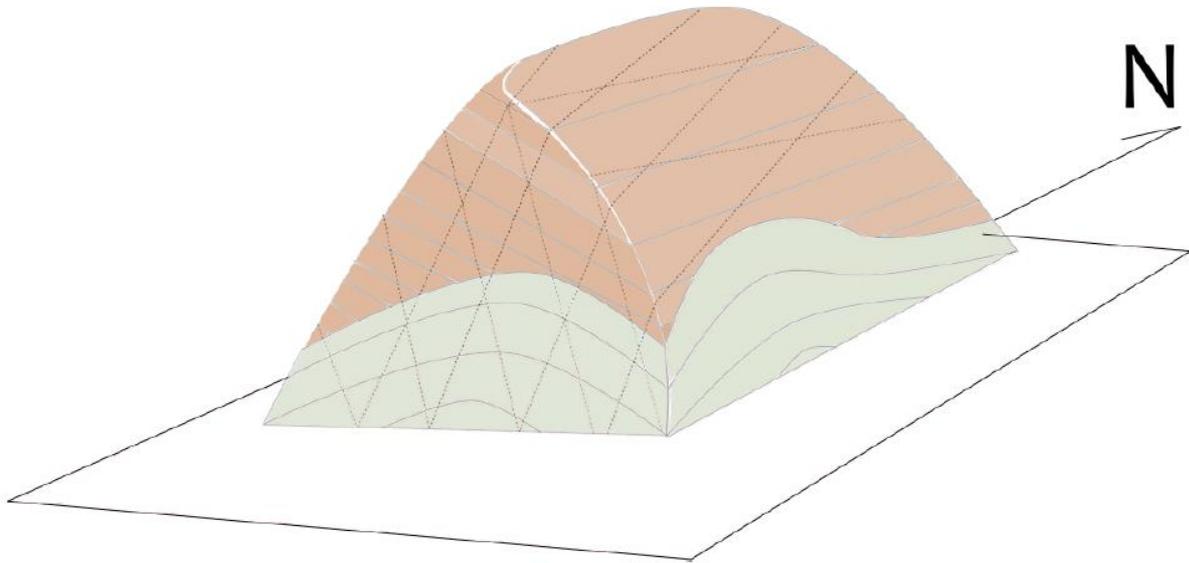


Figura 1. Situação anterior ao retaludamento. Em marrom são apresentados os sedimentos e em cinza o gnaisse.

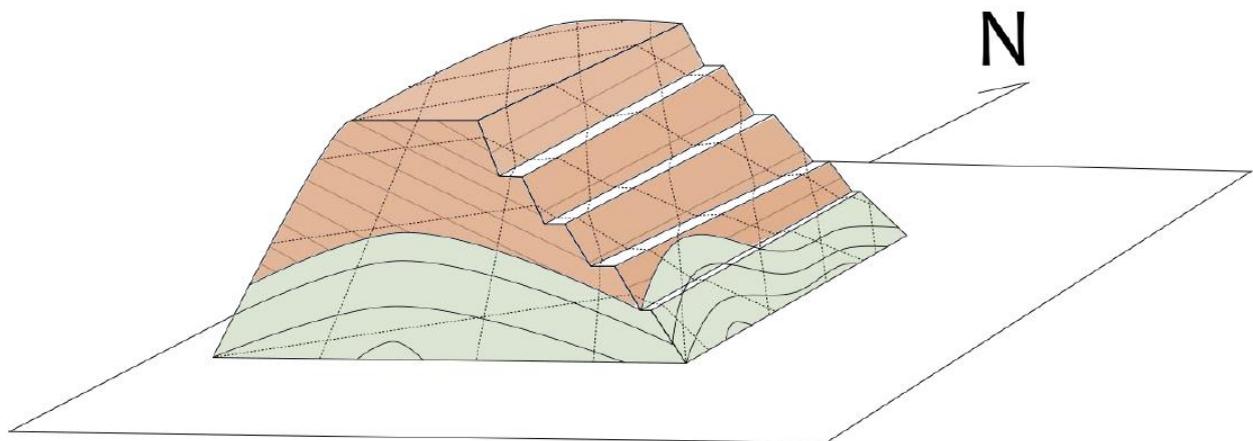


Figura 2. Situação após o retaludamento, com arrasamento do topo do morro e execução de taludes e bermas.

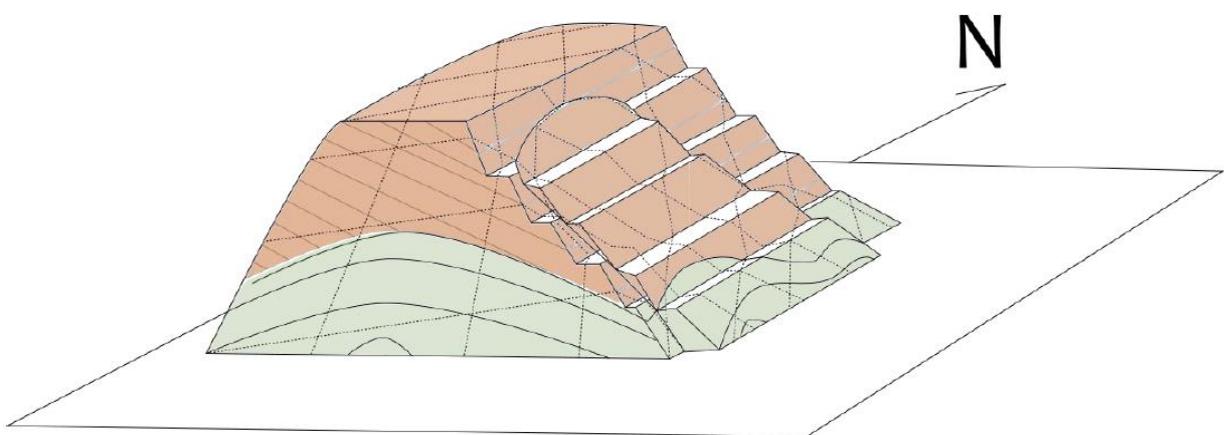


Figura 3. Ruptura do talude devido ao retaludamento combinadas às superfícies de descontinuidade.

3 Investigações Geotécnicas e Instrumentações

Foram realizadas coletas de blocos de amostra indeformados em 7 pontos, em fase anterior ao projeto, com realização de ensaios de caracterização e triaxiais, porém, em função das variantes e condicionantes geológicas somadas à extensão do talude, os dados precisaram ser analisados e contextualizados para cada seção típica.

Neste trabalho serão discutidas somente as análises realizadas na região da ruptura, na qual retroanálises são mais representativas, por obterem valores médios, do que dados pontuais.

A reativação da cunha de ruptura central gerou a necessidade de complementação das informações que permitissem melhor entendimento dos limites e comportamento da massa. Foram realizadas 11 sondagens à percussão, sendo as 5 primeiras com amostragem contínua.

Nessas sondagens foram instalados inclinômetros simplificados, que são tubos de pvc com torpedo de pvc preenchido com calda e amarrado com barbante. Esse primeiro torpedo é deixado no fundo do furo e içado diariamente para verificação de movimentação. Caso ocorra deslocamento do terreno, o tubo cria obstrução para a subida do torpedo inferior. A partir da boca do furo é descido outro torpedo, quando ocorre problema na subida do inferior. Com isso, obtêm-se as profundidades inferior e superior das obstruções e, conseqüentemente, início e fim da seção de cisalhamento entre a massa ativa e passiva.

Além dos inclinômetros simplificados, foram instalados 27 marcos superficiais reflexivos e 2 inclinômetros. Os marcos superficiais foram instalados em grupos de 5, sendo um para fora de cada lado da ruptura para comparativo. Os últimos 2 foram instalados em posições diferentes da trinca mostrada na foto 1.

4 Análises da Região da Ruptura

Em função da reativação da cunha de ruptura não foi possível aplicar o projeto original e nem os procedimentos executivos previstos para essa área. Os trabalhos de escavação da porção inferior e de recomposição da superior foram interrompidos em 02/10/2017.

Foram realizadas retroanálises para ajustes dos parâmetros do contato da massa instável. Apesar das foliações e fraturamentos planares, observadas nos relatórios geológicos, a profundidade da cunha que gerou a ruptura não é de fácil estimativa. Em função disso e por simplificação as retroanálises foram realizadas adotando-se cunhas circulares. O nível d'água não foi considerado nas análises em função de estar além do limite previsto para a cunha.

Foram diferenciados materiais com características geotécnicas idênticas (materiais 1 e 2), porém com diferenciação de cor. Visando evitar cunhas superficiais foi adotado material superficial com características ligeiramente superiores (material 3).

Foram interpretadas duas possibilidades de cunha, uma sendo superficial e outra mais profunda, tomando como base círculo passando por três pontos: dois na região superior da ruptura após a limpeza e outro no pé do talude atual. A seguir são apresentadas as imagens das análises: Seção Crítica Profunda (figura 4) e Seção Crítica Rasa (figura 5).

É importante salientar que os parâmetros de resistência resultantes das retroanálises são cerca de 30 vezes menores quanto à coesão média obtida nos ensaios triaxiais (60 kPa) e ligeiramente inferiores quanto ao ângulo de atrito (23° nas retroanálises x 26° ensaios triaxiais).

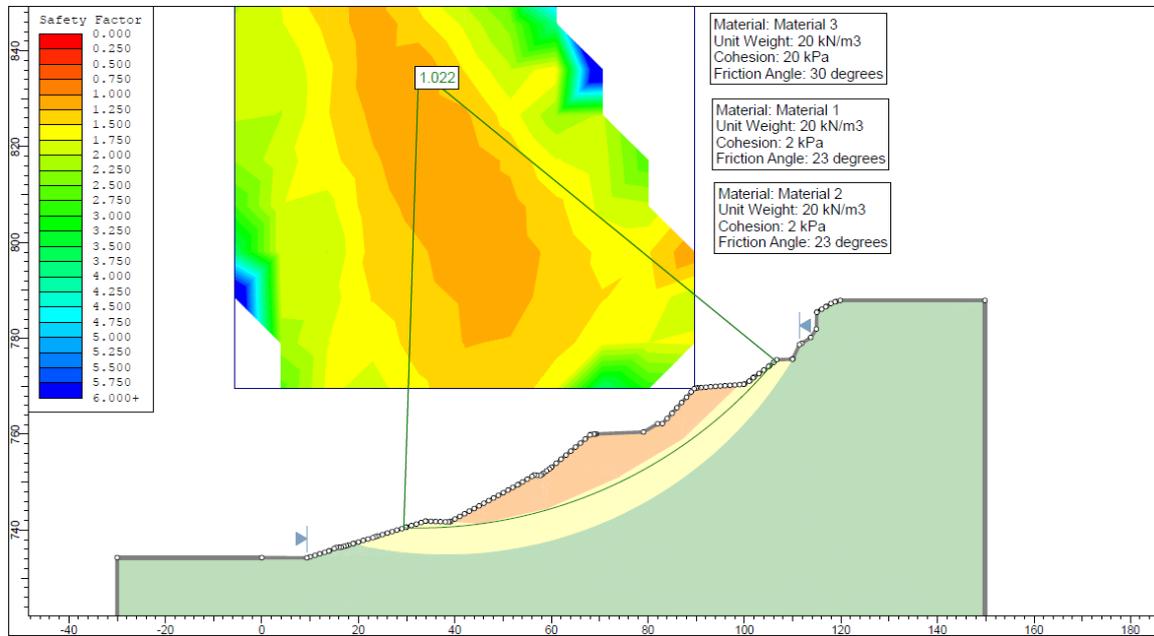


Figura 4. Seção 21 Atual Crítica Profunda.

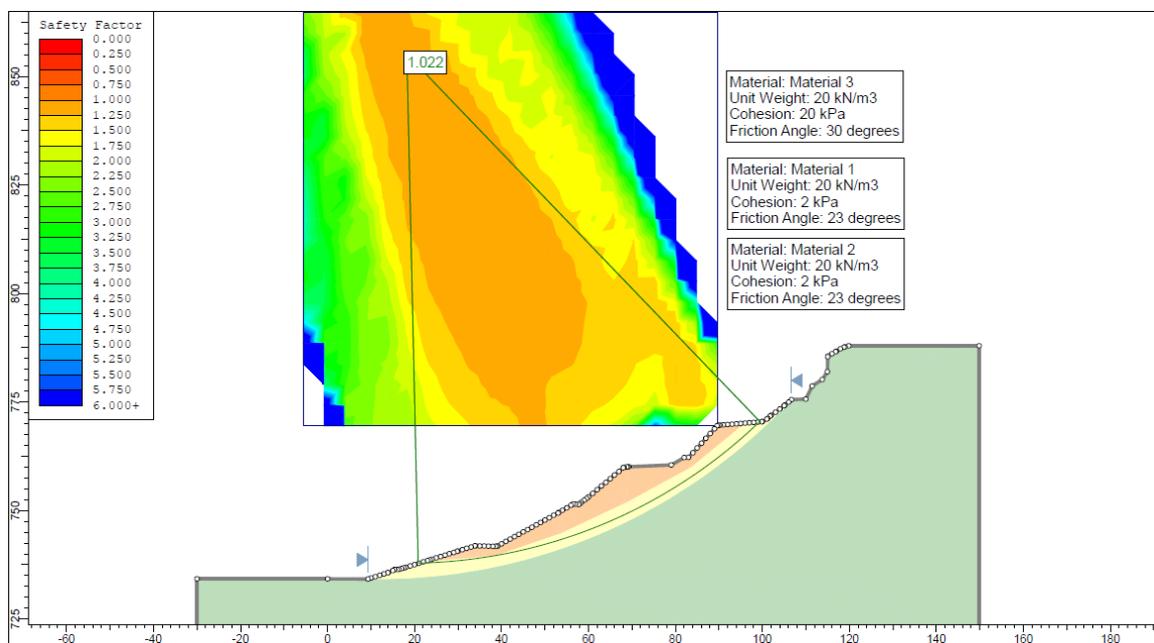


Figura 5. Seção Atual Crítica Rasa.

Nos dois casos, após diversas tentativas, as cunhas coincidiram com a região onde hoje observa-se trinca com movimentação, não sendo possível ajustar as cunhas imaginadas inicialmente.

A interpretação dos dados resultantes das instrumentações e investigações confirmou, conforme mostrado na figura 6, que o modelo adotado, apesar de aproximado, representou com bastante eficiência a cunha da massa instabilizada.

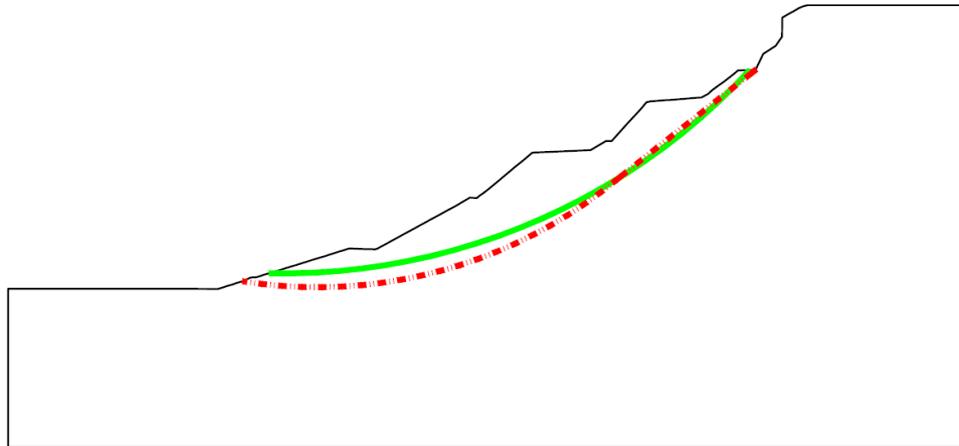


Figura 6. Em verde a cunha estimada nas análises (retroanálises preliminares realizadas antes das instrumentações) e em vermelho a cunha avaliada com base nas instrumentações.

Espera-se que os parâmetros antes da ruptura sejam superiores aos após a deflagração da ruptura. Por isso, foi verificado o valor de FS com os parâmetros pós-ruptura, conforme mostrado na figura 7, sendo obtido valor abaixo de 1.

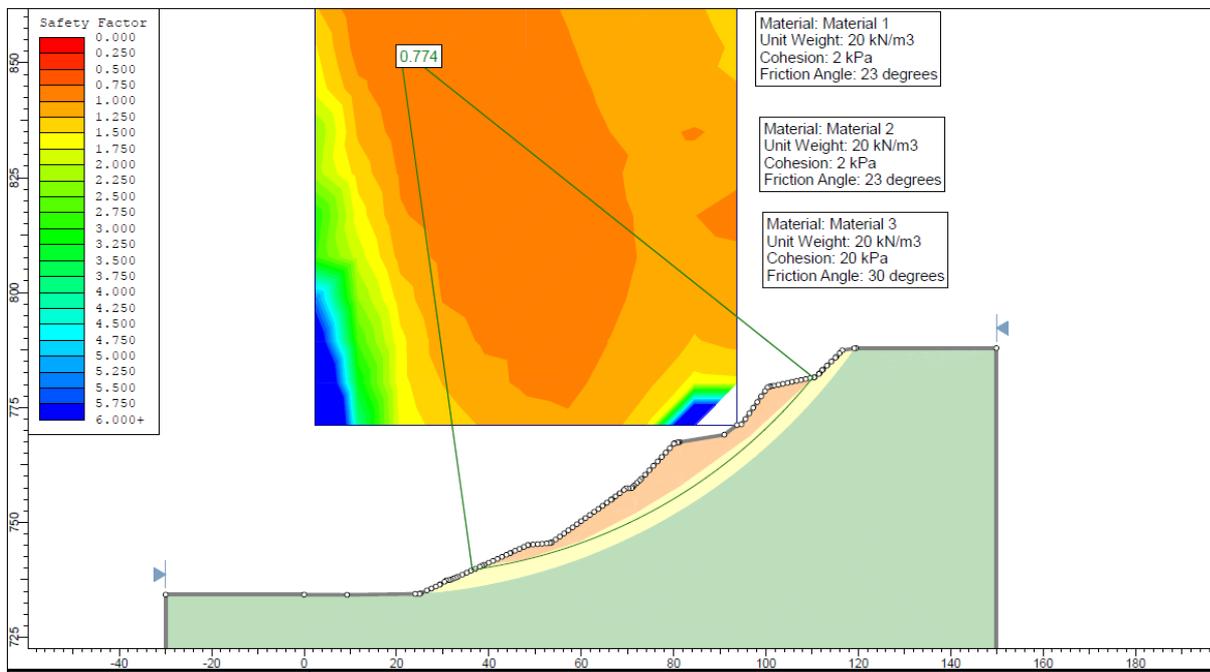


Figura 7. Seção primitiva com parâmetros pós-ruptura.

Para a instabilização do talude primitivo foi realizada a retroanálise mostrada na figura 8, com os respectivos parâmetros resultantes.

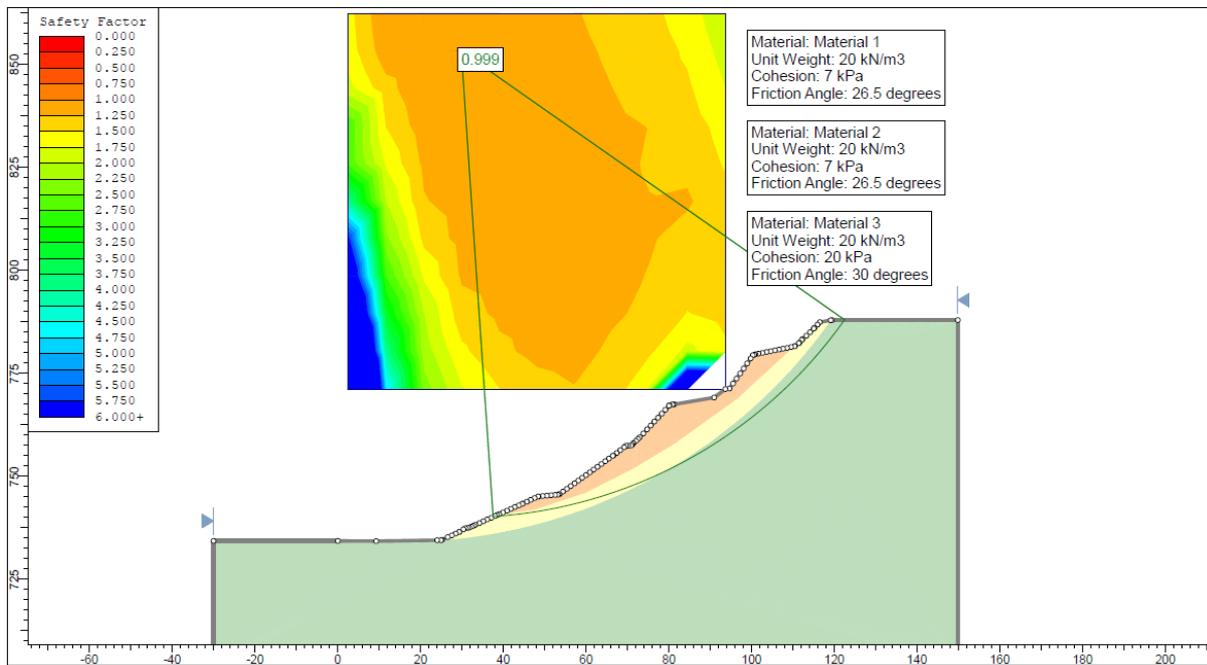


Figura 8. Seção primitiva com parâmetros antes da ruptura da década de 70/80.

Como o aterro que estava sendo repostado na porção superior do talude aparentemente reativou a cunha, foram avaliadas a seguir propostas de alívio da parte superior com o uso de solo grampeado. Foram avaliados alívios de 30 m, 20 m e 25 m. A solução que se mostrou mais vantajosa técnica e economicamente foi de alívio de 25 m (figura 9).

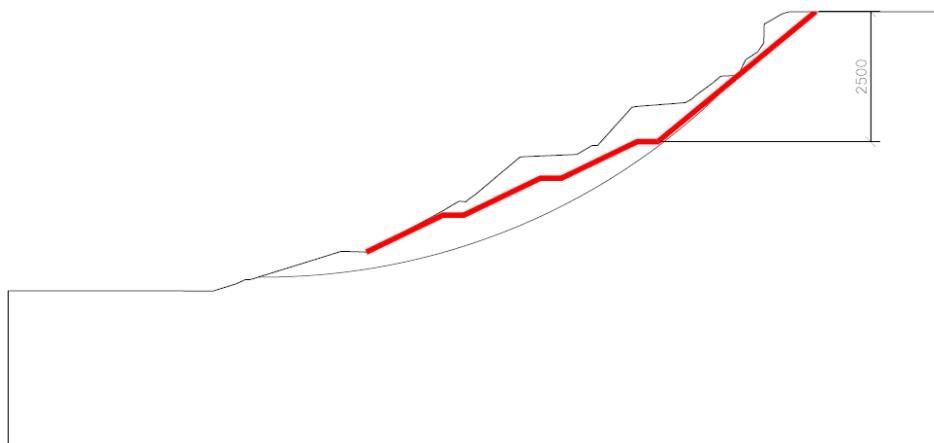


Figura 9. Seção na ocasião da reativação da ruptura com proposição (em vermelho) do corte de 25m estabilizado com solo grampeado, inclinação 1v:1,21h e taludes inferiores com inclinação 1v:2,07h.

As análises seguiram levando em consideração o processo executivo, com a execução do solo grampeado na porção superior com retaludamento de 25 m (figura 10), e então com adição dos arrimos com estacas raiz e enfilagens na parte inferior (figura 11).

O solo grampeado avaliado é composto de grampos de 24 m de comprimento, espaçados a cada 1,5 m (horizontal e vertical), armados com barra $\phi 25$ mm. Nesta etapa ainda estimava-se paramento em concreto projetado com 12 cm de espessura, armado com tela Q196. Entretanto, posteriormente, esse paramento foi substituído por tela protegida por pvc visando proteção de eventuais deslocamentos localizados (figura 11), com avaliação da influência da cunha ativa x passiva conforme sugerido por Oliveira (2009).

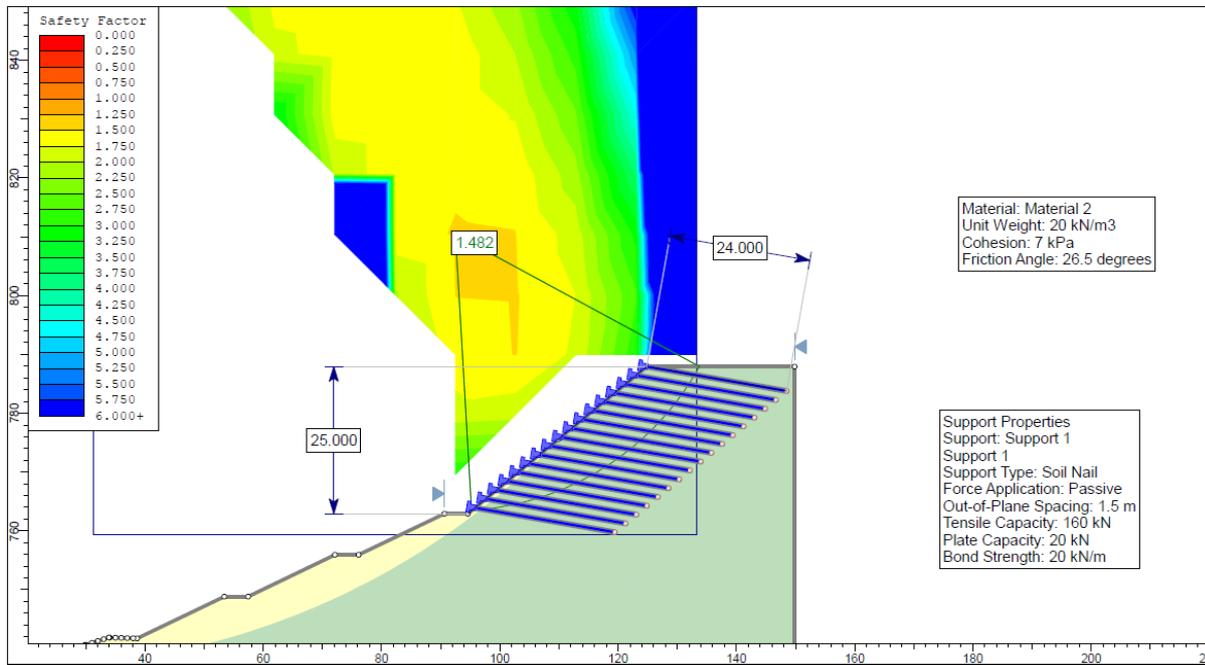


Figura 10. Seção crítica com adição do solo grampeado.

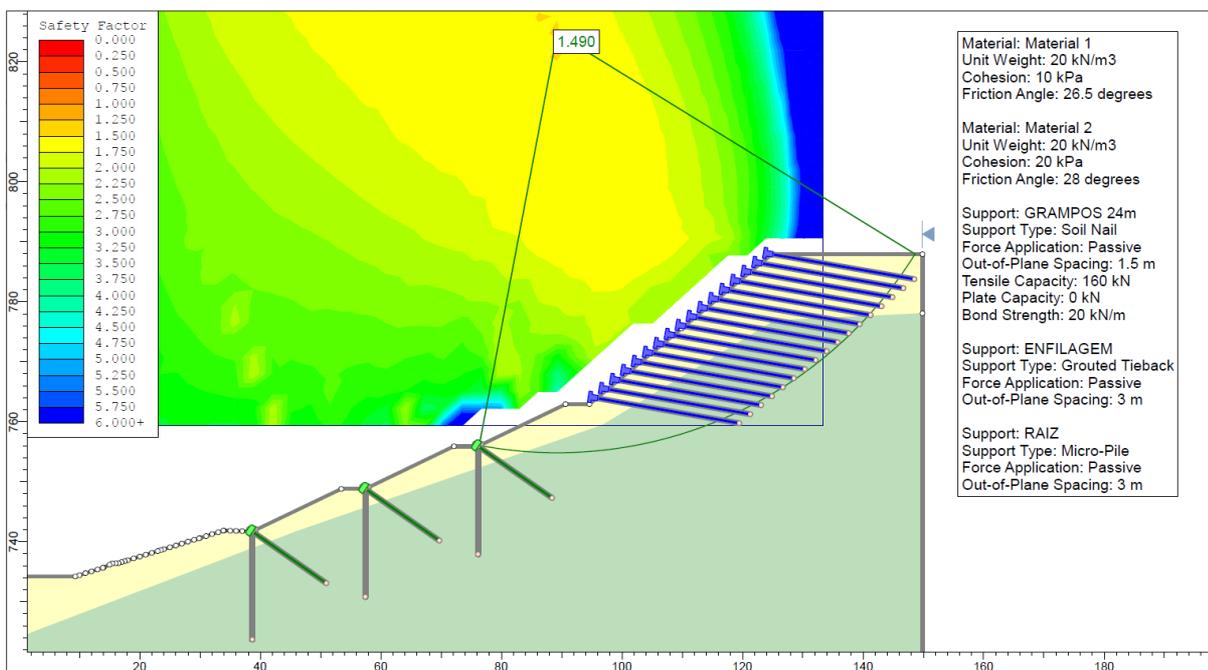


Figura 11. Seção crítica com adição do solo grampeado, sem paramento em concreto projetado e com estacas raiz e enfilagens nas contenções inferiores.

5 Considerações Finais

As leituras dos marcos reflexivos na região interna da ruptura mostraram, durante a execução do solo grampeado, movimentação de 1 cm/dia. Os marcos reflexivos instalados no topo do solo grampeado mostraram que o maciço a montante da ruptura não apresentou movimentação no decorrer dos trabalhos.

Os arrimos em estacas raiz e enfilagens a jusante do solo grampeado somente poderiam ser iniciados após confirmação de estabilidade do solo grampeado e da massa rompida a ser tratada, uma vez que a continuidade das movimentações danificaria os tratamentos em execução. A estabilidade do maciço foi

observada quando o solo grampeado estava a 4 linhas de ser concluído, no início de fevereiro de 2018 (figura 12), situação muito próxima da expectativa baseada nas análises de estabilidade. O solo grampeado foi concluído em meados de março de 2018. Na figura 13 é mostrada a posição dos marcos superficiais da linha MS-116 a MS120.

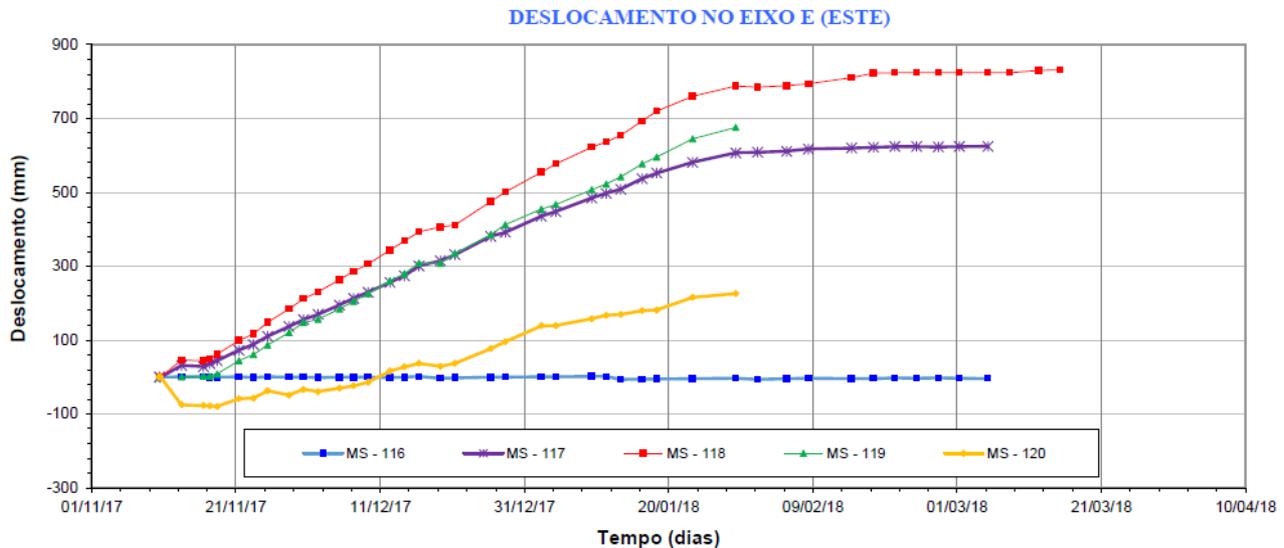


Figura 12. Gráfico de leitura de recalques da linha MS-116 a MS120 com estabilização a partir de fev/2018.

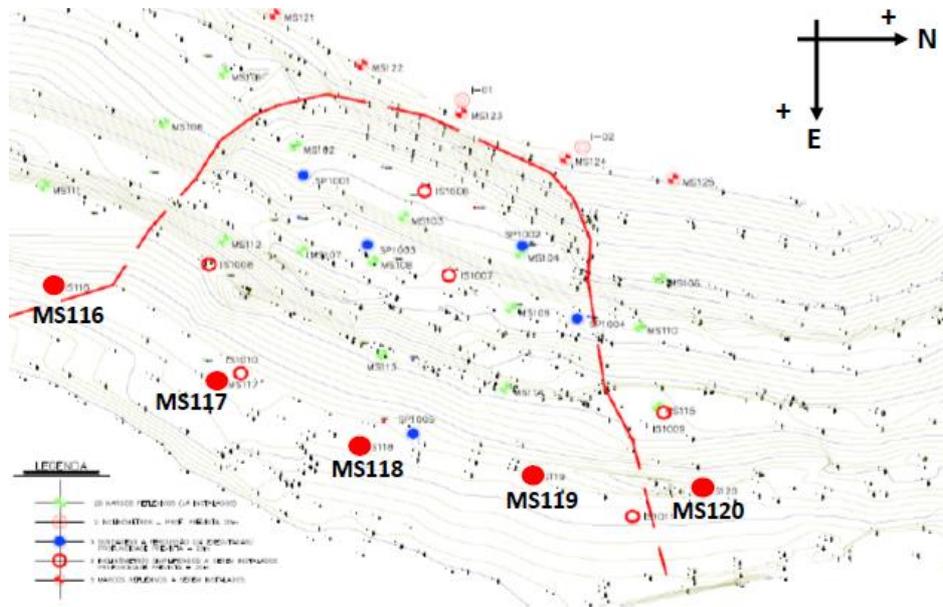


Figura 13. Croqui de localização dos marcos superficiais da linha MS-116 a MS120.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Coutinho, J. M. V. *Petrologia do Pré-Cambriano em São Paulo e Arredores*. 1968. 95 f. Tese apresentada para o provimento do cargo de professor catedrático da cadeira de Petrologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1968.
- Geoportal. *Memória Paulista*. Disponível em: <<http://www.geoportal.com.br/memoriapaulista/>>. Acesso em: 05 nov. 2017.
- Oliveira, M. A., Santos, M. S. (2009) *Solo Grampeado – zona ativa, a importância de sua avaliação, como ela pode colaborar no dimensionamento e otimização desta solução - 5º Cobrae*.