

Caracterização da Estabilidade de Taludes Situados na Base de um Reservatório Localizado no Município de São Bernardo do Campo/SP

João Alexandre Paschoalin Filho

Paschoalin & Versolatto Engenharia Consultiva, São Paulo, Brasil, paschoalinfilho@yahoo.com

Universidade Nove de Julho, São Paulo, Brasil, jalexandre@uninove.br

Brenno Augusto Marcondes Versolatto

Paschoalin & Versolatto Engenharia Consultiva, São Paulo, Brasil brennoversolatto@hotmail.com

RESUMO: Este artigo apresenta a estabilidade de dois taludes, um situado a montante, e outro a jusante de um reservatório circular de água localizado no município de São Bernardo do Campo/SP. Inicialmente, foi realizada uma inspeção "in loco", onde se constatou, na região montante do reservatório, a ocorrência de uma cunha de ruptura originada pela erosão da camada superficial de aterro. Esta cunha possuía extensão de aproximadamente 10m e profundidade variando entre 5 e 7m. Também foi constatada no local a presença de sulcos erosivos com profundidade de 1,5m. Na região a jusante do reservatório também se observou problemas decorrentes de fenômenos erosivos. O subsolo da região do talude de montante é composto por uma camada de aterro fofo a medianamente compacto. Subjacente, foi constatada uma camada de alteração de rocha composta por silte areno-argiloso micáceo com fragmentos de rocha. Em relação ao talude de jusante, as sondagens indicaram a presença de uma camada de aterro fofo mal compactado, heterogêneo e com presença de restos vegetais e fragmentos de rocha. Esta camada é composta por solo silto-arenoso de significativa susceptibilidade a erosão. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento foram obtidos por meio de retroanálises das regiões rompidas, mecanismo este permitido pela ABNT NBR 11.682/2009. As análises de estabilidade foram conduzidas utilizando-se o Método de Bishop Simplificado. Após a determinação das superfícies de ruptura críticas para cada seção, os fatores de segurança foram comparados aos mínimos sugeridos pela norma, de maneira a se verificar a adequabilidade destes em relação às especificidades locais. Dessa forma, pode-se concluir que, de uma forma geral, para ambos os taludes, a falta de equipamentos de drenagem superficial, aliada a má compactação do aterro, tipo de solo e condições topográficas causaram a ocorrência de fenômenos erosivos significativos que deram origem aos sulcos e ravinas constatados no local, causando a redução dos fatores de segurança obtidos em magnitudes inferiores àquelas recomendadas pela norma.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de taludes, ruptura, erosão.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização do Problema de Campo

Este trabalho apresenta avaliação das causas dos deslocamentos de solos ocorridos em dois taludes, situados em uma região próxima a um

reservatório de água, localizado na cidade de São Bernardo do Campo/SP.

O reservatório encontra-se situado no topo de um talude com altura de 27m (dotado de três bermas de 10m de altura e 4m de largura e inclinação 1,0:1,0). Durante inspeções conduzidas no local, foram identificados

diversos pontos erosivos de diferentes níveis de intensidade, destacando-se três regiões, as quais são apresentadas na Figura 1 a seguir:

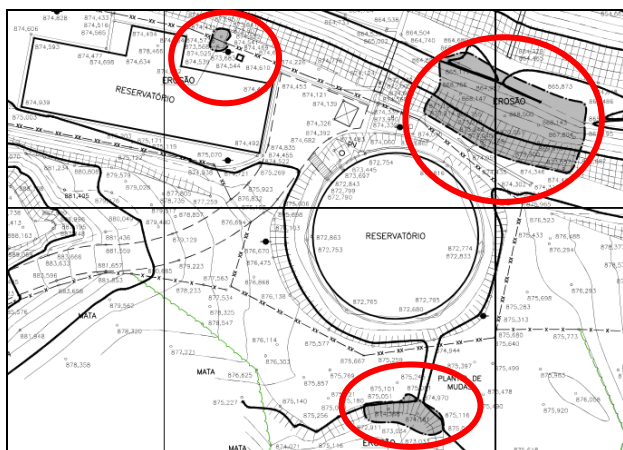


Figura 1. Localização dos pontos de erosão

Na região a montante do reservatório circular, foi observada a ocorrência de uma cunha originada pela erosão da camada superficial do aterro, a qual encontrava-se sobrejacente ao horizonte de material natural.

Esta cunha possuía uma extensão de aproximadamente 10m e profundidades variando entre 5 e 7m. Na mesma região, também foi constatada a presença de sulcos erosivos com largura de cerca de 1,5m. No local, a montante do reservatório, foram instalados piquetes para o acompanhamento dos deslocamentos do solo devido aos processos erosivos.

Apesar de apresentar os problemas citados, esta região, na data das inspeções conduzidas, não apresentava qualquer mecanismo disciplinador das águas pluviais, tais como: canaletas, valetas, etc; sendo os sulcos erosivos observados fruto do caminhar preferencial das águas, em função das características topográficas do local e magnitude do escoamento superficial.

Na região a jusante (frontal) ao reservatório, também foram constatados problemas decorrentes de fenômenos erosivos, destacando-se uma cunha formada pelo deslocamento superficial de uma massa de solo situada próxima à escada hidráulica, a qual se estendia por aproximadamente 25m e com 10m de altura, ou seja, praticamente todo o trecho de talude situado acima da última berma. Também

se constatou, a uma distância de 10m deste deslocamento, uma vala de 1,5m de profundidade e largura de 1,70m, causada por problemas erosivos. No interior desta notou-se a existência de heterogeneidades diversas tais como entulho e sacos plásticos.

Diferentemente da região a montante do reservatório, nesta se observou a presença de elementos de drenagem superficial, como uma canaleta de concreto tipo meia-cana de 0,4m de diâmetro na crista dos taludes das bermas e uma escada hidráulica para coletar o fluxo advindo das canaletas e conduzi-lo para local conveniente.

Entretanto, a canaleta meia-cana encontrava-se, em alguns trechos, trincada e/ou suspensa, e com fissuras no solo em volta destas, o que reduzia sua eficiência, além de servir de caminho preferencial de escoamento de águas pluviais, colaborando para evolução de fenômenos erosivos localizados. As Figuras 2 a 5 a seguir apresentam alguns detalhes observados durante as inspeções conduzidas.



Figura 2. Erosão localizada a montante do reservatório



Figura 3. Deslocamento de massa observada a montante do reservatório



Figura 4. Marcação (em vermelho) para se observar os deslocamentos verticais causados pela movimentação do aterro.



Figura 5. Aspecto geral do talude de jusante ao reservatório

2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DO LOCAL

O local em estudos situa-se próximo a divisa dos municípios de São Bernardo do Campo e Santo André. De acordo com o mapa geológico elaborado pelo METRÔ (2012) o local pertence a unidade geológica do Complexo Embu, formado por Xistos, Biotita, Quartzo, Muscovita, Granada, Biotita, mica-xistos diversos, parcialmente migmatizados. No local, também podem ocorrer corpos lenticulares de anfibolitos, quartzitos e rochas calciossilicatadas.

Para a investigação do subsolo local foram conduzidas sondagens a percussão tipo SPT (*Standard Penetration Test*) de acordo com as recomendações da ANBT NBR: 6484/2001, totalizando 152m perfurados.

De acordo com os boletins gerados, pôde-se caracterizar o subsolo local como sendo composto por uma camada superficial de aterro fofo a medianamente compacto, com valor médio de N_{spt} equivalente a 3golpes, e espessura variando entre 0,22m e 3,72m.

Subjacente foi verificada uma camada de

alteração de rocha composta por silte areno-argiloso micáceo com fragmentos de rocha de consistência medianamente compacta a muito compacta e valores de N_{spt} crescentes com a profundidade.

O nível d'água foi observado entre 4,85m e 14,6m de profundidade. Na Tabela 1 é apresentada a relação das sondagens conduzidas, enquanto que a Figura 6 apresenta a locação destas.

Tabela 1. Sondagens realizadas no sítio em estudo.

Sondagem	Profundidade atingida (m)	Profundidade do N.A (m)
SP01	25,11	9,50
SP02	25,45	14,59
SP03	10,30	4,85
SP04	10,30	8,70
SP05	25,10	10,49
SP06	25,13	12,52
SP07	15,45	7,08
SP08	15,45	10,10

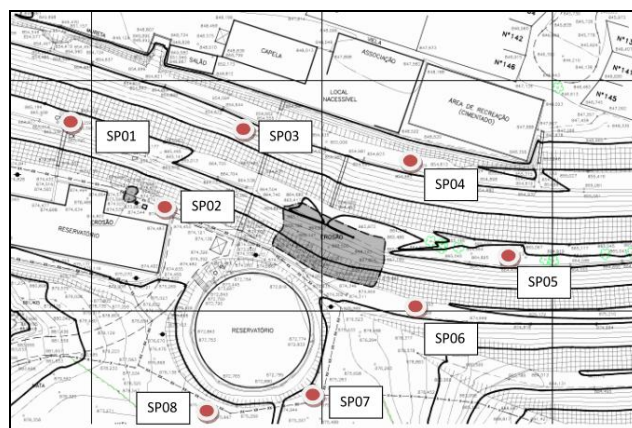


Figura 6. Locação das sondagens conduzidas

3 METODOLOGIA

3.1 Parâmetros Geotécnicos Adotados

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento necessários para as análises de estabilidade dos taludes em estudos foram obtidos por meio de retroanálises das regiões rompidas, mecanismo permitido pela ABNT NBR 11.682/2009.

A técnica da retroanálise consiste em se obter os parâmetros característicos de resistência do solo (c , ϕ) considerando-se estado de equilíbrio limite, ou seja, $FS=1,0$. Dessa forma, os parâmetros obtidos corresponderiam

àqueles que ocorriam no solo em condições imediatamente anteriores a ruptura do talude.

Os demais parâmetros geotécnicos adotados para os solos de origem de alteração de rocha se fundamentaram na análise dos resultados das sondagens a percussão realizadas, classificação tátil-visual dos materiais indicados nos boletins, bem como na bibliografia técnica consultada, tais como: Gurgueira (2013), METRÔ (2012), ABMS (1993).

Para a realização das verificações geotécnicas foram considerados horizontes de solos homogêneos com comportamentos mecânicos distintos. Os parâmetros de resistência e os pesos específicos das camadas adotadas são apresentados na Tabela 2 seguinte:

Tabela 2. Parâmetros geotécnicos utilizados.

Material	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
Aterro	17	18	5	16
SARsIar I	19	20	10	25
SARsIar II	19	20,5	17	28
SARsIarIII	20	21	20	32

Onde:

SAR – solo de alteração de rocha

Siar I – solo: silte-arenoso camada I

Siar II – solo: silte-arenoso camada II

Siar III – solo: silte-arenoso camada III

3.2 Análises de Estabilidade Efetuadas

As análises de estabilidade foram conduzidas utilizando-se o Método de Bishop Simplificado, o qual assume durante a ruptura, o deslocamento de uma massa de solo orientada por uma superfície de ruptura circular. Após a determinação das superfícies de ruptura críticas para cada seção estudada, os fatores de segurança obtidos foram comparados aos mínimos sugeridos pela norma NBR 11.682/2009 de maneira a se verificar a adequabilidade destes em relação às especificidades locais. As análises de estabilidade foram conduzidas utilizando-se o programa computacional Slide 5.0 da RocScience.

Os quadros 1, 2 e 3 apresentam os requisitos recomendados pela norma para a determinação do fator de segurança mínimo aos taludes em estudos, estes são baseados em

critérios de segurança contra a perda de vidas humanas e contra a ocorrência de danos ambientais e materiais.

Quadro 1. Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Fonte: ABNT NBR 11.682/2009 – “Estabilidade de Encostas”

Quadro 2. Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: Locais sujeitos a proximidades de valor reduzido Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Fonte: ABNT NBR 11.682/2009 – “Estabilidade de Encostas”

Quadro 3. Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

Nível de segurança contra danos a vidas humanas Nível de segurança contra danos ambientais	Nível de segurança		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: ABNT NBR 11.682/2009 – “Estabilidade de Encostas”

Dessa forma, por ser considerado o sítio em estudos com alto potencial de perda de vidas humanas, ambientais e materiais, uma vez que o talude de jusante encontra-se, na região de seu pé, próximo a diversas residências e a uma avenida de tráfego intenso (além da proximidade com o reservatório); e o talude de montante próximo a uma reserva natural, o fator de segurança mínimo considerado nas análises de estabilidade foi de 1,5, de acordo com as recomendações da ABNT NBR 11.682/2009.

A fim de simular o efeito de cargas adicionais de tráfego, uma vez que no topo do sítio, ao lado do reservatório, existe uma via para trânsito de veículos, adotou-se uma sobrecarga equivalente a 20kN/m^2 , tal como recomendado pela ABNT NBR: 11.682/2009.

4 RESULTADOS OBTIDOS

De forma a se verificar os coeficientes de segurança dos taludes existentes, a fim de avaliá-los face a valor mínimo preconizado pela norma, foram determinadas três seções transversais ao terreno para caracterização da conformação dos taludes. Para tal, foram utilizados os boletins das sondagens conduzidas e o levantamento planialtimétrico cadastral realizado no local, contendo todas as erosões identificadas “in loco”. A Figura 7 apresenta a planta de locação das seções em análise.

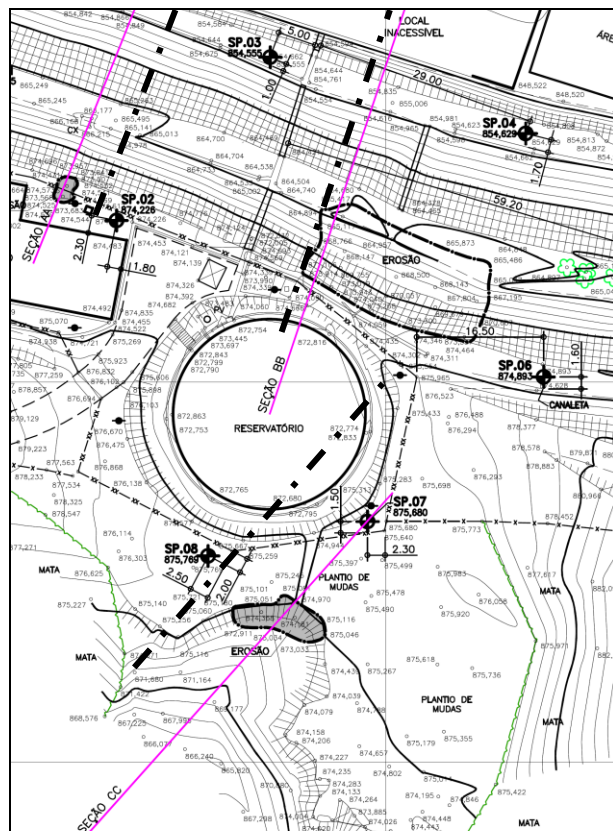


Figura 7. Planta de locação das seções estudadas

A seguir é apresentada a análise de estabilidade conduzida para a seção AA, situada a jusante do reservatório.

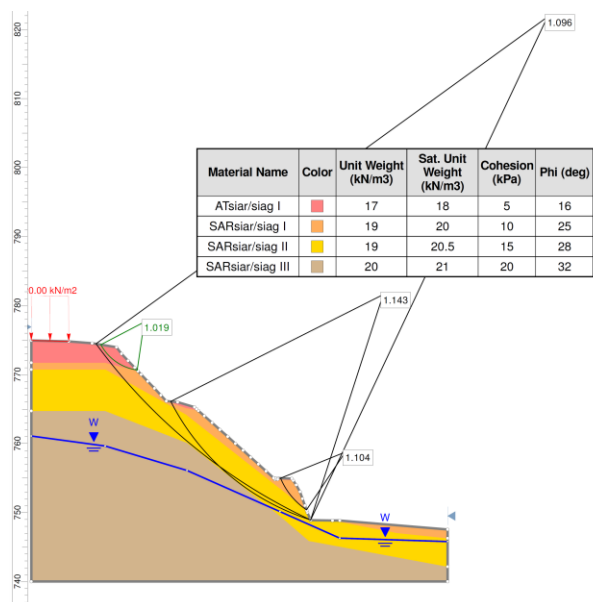


Figura 8. Análise de estabilidade Seção AA (talude de jusante ao reservatório)

Conforme Figura 8, pode-se notar que a estabilidade global do talude apresenta fator de segurança equivalente a condição de equilíbrio limite, o seja, próximo a unidade. As análises

de estabilidade locais conduzidas também apresentaram fatores de segurança insuficientes, ou seja, todos próximo a 1,0. Assim, pode-se observar que o talude referente a seção AA apresenta sérios riscos de estabilidade. A Figura 9 demonstra a análise de estabilidade considerando-se a seção BB.

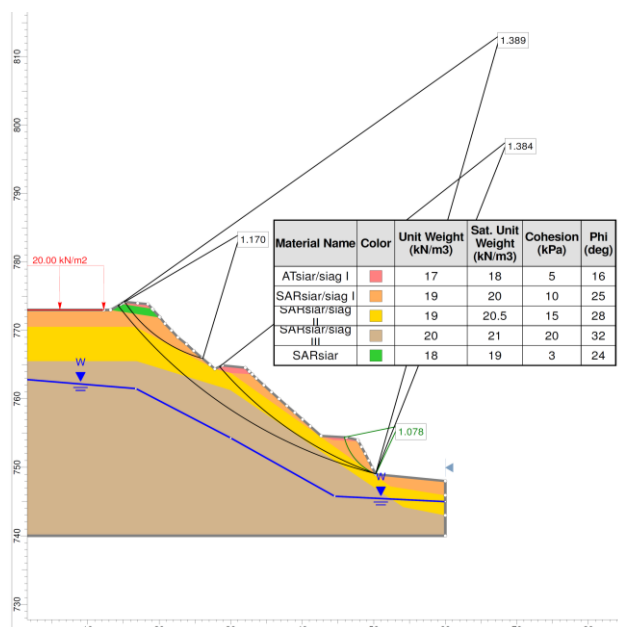


Figura 9. Análise de estabilidade Seção BB (talude de jusante ao reservatório)

Por meio da análise conduzida, pode-se constatar que a estabilidade global do talude nesta região apresenta fator de segurança superior àquele obtido para a seção AA. Contudo, este ainda configura-se como insuficiente de acordo com o exigido pela ABNT NBR 11.682/2009. A estabilidade local, referente ao talude intermediário, onde se constatou a movimentação de solo decorrente dos processos erosivos, apresentou fator de segurança pouco acima da unidade, ou seja, $FS=1,17$. Também deve-se ressaltar a estabilidade local do talude inferior, próximo a avenida, o qual demonstrou condição de equilíbrio limite ($FS=1,07$).

A Figura 10 apresenta o resultado do estudo da estabilidade da seção CC, situada a montante do reservatório, próximo ao local de reserva natural.

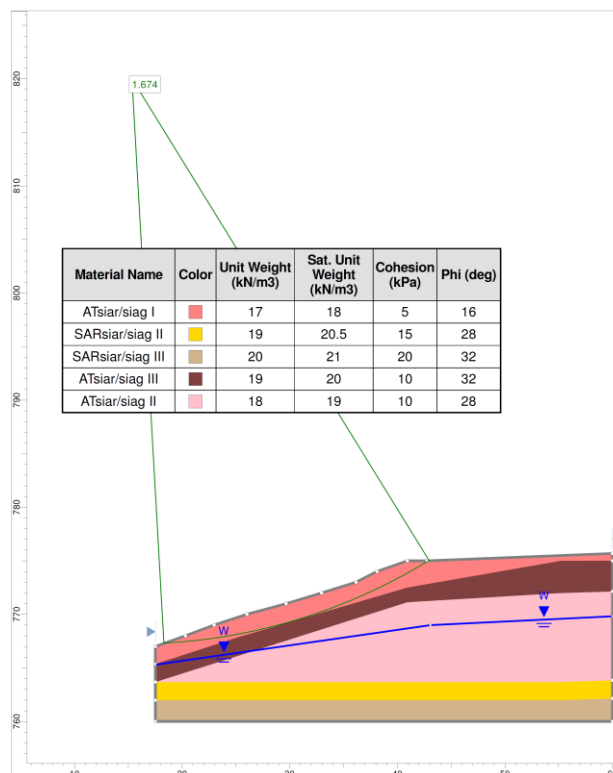


Figura 10. Análise de estabilidade Seção CC (talude de montante ao reservatório)

Conforme determinado por meio da análise da seção CC, se verifica que o talude em questão, na conformação atual, não apresenta problemas de estabilidade. Contudo, apesar do fator de segurança obtido não ter demonstrado problemas de estabilidade, deve-se ressaltar que o aterro de base do reservatório vem apresentado constantes deslocamentos verticais, como apontado pelos piquetes instalados, representados na Figura 4. A causa destes deslocamentos pode estar vinculada a ocorrência das erosões constatadas no local, ou seja, a medida em que o solo de base é transportado pelo fluxo superficial, intensifica-se o processo de movimentação vertical do maciço.

5 CONCLUSÕES

As sondagens executadas na região do reservatório, indicaram a existência de uma camada de aterro fofo mal compactado, heterogêneo e com presença de restos vegetais e fragmentos de rocha.

Esta camada, com espessura que chega a aproximadamente 4m, é composta por material que apresenta significativa susceptibilidade a

erosão. Dessa forma, pode-se concluir que a falta de equipamentos de drenagem superficial no local, aliada a má compactação do aterro, tipo de solo e condições topográficas causaram a ocorrência de fenômenos erosivos que deram origem aos sulcos e ravinas constatados no local, bem como a movimentação de solo identificada pelos piquetes instalados.

Conforme determinado pelas análises de estabilidade realizadas, os autores sugerem a intervenção dos taludes da porção frontal do terreno de modo a elevar o coeficiente de segurança contra ruptura e estabilizar os taludes conforme norma. Como medidas de remediação, podem-se citar: a recorformação dos taludes por meio de obra de terraplenagem, obras de contenção ou mesmo soluções mistas, combinações de obras de terraplenagem e contenção.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). ABNT NBR 11.682: “ *Estabilidade de Encostas*”. Rio de Janeiro, 33p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). ABNT NBR 6484: “ *Solo- Sondagens de simples reconhecimento com SPT – método de ensaio*”. Rio de Janeiro, 17p.
- Gurgueira, M.D. – *Correlações de Dados Geológicos e Geotécnicos na Bacia de São Paulo* (2013). (Dissertação) Programa de Pós-Graduação, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- METRÔ. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental: Mapa Geológico linha 18 bronze (2012).
- ABMS: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. Solos da Cidade de São Paulo (1993). ABMS. São Paulo, 397p.