

Análise de Estabilidade de Talude na Área Urbana da Cidade de São Carlos – SP

Cahio Guimarães Seabra Eiras

Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, Brasil, cahioseabra@usp.br

Jefferson Lins da Silva

Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, Brasil, jefferson@sc.usp.br

Oswaldo Augusto Filho

Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, Brasil, oaafilho@sc.usp.br

RESUMO: Taludes existentes nas áreas urbanas podem sofrer desestabilização devido a vários motivos, o principal deles, a saturação ocasionada por grandes registros de chuvas em um certo intervalo de tempo. Consequentemente, grandes quantidades de material (solo e rocha), podem ser deslocados, causando transtornos desde a danificação de obras, barramento de ruas, avenidas e rodovias, e até, perda de vidas humanas. Neste estudo, é analisado um talude, que já sofreu rupturas no passado, localizado na cidade de São Carlos – SP, na Avenida Francisco Pereira Lopes, próximo ao córrego do Monjolinho. De acordo com os mapas da cidade, o solo da encosta é do tipo residual de basalto (Formação Serra Geral) e seus parâmetros de resistência foram obtidos da literatura. Estes foram determinados por meio de ensaios triaxiais drenados (CD), para as condições natural e drenada e apresentaram ângulo de atrito médio de 29° e coesão média 19 kPa. Adicionalmente, foram obtidos valores de coesão entre 13 kPa a 35 kPa e valores de ângulo de atrito variando de 20° a 31,5°. Os ensaios de caracterização do solo indicaram que o mesmo apresenta granulometria em algumas porções argila siltosa, e em outras, argila arenosa. O perfil do talude foi definido com o auxílio do *software ArcView*, utilizando um MDT (Modelo Digital de Terreno). Para o refinamento do perfil, foi realizada uma visita de campo com o intuito de estabelecer o contorno do perfil mais próximo da realidade. Ainda, foi constatado que o solo apresentava as mesmas características expostas pelos mapas. A análise de estabilidade da encosta, foi realizada com a utilização do *software SLOPE/W* pertencente ao GeoStudio/2012, e, mostrou que na condição atual, o fator de segurança (FS) do talude é da ordem de 2,5, e pode ser reduzido a 1,4 caso seja considerado que o talude esteja numa condição totalmente saturada. Portanto, conclui-se que, em condições desfavoráveis, considerando valores médios de coesão e ângulo de atrito, o talude apresenta-se estável, porém, com o fator de segurança abaixo do recomendado (FS = 1,5) pela NBR 11682/2009. É importante observar que, adotando a coesão e ângulo de atrito mais desfavorável encontrado para este solo, e sobre condição saturada, o mesmo passa a ter um FS próximo a 1,2, bem abaixo do limite recomendado.

PALAVRAS-CHAVE: Talude, Solo saturado, Fator de segurança.

1 INTRODUÇÃO

Os Taludes podem ser caracterizados como naturais, onde não houve influência antrópica, ou de corte, onde, por algum motivo, como

obras em geral, teve o seu formato modificado. Talude pode ser descrito como uma superfície rochosa ou de solo, que possui determinada inclinação. O talude no presente estudo localiza-se no município de São Carlos – SP, na

Avenida Francisco Pereira Lopes, próximo ao córrego do Monjolinho, possui aproximadamente 28 metros de altura e 150 metros de comprimento.

O estudo e a análise de taludes, em especial os situados em meio urbano, são de fundamental importância, pois a ruptura destes podem gerar transtornos econômicos e sociais de grande magnitude. No talude em questão, um possível deslizamento de massa, pode interromper a via por dias, e atingir pedestres e automóveis que estiverem passando pelo local no momento.

Os movimentos de massa podem ser caracterizados de diversas formas. Para Augusto Filho (1992), estes movimentos podem ser classificados como, rastejo, escorregamentos, quedas e corridas. No talude estudado, já houve ocorrências de alguns escorregamentos, por isto a relevância deste estudo.

O caso mais famoso no Brasil envolvendo escorregamentos de massa foi o Megadesastre da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, que ocorreu entre os dias 11 e 12 de Janeiro de 2011, afetando principalmente as cidades de Nova Friburgo, Teresópolis e Petrópolis. Este evento, oficialmente, causou 947 mortes, com 300 desaparecimentos, mais de 50.000 desabrigados e afetando quase 1.000.000 de pessoas (Dourado *et al.*, 2012).

Este trabalho teve como objetivo analisar a estabilidade do talude supracitado, utilizando como base, parâmetros de resistência do solo disponíveis na bibliografia, e o auxílio dos softwares ArcView e GeoStudio/2012.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no município de São Carlos – SP. O talude encontra-se na Avenida Francisco Pereira Lopes, próximo ao campus I da USP (Universidade de São Paulo).

Segundo Bartolomeu (2012) no município estão presentes as formações Botucatu, Serra Geral (basaltos e diabásios) e a Itaqueri.

O Talude encontra-se com sua face parcialmente coberta por vegetação, (Figura 1) está localizado em frente ao córrego do Monjolinho (Figura 2), e inserido no contexto

da formação Serra Geral, Zuquette (1981), Bortolucci (1983) e Bartolomeu (op. cit). Este é constituído por solo residual de basalto (Figura 3).



Figura 1. Talude com a face parcialmente coberta por vegetação.



Figura 2. Localização do talude próximo ao córrego do Monjolinho, São Carlos-SP.



Figura 3. Solo residual de basalto retirado do talude.

Segundo Milani (1997), a formação Serra Geral, resulta de um grande vulcanismo fissural mesozóico, causando uma espessa cobertura de lavas toleíticas de até 1000 m. Forma uma intrincada rede de diques que cortam as rochas sedimentares pré-magmatismo da Bacia do Paraná.

Em grande parte da extensão do córrego é encontrado predominantemente ao seu redor,

solo residual de basalto.

3 METODOLOGIA

Primeiramente definiu-se o talude a ser analisado levando em consideração o histórico de ocorrências de alguns deslizamentos localizados no mesmo, principalmente em períodos chuvosos, no mês de dezembro a fevereiro (CIIAGRO, 2015).

Para definir o perfil do talude, realizou-se primeiramente um trabalho de campo, e com o uso do GPS Garmim 76S, marcaram-se os pontos necessários para a definição do talude. O perfil do talude foi obtido com o auxílio do *software* ArcView, com o uso de suas ferramentas, é possível, utilizando um MDT (Modelo Digital do Terreno), e os pontos obtidos no GPS, traçar o perfil da encosta. O MDT utilizado, a seção definida e o contorno do talude podem ser observados nas Figuras 4 e 5.

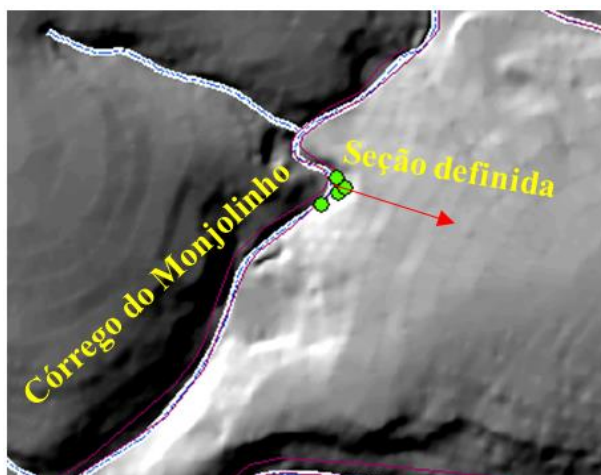


Figura 4. Modelo Digital do Terreno e seção que foram utilizados para a definição do perfil do talude.

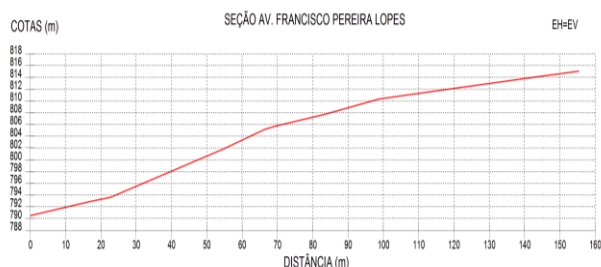


Figura 5. Perfil definido com cota variando de 790 a 818 metros e comprimento de 150 metros.

Posteriormente realizou-se um segundo

trabalho de campo, com o objetivo de colher novas informações, e, observar se as cotas já obtidas estavam corretas. Em campo foi possível analisar que o talude teve o seu perfil um pouco alterado, em comparação ao obtido utilizando o ArcView, isto se dá, provavelmente pelo fato de que, escorregamentos, inundações e obras próximas possam ter mudado a morfologia do terreno. Também se observou que o talude é composto por solo residual de basalto (Formação Serra Geral), portanto, de acordo com a bibliografia utilizada.

Na região há ocorrência de inundações, devido à elevação do nível do córrego do Monjolinho em períodos chuvosos, como consequência, a água em alta velocidade erode a base do talude. Esta observação foi possível, pois, este trabalho de campo ocorreu dois dias após a cidade de São Carlos sofrer com uma grande enchente no dia 23/11/2015, permitindo observar alguns indícios do ocorrido. É importante salientar, que na seção definida não há ocorrência de nenhuma obra de engenharia. De acordo com os trabalhos de campo e mapas geológicos da cidade procurou-se estimar o topo rochoso, como o *software* GEOSTUDIO/2012 considera a rocha impenetrável, definiu-se o nível d'água coincidindo com este topo. Segundo Bortolucci (1983), o nível do lençol freático na área onde está o pé do talude é em torno de 786 a 788 metros. A definição desta cota foi possível devido à realização de 105 furos de sondagem de simples reconhecimento executados na área urbanizada da cidade de São Carlos (BORTOLUCCI, op. cit).

O refinamento do contorno do talude foi realizado no *software* GEOSTUDIO/2012 (Figura 6).

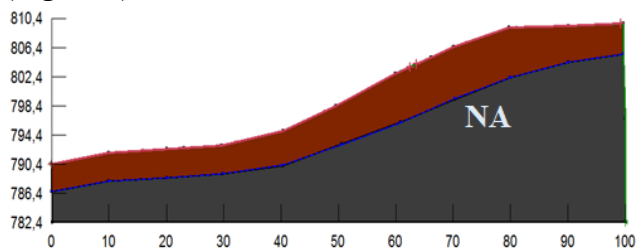


Figura 6. Perfil do talude após o refinamento em consequência do trabalho de campo.

A Formação Serra Geral ocorre bastante nas cidades do estado de São Paulo, como

consequência, o solo originado desta formação (solo residual de basalto) é muito estudado. Segundo Pinto *et al.* (1993) este solo tem sua composição variando de 44% a 67% de argila, 22% a 27% de silte e 11% a 29% de areia, tendo como nome, Argila silto-arenosa ou Argila areno-siltosa. Para esta classificação foram realizados 64 ensaios com amostras de locais diferentes (PINTO *et al.*, op. cit).

Foram determinados para este solo, também, os parâmetros de resistência (Figura 7) e índices físicos (Figura 8).

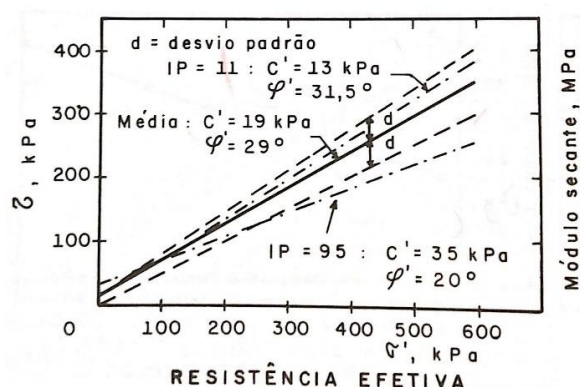


Figura 7. Parâmetros de resistência em termos de tensão efetiva (PINTO *et al.*, 1993).

ÍNDICES FÍSICOS DE SOLO RESIDUAL DE BASALTO	
VALORES MÉDIOS (DESVIO PADRÃO)	
γ_n	= 16,4 kN/m ³ (1,5)
h	= 39,6% (8,8)
γ_s	= 29,6 kN/m ³ (0,9)
e	= 1,55 (0,31)
S	= 77% (15)
$\gamma_{s\text{ máx}}$	= 14,36 kN/m ³ (1,3)
h_{ot}	= 32,0 % (5,6)
L	= 0,48 (0,16)

Figura 8. Valores obtidos para os índices físicos (PINTO *et al.*, 1993).

Segundo Pinto (2006), o peso específico do solo saturado, pode ser obtido através da seguinte equação.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_s \cdot e \gamma_w}{1 + e} \quad (1)$$

Para a análise da resistência ao cisalhamento do solo em questão, em termos de tensões efetivas, consideraram-se, indistintamente, resultados obtidos tanto em ensaios de

compressão triaxial drenados, CD, como em ensaios adensados não drenados, com saturação por contra-pressão, e com medida de pressões neutras, CU_{sat} (PINTO *et al.*, 1993).

Com todos os dados necessários, realizou-se a simulação no GEOSTUDIO 2012 *full liscense*.

4 RESULTADOS

Foi analisada a estabilidade do talude para as condições não saturadas e para as condições saturadas. Considerou-se, condição saturada toda a encosta com o solo saturado, ou seja, o nível d'água elevado até o topo do talude. O método utilizado foi o de Morgenstern & Price, devido ao rigor do método, e este ser aplicado a quaisquer superfícies de ruptura

Para a condição não saturada (Figuras 9), foram realizadas três simulações (Figuras 10 a 12).

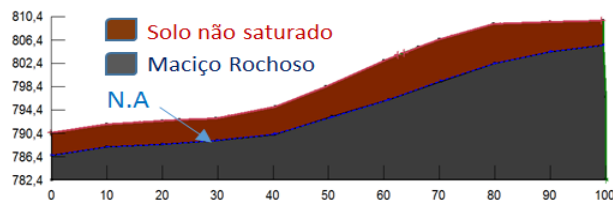


Figura 9. Talude em condição não saturada.

Para as três simulações realizadas, foram utilizados os parâmetros de coesão e ângulo de atrito médios e os obtidos levando em consideração o desvio padrão (Figura 7).

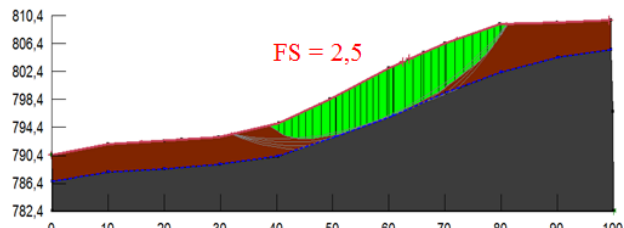


Figura 10. Análise utilizando valores médios de coesão e ângulo de atrito.

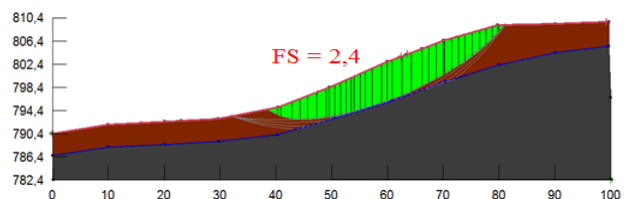


Figura 11. Análise utilizando a condição mais desfavorável para o ângulo de atrito e coesão.

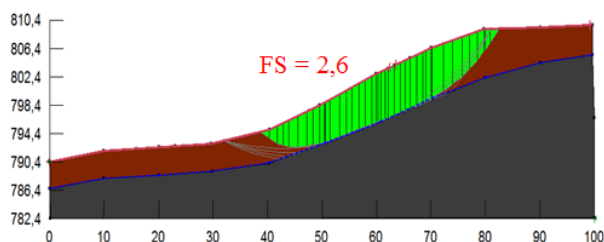


Figura 12. Análise utilizando a condição mais favorável para o ângulo de atrito e coesão.

Para a condição saturada (Figura 13), também foram realizadas três simulações (Figura 14 a 16). Para se obter o peso específico do solo saturado, foi utilizada a Equação (1) e os dados da Figura 8. O valor encontrado foi de $17,86 \text{ KN/m}^3$.

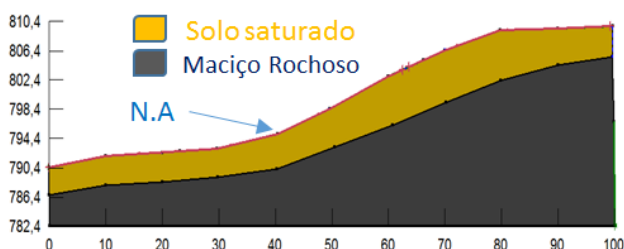


Figura 13. Talude em condição saturada.

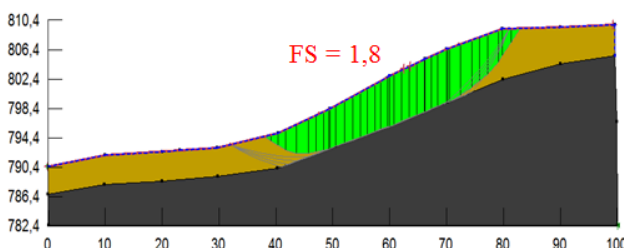


Figura 14. Análise utilizando a condição mais favorável para o ângulo de atrito e coesão, para o solo totalmente saturado.

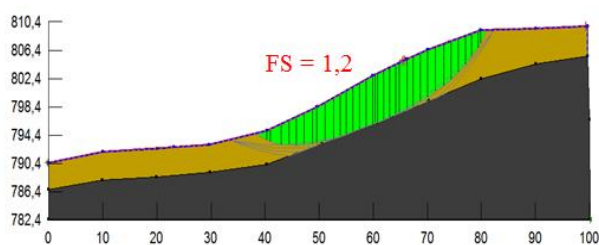


Figura 15. Análise utilizando a condição mais desfavorável para o ângulo de atrito e coesão, para o solo totalmente saturado.

Para as três simulações realizadas, foram utilizados os parâmetros de coesão e ângulo de atrito médios e os obtidos levando em consideração o desvio padrão (Figura 7), os

mesmos utilizados nas simulações para o talude em condições não saturada.

É importante observar que, para todo o solo do talude saturar, é necessário que incida um grande volume de chuva em dias seguidos na área de estudo. Esta situação é mais comum de ocorrer nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (CIIAGRO, 2015).

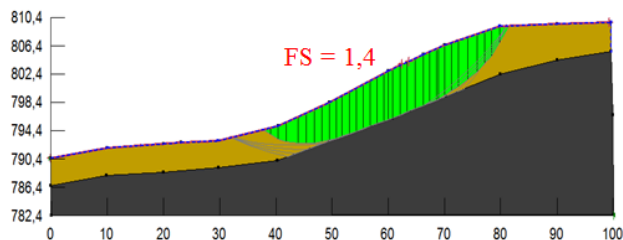


Figura 16. Análise utilizando valores médios de coesão e ângulo de atrito, para o solo totalmente saturado.

A NBR 11682/2009 determina fatores de segurança recomendados, variando de acordo com o grau de segurança necessário para o local. Estes fatores podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Fatores de segurança recomendados, segundo a NBR 11682/2009.

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais \ Nível de segurança contra danos a vidas humanas	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

Como o Talude encontra-se em uma área urbana, onde ocorre tanto o trânsito de pessoas como de automóveis e possui obras de engenharia próximas, considerou-se o grau de segurança alto para o local quanto aos danos às vidas humanas, e médio, quanto aos danos materiais, ou seja, o fator de segurança (FS) mínimo exigido para o local é de 1,5.

Com base nos resultados obtidos, é possível notar que, considerando os valores médios de coesão e ângulo de atrito, e a pior condição (solo totalmente saturado), o mesmo possui um FS de 1,4, abaixo do limite aceitável pela NBR 11682/2009. Ao se considerar as condições mais desfavoráveis para os ângulos de atrito e coesão para este solo, e a situação mais crítica (solo totalmente saturado) o talude passa a ter

um FS de 1,2, ou seja, bem abaixo do recomendado.

É necessário salientar que, apesar de na condição mais desfavorável, o FS estar bem abaixo do recomendado, ele ainda se encontra maior que 1,0, ou seja, ainda não está na eminência de romper. Outro fator a se considerar é que, a condição de todo o solo do talude estar saturado, só ocorrerá quando houver um grande volume de chuvas por dias seguidos, situação que ocorre normalmente nos meses do verão.

5 CONCLUSÃO

A partir das modelagens do talude, é possível concluir que ocorre uma redução significativa do fator de segurança do talude após a saturação do solo.

Na pior condição, o FS está bem abaixo do recomendado, recomenda-se que este talude seja monitorado, visto que o valor de 1,2 está próximo de 1,0, ou seja, situação de ruptura iminente.

Salienta-se que, é necessário um volume de chuva grande, e por dias seguidos para que o solo fique todo saturado, ou seja, a frequência de tal acontecimento é baixa.

Caso futuramente ocorram obras na encosta é importante que se faça uma nova análise de estabilidade, pois a morfologia do talude será alterada, e conseqüentemente ocorrerão modificações no carregamento do talude.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela bolsa de estudos e ao técnico José Luis Gerra pelo suporte dado.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro, 2009. 38p.
- AUGUSTO FILHO, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1, Rio de Janeiro.
- Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733.
- BARTOLOMEU, D. *Análise da vulnerabilidade dos recursos hídricos na região urbana de São Carlos (SP) por vazamento em postos de combustíveis, utilizando o método GOD e avaliação dos condicionantes geotécnicos*. 2012. 173 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- BORTOLUCCI, A. A. *Caracterização geológico-geotécnica da região urbana de São Carlos-SP, a partir de sondagens de simples reconhecimento*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1983.
- CIIAGRO (São Paulo) (Ed.). Centro integrado de informações agrometeorológicas. 2015. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadr os/QChuvaPeriodo.asp>>. Acesso em: 15 jan. 2016.
- DOURADO, F. et al. *O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as Causas do Evento, os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre*. Anuário Igeo-UFRJ, Rio de Janeiro, v. 35, n. 2, p.43-54, dez. 2012. Instituto de Geociências - UFRJ.
- MILANI, E.J. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do gondwana sul-ocidental*. 1997. 255f. Tese (Doutorado). Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS).
- PINTO, C. S. *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas*. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 355 p.
- PINTO, C. S. et al. *Solos do interior de São Paulo*: Cap 5 - Propriedades dos solos residuais. São Carlos: Solos, 1993. 48 p.
- ZUQUETTE, L. V. *Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos*. Tese (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1981.