

RETROANÁLISE DO MOVIMENTO DE MASSA DE TALUDE DE SOLO – ESTUDO DE CASO

Flávia Aparecida Tavares Bonadeu (1), Adailton Antônio dos Santos (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)flaviabonadeu@hotmail.com, (2)adailton@unesc.net.

RESUMO

Quando um volume de solo e/ou rocha é deslocado, ocorre um fenômeno chamado movimento de massa. Esse fenômeno pode ser ocasionado por fatores decisivos que potencializam a instabilidade de um talude, como a ocupação inadequada de encostas, comum nos dias atuais devido ao crescimento habitacional, pela presença de água, entre outros. Esse trabalho tem por objetivo principal, a realização da retroanálise do movimento de massa do talude situado na Rua Otto Maier, na cidade de Criciúma – SC, que ocorreu no dia 18 de Janeiro de 2011. Para atingir o objetivo do estudo proposto, fez-se necessário o reconhecimento da topografia planialtimétrica cadastral da área em estudo, antes e após o movimento de massa, e da sua geologia. Com o uso dos softwares Autocad® e Topograph®, foi elaborado o Perfil Estratigráfico Estimado do talude e definida a superfície de ruptura do mesmo. Com base na geometria do talude antes da ruptura, nos parâmetros geotécnicos dos solos que o constituem, parâmetros estes determinados através de correlações com NSPT, com a presença ou não do lençol freático e de sobrecargas, realizou-se as retroanálises, aplicando o Método de Bishop Simplificado (1955), por meio de software computacional. As retroanálises realizadas no presente trabalho demonstraram de forma clara e inequívoca que o fator causador do movimento de massa do talude objeto de estudo, foi o acréscimo de pressão neutra.

Palavras Chave: Talude. Drenagem. Retroanálise.

1. INTRODUÇÃO

“Talude é a denominação que se dá a qualquer superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha. Ele pode ser natural, também denominado de encosta, ou construído pelo homem, como, por exemplo, os aterros e cortes.” (GEORSCOVICH, 2012, p. 13). A análise de estabilidade dos taludes é um aspecto fundamental na geotecnia, sendo que o possível movimento de massa, quando previsto ou inibido, pode evitar prejuízos financeiros ou perdas de vidas humanas, na pior situação.

É considerado como movimento de massa, qualquer deslocamento de um determinado volume de solo e/ou rocha.

Existe uma série de fatores que aumentam a tensão cisalhante de um talude facilitando a ocorrência do movimento de massa, como, períodos chuvosos, cortes incorretos, ocupações irregular, entre outros.

A água é o fator de maior influência na estabilização de um talude. Uma vez que a mesma aumenta a pressão neutra, e conseqüentemente reduz a resistência ao cisalhamento, quando um talude se encontra saturado, o mesmo está propicio a ruptura.

A NBR 11682/2006, define como a ruptura de um talude, “situação em que o mesmo perde suas características originais, seja pela falta de estabilidade, seja pela ocorrência de deslocamentos exagerados”.

O estudo que permite determinar os mecanismos de ruptura e a verificação dos parâmetros geotécnicos dos taludes, após um movimento de massa, é a Retroanálise, estudo este, que representa o escopo principal deste trabalho.

Tendo em vista as citações anteriores, este trabalho objetiva a Retroanálise do talude da Rua Otto Maier, localizada no Município de Criciúma – SC, onde no dia 18 de janeiro de 2011 ocorreu um movimento de massa.

2. MATERIAIS E MÉTODO

Este estudo iniciou-se com o auxílio de literaturas referentes à estabilidade de taludes, movimentos de massa, parâmetros de resistência ao cisalhamento, entre outros. Através do relatório de avaliação e dano patrimonial, fornecido pela Defesa Civil do Município de Criciúma, pode-se conhecer algumas peculiaridades da área em estudo, como seu histórico, sua drenagem perene e sua canalização.

O reconhecimento geológico na área em estudo foi obtido através do uso do Mapa Geológico de Criciúma. Com o uso dos softwares Autocad[®] e Topograph[®], realizou-se uma sobreposição do levantamento aerofotogramétrico com informações antes do movimento de massa, e com o levantamento topográfico após o movimento de massa. Em seguida, determinou-se o perfil estratigráfico do talude e sua superfície de ruptura, baseado nos relatórios de sondagens à percussão e mista, disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Criciúma e pela empresa Sondasul, respectivamente.

De posse dos dados anteriores, calculou-se o fator de segurança da superfície de ruptura do talude, com e sem a presença do lençol freático, através do Método de Bishop Simplificado (1955). O levantamento pluviométrico do mês de janeiro auxiliou na análise do colapso ocorrido no objeto de estudo.

2.1 LOCALIZAÇÃO DO TALUDE EM ESTUDO

O talude em estudo (Figura 1) fica localizado na Rua Otto Maier, bairro Mina Brasil, no município de Criciúma, Estado de Santa Catarina, mais precisamente, nas coordenadas Universal Transversor Mercator (UTM): E 659720, N 6828056 – DATUM: SIRGAS 2000.

Figura 1: Localização do talude.



Fontes: Google Maps e Defesa Civil (Criciúma).

2.2 HISTÓRICO

A Rua Otto Maier fica situada no Morro Cechinel, que pelos registros de 1956, da Defesa Civil, resgatou-se as atividades locais que foram à agricultura e criação de animais, ou seja, atividades agropastoris. A Defesa Civil relata que na área em estudo praticava-se policultura, fato este que provocou a supressão parcial da vegetação original no local. A urbanização na região teve seu início oficialmente em 1988, a partir do Loteamento Cechinel.

No entanto, o processo de urbanização da referida região, ocorreu antes desta data, como pode ser constatado no levantamento aerofotogramétrico de 1978 (Figura 2).

Figura 2: Levantamento aerofotogramétrico 1978.



Fonte: Setor de Cartografia e Geoprocessamento (Iparque - UNESC).

2.3 GEOLOGIA

Através do Mapa Geológico do Município de Criciúma, foi possível identificar que área, objeto de estudo, encontra-se inserida predominante na Formação Palermo.

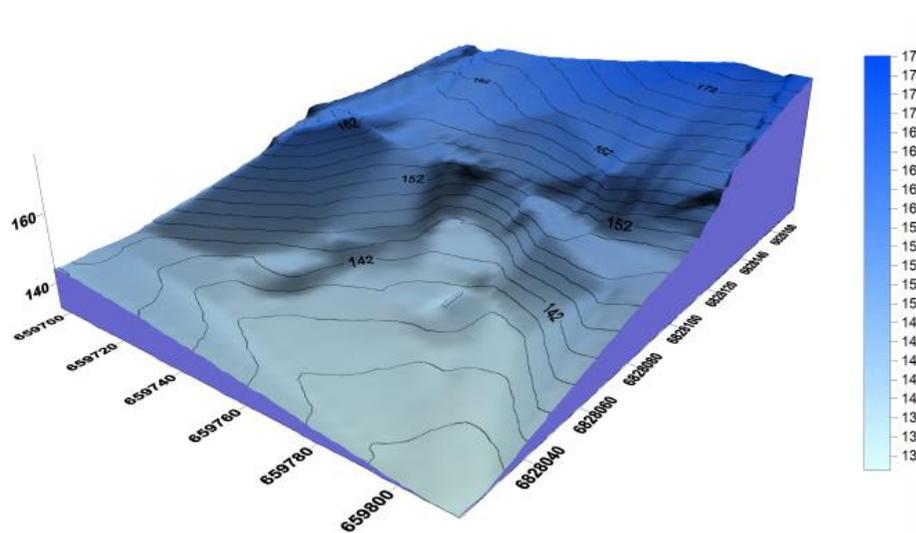
A geologia local está representada pelas Formações Serra Geral, Irati e mais especificamente o Palermo, como já citado, tendo sua composição predominantemente pelítica, constituída por siltitos cinza a amarelos, apresentando intensa bioturbação e raras lentes de arenitos finos a conglomerativos, com depósitos de face litorânea em ambiente marinho raso e plataforma marinha (PROGESC 1995e, p.11).

Os solos residuais, resultantes da intemperização destas rochas, são silte argilosos e argilas siltosas, variando suas cores em amarelo, cinza e roxo.

2.4 DETERMINAÇÃO DA TOPOGRAFIA DA ÁREA DE INTERESSE E SEÇÃO CRÍTICA

A determinação da topografia atual da área onde ocorreu o movimento de massa foi feita com base na sobreposição do levantamento topográfico planialtimétrico cadastral, realizado após o deslizamento (2011), com o levantamento aerofotogramétrico (2006), executado antes do mesmo. Os levantamentos utilizados foram disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Criciúma. A Figura 3, obtida com o uso do software Surfer®, apresenta a topografia desta área em 3D.

Figura 3: Topografia da área de interesse.



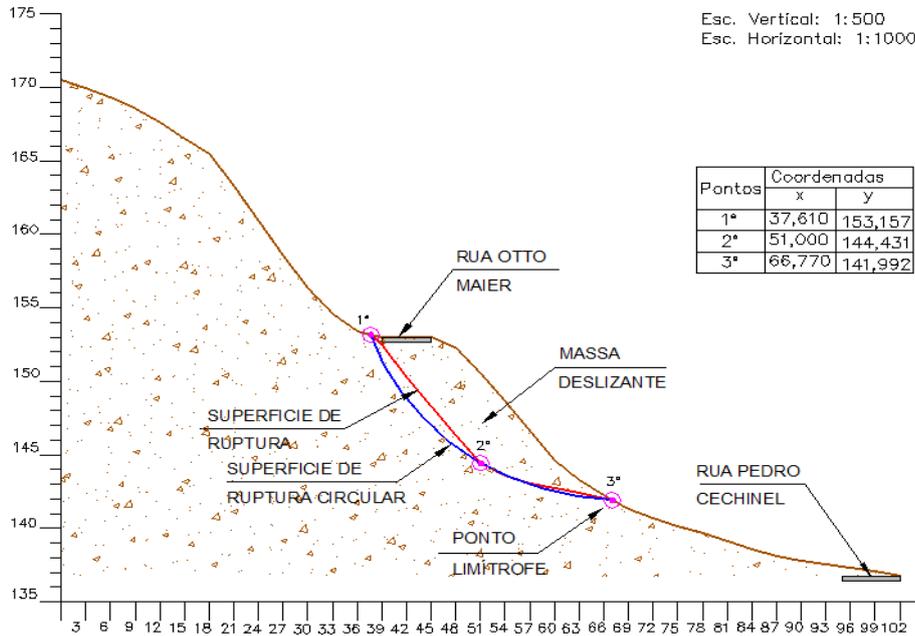
Fonte: O autor.

A imagem ilustrada acima, possui tonalidades diferenciadas na cor azul. Quanto mais forte for a tonalidade, maior será a cota do local.

2.5 DETERMINAÇÃO DA SEÇÃO CRÍTICA E DA SUPERFÍCIE DE RUPTURA

Com base nos levantamentos citados no item 2.4 e com o auxílio dos softwares Autocad® e Topograph®, determinou-se a seção crítica do talude antes da ruptura e a superfície de ruptura adotada na retroanálise. A Figura 4 apresenta a referida seção e os três pontos limítrofes feitos para definir a superfície de ruptura circular.

Figura 4: Seção crítica e superfície de ruptura.

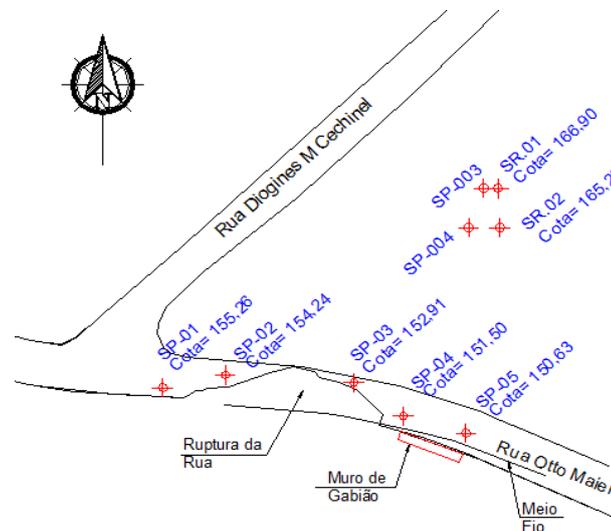


Fonte: O autor.

2.6 DETERMINAÇÃO DO PERFIL ESTRATIGRÁFICO ESTIMADO DO TALUDE

A determinação do perfil estratigráfico estimado do talude foi feita com base nos relatórios de sondagem à percussão e mista, fornecidos pela Prefeitura Municipal de Criciúma e pela empresa Sondasul, respectivamente. A Figura 5 apresenta o croqui de localização dos furos de sondagens.

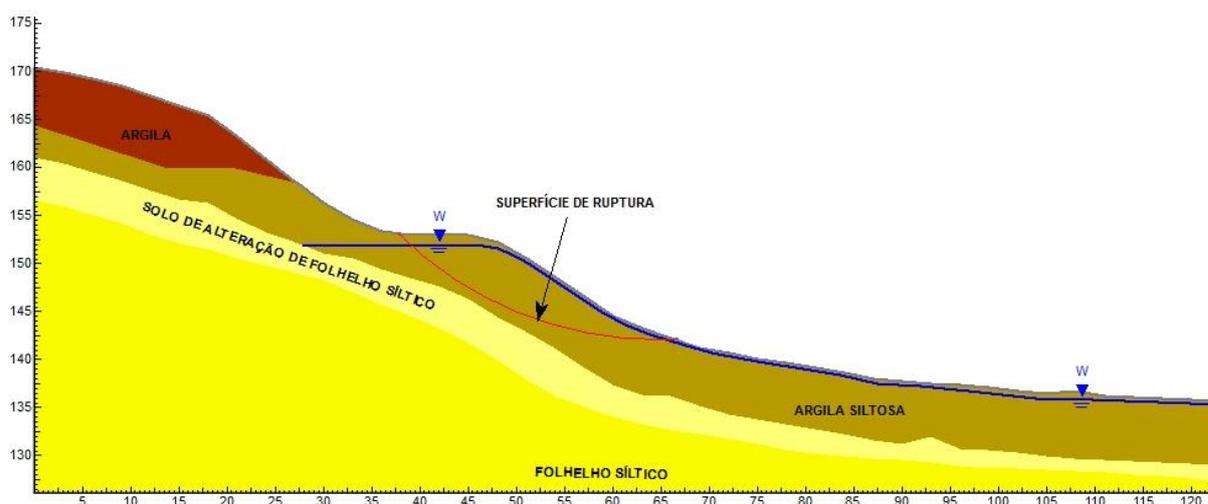
Figura 5: Croqui das Sondagens.



Fonte: O autor.

Com o uso dos furos, SP003, SP004, SR01, SR02 e SP05, foi possível determinar a estratigrafia do talude (Figura 6). Verificou-se que o mesmo é constituído por uma camada de argila siltosa, que está apoiada sobre uma camada de solo de alteração de folhelho siltico, que por sua vez, encontra-se assentada sobre o maciço rochoso (folhelho siltico de cor amarelada).

Figura 6: Perfil Estratigráfico do Talude.



Fonte: O autor.

2.7 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

2.7.1 Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento

Segundo Caputo (1996, p.158), “a propriedade dos solos em suportar cargas e conservar sua estabilidade, depende da sua resistência ao cisalhamento”. Com essa afirmação pode-se entender que, uma massa de solo se rompe ou chega ao colapso, quando essa resistência é ultrapassada.

Logo, é fundamental para definição dos mecanismos de ruptura, conhecer os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, isto é, coesão (c) e ângulo de atrito interno (ϕ) do mesmo.

Nas retroanálises realizadas no presente trabalho, os valores de resistência ao cisalhamento, conforme Tabela 1, foram adotados das seguintes formas:

- Argila: Extraídos da Tabela 13 de Joppert (2007, p.99), com base no NSPT médio de 11;
- Argila siltosa: Adotou-se os valores críticos de ϕ e c , e o peso específico médio do Ensaio de Cisalhamento Direto (Tabela 2) de Capellesso (2011, p.6);
- Solo de alteração de rocha e rocha: Os valores foram considerados de resistência infinita.

Tabela 1 – Valores de Resistência ao Cisalhamento.

Solo	Ângulo de Atrito ($^{\circ}$)	Coesão (KN/m ²)	Peso Específico (KN/m ³)
Argila	20	50	19
Argila Siltosa	21	12	17
Solo de Alteração		Resistência Infinita	
Rocha		Resistência Infinita	

Fonte: O autor.

2.8 RETROANÁLISE

O presente trabalho tem como objetivo principal, a determinação dos mecanismos de ruptura, ou seja, do fator ou fatores que ocasionaram o movimento de massa do talude da Rua Otto Maier. Logo, para atingir o objetivo proposto, foi realizada a retroanálise do movimento de massa, como recomenda a NBR 11.682/2006. Na retroanálise de um movimento de massa, sabe-se que o fator de segurança (FS) é 1,0, ou seja, a massa de solo encontra-se no estado de equilíbrio limite último (iminência da ruptura generalizada).

As retroanálises realizadas neste trabalho tomaram como base as condições do talude pré-ruptura, no que se refere à geometria e nível de água (NA) do mesmo, representada pela seção crítica (Figura 4), aos parâmetros geotécnicos dos solos que compõem a estratigrafia do talude (Tabela 1), e a superfície de ruptura circular determinada no item 2.5.

Adotou-se nas retroanálises o método Bishop Simplificado (1955), que é aplicado correntemente para determinação de fatores de segurança de ruptura circular, como o do presente caso. Segundo Raimundo (1998), o método Simplificado é derivado

do método geral e tem por finalidade a redução dos cálculos, uma vez que os seus resultados são muito próximos, normalmente a diferença envolvendo o uso do método simplificado em relação ao método geral é inferior a 2%.

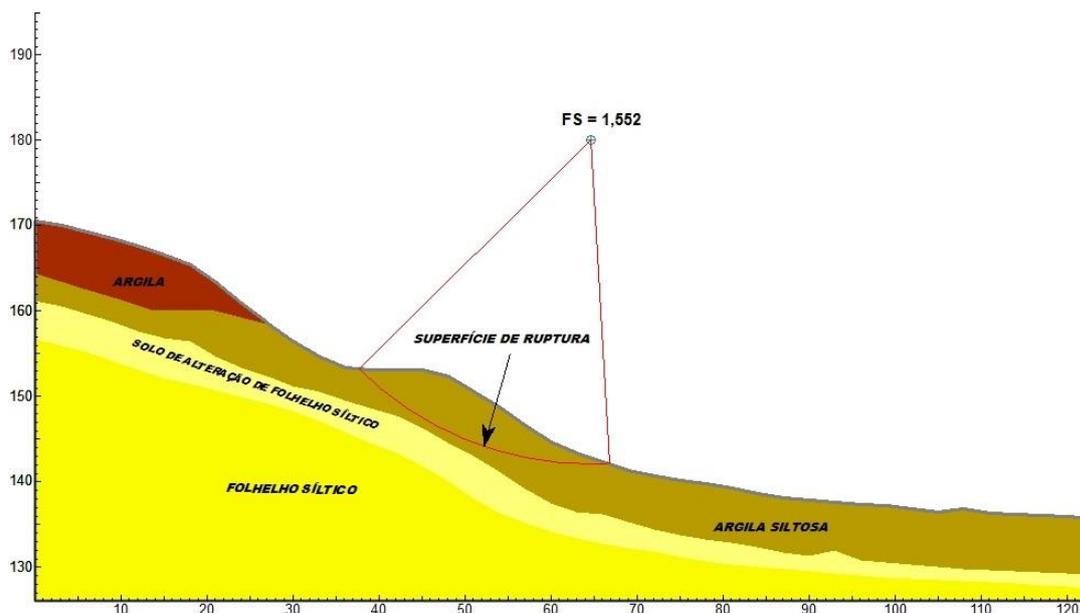
A principal simplificação, de acordo com Raimundo (1998), é a de que não existem forças de cisalhamento entre as fatias. No método Geral, ou rigoroso, o fator de segurança depende da diferença entre as forças de cisalhamento inter-fatias. Uma suposição levando em conta esta diferença pode ser feita, e a mais simples é zerá-la, fornecendo o método simplificado. Neste trabalho o método Bishop Simplificado (1955) foi aplicado através do software Slide® da empresa Rocscience.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 FATOR DE SEGURANÇA SEM PRESENÇA DO LENÇOL FREÁTICO

Inserindo os parâmetros de cisalhamento do solo da Tabela 1 no perfil do talude definido, e utilizando o Método de Bishop Simplificado (1955), tendo em vista que a superfície de ruptura é circular, chegou a um Fator de Segurança igual de 1,552, como demonstra a Figura 7.

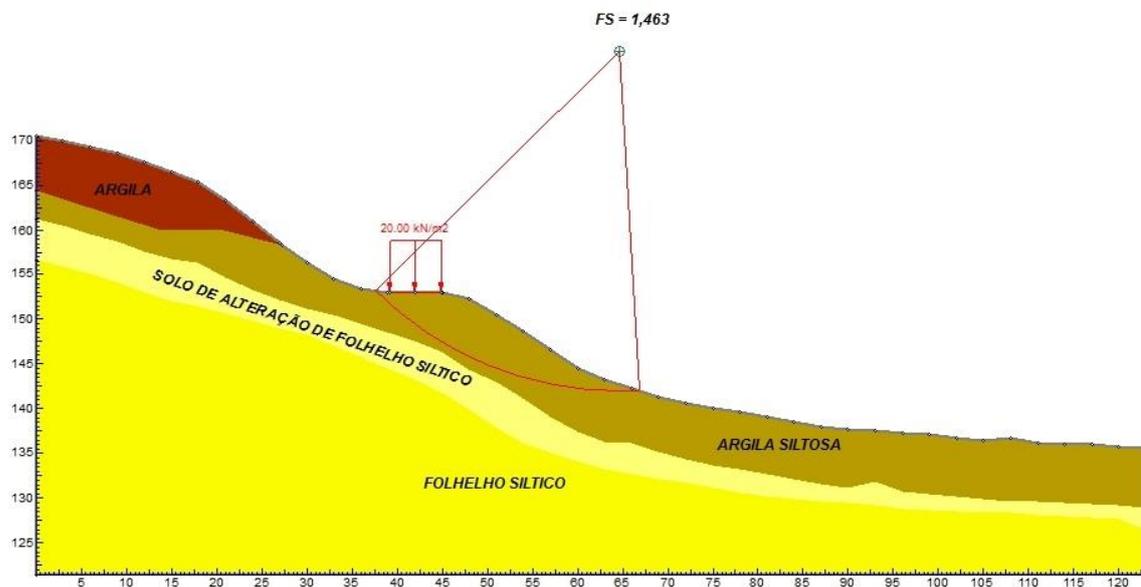
Figura 7: Fator de Segurança sem Nível d'Água.



Fonte: O autor.

O FS de 1,552, obtido na retroanálise, deixa claro que o talude, não só não romperia como, encontrava-se com um valor acima do recomendado para o risco elevado de perda de vidas humanas e materiais, que é de 1,5 de acordo com a NBR 11.682/2006. No entanto, o mesmo rompeu. Logo, entende-se que algum ou alguns fatores deflagraram o mecanismo de ruptura do talude. Dentre os fatores possíveis que poderia provocar o movimento de massa, estaria o acréscimo de tensões cisalhantes geradas por sobrecargas provenientes do tráfego de veículos na Rua Otto Maier. No entanto, como demonstra a retroanálise abaixo, isto não poderia acontecer, já que o FS, para esta condição, foi de 1,463 (Figura 8). Logo, esta hipótese encontra-se descartada. O outro fator seria a redução dos parâmetros de resistência ao cisalhamento, devido ao o aumento das tensões neutras provocadas pelas precipitações pluviométricas, ocorridas no dia do movimento de massa e agravadas pela ruptura do tubo da drenagem perene do Morro Cechinel, implantado na crista do talude, hipótese esta que será avaliada na sequência do trabalho.

Figura 8: Fator de Segurança com sobrecarga.



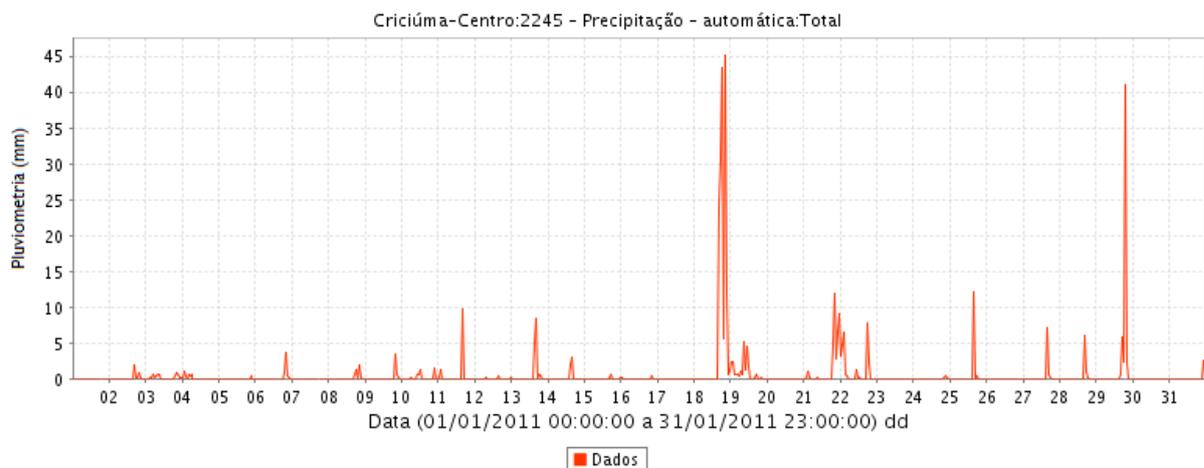
Fonte: O autor.

3.2 LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO

A Epagri/Ciram criou um sistema de monitoramento climático em Criciúma, com intuito de obter informações meteorológicas do município.

De acordo com a Epagri/Ciram, no dia 18 de Janeiro de 2011, data em que o talude sofreu o movimento de massa, a precipitação pluviométrica na cidade de Criciúma, foi de 163,20mm, como ilustra o gráfico da Figura 9. Cabe ressaltar que este valor é superior a precipitação adotada por Raimundo (1998), como deflagradora de movimentos de massa, que é de 100mm.

Figura 9: Representação da quantidade de precipitação medida no mês de janeiro.



Fonte: www.ciram.com.br

A Tabela 2 apresenta a distribuição da precipitação pluviométrica ao longo do dia em questão.

Tabela 2: Distribuição da precipitação pluviométrica.

Data - Hora	Índice Pluviométrico (mm)
18/01/2011 - 16h00min	24,00
18/01/2011 - 17h00min	30,60
18/01/2011 - 18h00min	43,40
18/01/2011 - 19h00min	5,60
18/01/2011 - 20h00min	45,20
18/01/2011 - 21h00min	12,20
18/01/2011 - 22h00min	1,40
18/01/2011 - 23h00min	0,80
Total	163,20

Fonte: www.ciram.com.br

A Figura 10 ressalva o nível de saturação de alguns pontos localizados nas imediações da área em estudo, no período em que ocorreu o processo do movimento de massa em questão.

Figura 10: Nível de saturação de alguns pontos próximos à área em estudo.



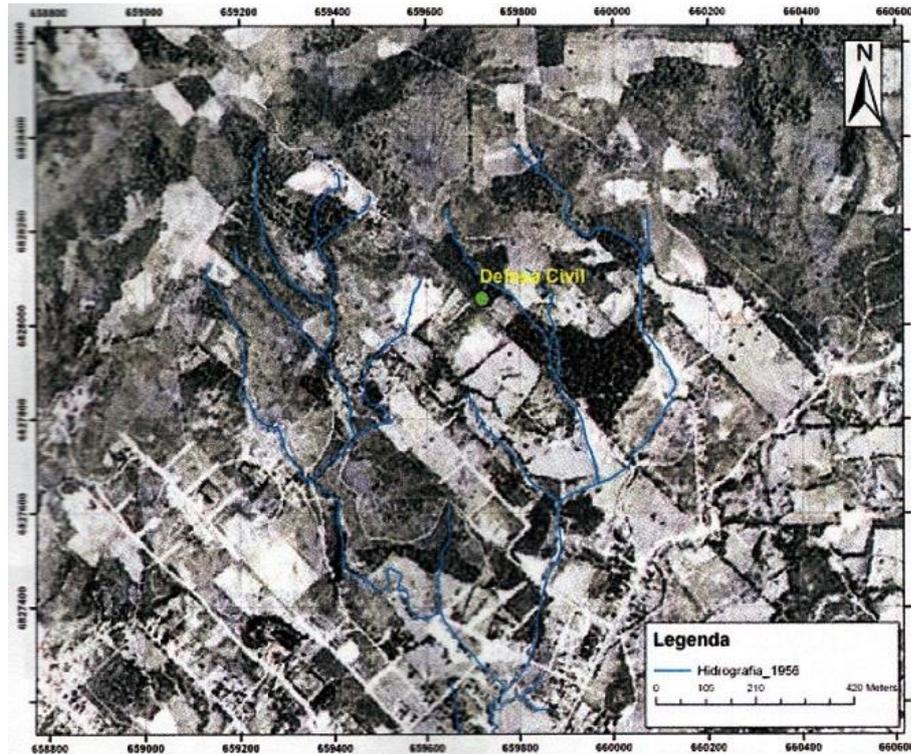
Fonte: Setor de Cartografia e Geoprocessamento (Iparque - UNESC).

Convém destacar que, as precipitações pluviométricas provocam a elevação do lençol freático no talude, levando-o ao estado de saturação e conseqüentemente, tornando-o propício a ruptura.

3.3 DRENAGEM

De acordo com o Relatório de Avaliação de Dano Patrimonial (2011), disponibilizado pela Defesa Civil, entre 1956 e 1978, foi reconhecida a existência de uma drenagem perene no Morro Cechinel, localizada nas imediações da ocorrência da instabilidade geotécnica. Na Figura 11, está representada a rede fluvial da referida área, e o local do movimento de massa, representado pelo ponto em destaque da Defesa Civil.

Figura 11: Disposição original da rede fluvial na face sul do Morro Cechinel.



Fonte: Relatório de Dano Patrimonial da Defesa Civil (Criciúma).

Com a implantação do Loteamento Cechinel em 1988, a drenagem perene foi canalizada por meio de um tubo de concreto na Rua Otto Maier (Figura 12).

Figura 12: Tubulação rompida na Rua Otto Maier.



Fonte: Defesa Civil (Criciúma).

Com objetivo de captar e canalizar as águas no Morro Cechinel, a tubulação de drenagem (Figura 13) teve como um dos objetivos, inibir erosões e deslizamentos causados pela existência frequente de água.

Figura 13: Detalhe tubo de concreto.



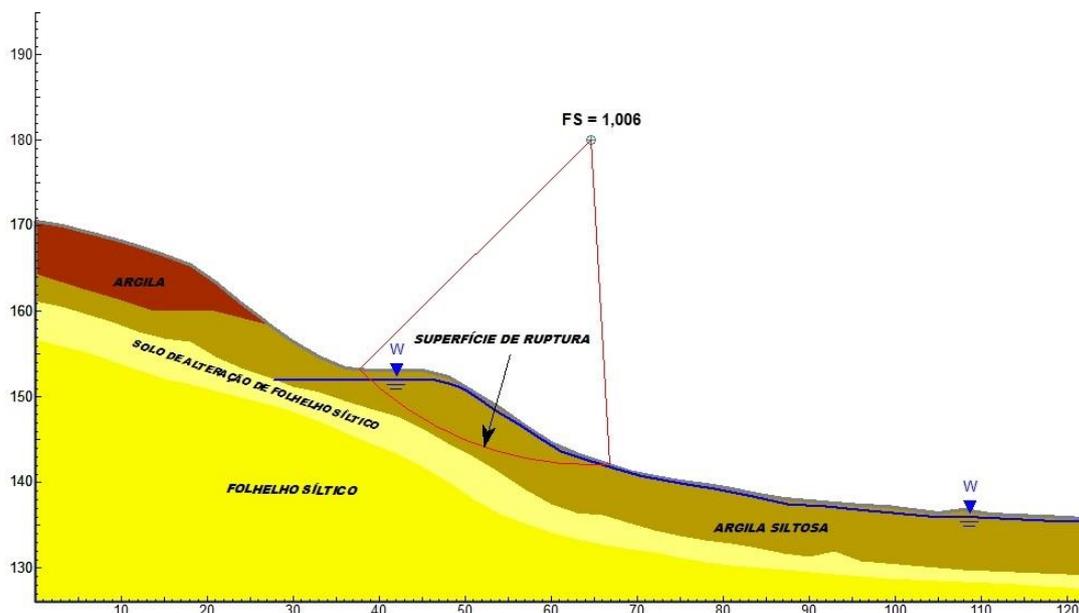
Fonte: Relatório de Dano Patrimonial da Defesa Civil (Criciúma).

A principal questão levantada, quanto à obra de drenagem existente no local, está ligada ao fato da mesma estar posicionada na crista do talude. A deformação do solo no mesmo, por exemplo, pode acarretar a fissuração e/ou desacoplamento da tubulação, provocando assim, a infiltração da água no solo do talude.

3.4 FATOR DE SEGURANÇA COM PRESENÇA DO LENÇOL FREÁTICO

A determinação do FS do talude levando em consideração o acréscimo de pressão neutra, provocada pela elevação do nível do lençol freático (NA) no interior mesmo, foi realizada tomando como base, que o NA encontrava-se no nível da tubulação da drenagem perene do Morro Cechinel. Salienta-se que o nível da tubulação varia entre 1,10m e 1,50m, em relação à crista do talude. Na retroanálise adotou-se 1,10m para o nível do NA. A Figura 14 apresenta o resultado da retroanálise para esta condição.

Figura 14: Fator de Segurança com Nível d'Água.



Fonte: O autor.

O resultado da retroanálise demonstra de forma inequívoca que nestas condições, o talude, como de fato ocorreu, romperia, já que o FS do mesmo foi de 1,006. Este valor FS valida os parâmetros geotécnicos e a condição de saturação adotada na retroanálise.

4. CONCLUSÃO

A retroanálise sem a presença do lençol freático apresentou um Fator de Segurança (FS) de 1,552. Valor esse, acima do recomendável pela NBR 11682/2006 para o risco elevado de perda de vidas humanas e materiais. Logo, entende-se que o talude não sofreria movimento de massa.

A retroanálise, inserindo na crista do talude uma sobrecarga de 20 KN/m² (tráfego de veículos), representando um aumento de tensão efetiva no talude, resultou num FS de 1,463. Esse valor demonstra que o acréscimo de tensões efetivas, não provocaria a ruptura do talude em questão.

Introduzindo no modelo matemático adotado na retroanálise, o lençol freático na altura do tubo de drenagem, chegou-se a um FS igual de 1,006. Valor este, que define de forma clara e inequívoca que, o fator causador da ruptura do talude da Rua Otto Maier em 18 de Janeiro de 2011, foi à redução da resistência ao cisalhamento por acréscimo de pressão neutra.

Este acréscimo de poropressão foi ocasionado pela intensa precipitação pluviométrica recebida no dia da ruptura (163,20mm), e pela ruptura do tubo de drenagem situado na crista do talude.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.682: Estabilidade de Taludes**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

CAPPELLESSO, Luciano. **Retroanálise do Movimento de Massa do Talude localizado na Rodovia Antônio Just Criciúma – SC**. 2011. p19. Artigo Científico do Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., 1961.

DEFESA CIVIL. **Relatório de Avaliação de dano Patrimonial**. Criciúma: SATC, 2011.

GERSCOVICH, Denise M.S. **Estabilidade de Taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

GUIDINICI, Guido; NIEBLE, Carlos M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.

JOPPERT JUNIOR, Ivan. **Fundações e Contensões em edifícios: Qualidade total na Gestão do Projeto e Execução**. São Paulo: PINI, 2007.

RAIMUNDO, Alexandre Huri. **Aspectos Geotécnicos e Pluviométricos Associados à Instabilidade de Encostas em Florianópolis – SC**. 1998. 325p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.