

## **DETERMINAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA DE UM TALUDE RODOVIÁRIO NO KM 06 DA VIA RÁPIDA – SC-446 – CRICIÚMA/SC**

**Guilherme Semprebom Meller<sup>1</sup>**

**Clóvis Norberto Savi<sup>2</sup>**

**Resumo:** A engenharia geotécnica tem sido de extrema importância para o desenvolvimento territorial, sendo aplicada desde a exploração de minérios, portos até em estruturas profundas como túneis e obras rodoviárias. Sua influência e análise vêm ajudando significativamente nos aprimoramentos de estruturas mais seguras. Dentro deste contexto, uma das obras mais importantes no sul catarinense é a rodovia SC-446, popularmente conhecida como Via Rápida, projetada para receber 22.000 veículos por dia e com extensão de 12,7 km. Sua construção permitiu um novo eixo de desenvolvimento, não só pela mobilidade urbana, mas também no crescimento da região. Entretanto, esta via apresenta condições geotécnicas sujeitas a movimentos de massa em alguns trechos, podendo colocar em risco os usuários que por ela transitam. Um destes pontos é o talude rodoviário do km 06 que apresenta processos deflagradores de movimentos de massa. Neste sentido, buscou-se com este estudo realizar uma análise de estabilidade deste talude, utilizando-se os métodos usuais de estado de equilíbrio limite por meio de uma rotina de modelagem matemática no *software GEO5 2020*<sup>®</sup>, obtendo-se o fator de segurança (F.S) e comparando-se o mesmo com a norma ABNT NBR 11.682:2009. Um modelo da geometria inicial do talude foi inserido na ferramenta computacional e juntamente com seus parâmetros característicos, determinou-se seu coeficiente de segurança, por meio do método de Bishop (1955), resultando-se em um valor de 1,06 para o talude em estado seco e 1,02 para o talude em estado parcialmente saturado. Por intermédio desta análise, constatou-se que o talude encontra-se instável segundo as recomendações da ABNT NBR 11.682:2009. Para o talude em questão, indica-se a aplicação de dois grampos de diâmetro de 400mm e 9,00 metros de comprimento com resistência a tração de 500 Mpa, para assim obter o coeficiente recomendado pela respectiva norma.

**Palavras-Chave:** Geotecnia. Estabilidade de Taludes. Rodovias. Fator de Segurança

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Minas. E-mail: guilhermeller@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: clovis.savi@engeplus.com.br

## 1 INTRODUÇÃO

Com o atual crescimento e desenvolvimento urbano, cada vez mais torna-se necessário o transporte entre cidades, estados e países. Um dos meios mais usados para o transporte no Brasil são as rodovias; suas implantações ocorrem através da alteração no meio físico, modificando-o e passando a ser um novo elemento do terreno (RUIVO, 2011).

A implantação de rodovias gera impactos negativos para o meio físico, estes impactos geralmente proporcionam condições que terão como consequência problemas geológico-geotécnicos (movimentos de massa). A caracterização, distinção e setorização dos elementos presentes neste meio, assim como suas análises e inter-relações são fundamentais para a execução e manutenção de uma rodovia (RUIVO, 2011).

Ao abordar sobre os escorregamentos de taludes Barbosa e Dias (2018) destacam que geralmente as causas de um movimento de massa são o “aumento de peso” do talude, incluindo as cargas aplicadas, e a diminuição da resistência ao cisalhamento do material, classificando-as como externas e internas, respectivamente.

Ainda, Rodrigues & Lopes (1998) afirmam que estes problemas podem gerar vários tipos de instabilização nos taludes de corte e de aterro, nas encostas naturais, e em outros locais da via, tanto em solo como em rocha.

Neste sentido, para que um empreendimento rodoviário funcione com a devida segurança é necessário um mapeamento geotécnico como princípio para estabelecimento de medidas preventivas, pois estas obras tem como função principal a circulação de pessoas. Segundo a IAEG (*International Association for Engineering Geology and the Environment*, 1976, *apud* ZUQUETTE e GANDOLFI, 2004), “mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, que são de grande significado para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente”.

Dentro deste contexto, este trabalho busca a integração das características geológicas e geotécnicas no meio físico e os processos potenciais no km 06 da rodovia SC-446 (Rodovia Aristides Bolan – Via Rápida), sob responsabilidade da

Secretaria de Estado da Infraestrutura e Mobilidade – SIE/SC, ligando o município de Criciúma a Rodovia BR-101, passando pelo município de Içara. Esta rodovia apresenta condições geotécnicas sujeitas a movimentos de massa em vários trechos da estrada, podendo colocar em risco os usuários, quando de possíveis processos erosivos, escorregamentos de solos e rochas, queda e rolamento de blocos na pista.

Estes problemas veem acontecendo com certa frequência e são agravados no período de chuvas com a saturação dos solos, o que gera o comprometimento do fluxo seguro de pessoas e veículos ao longo da rodovia, podendo vir a gerar a paralisação do tráfego nos dois sentidos da pista ou até mesmo acidentes. Por isso, são necessárias medidas preventivas para a manutenção e remediação de trechos que apresentam riscos ao tráfego seguro na rodovia.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise de estabilidade de taludes utilizando-se os métodos usuais de estado de equilíbrio limite por meio de uma rotina em *software* de modelagem matemática, obtendo-se o fator de segurança (F.S) e comparando-se o mesmo com a NBR 11.682 (ABNT, 2009), definindo-se seu nível de segurança contra danos a vidas humanas e contra danos materiais e ambientais.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 MOVIMENTOS DE MASSA**

A crescente ocupação de áreas de risco fez com que os movimentos de massa passassem a ser considerados como um dos principais tipos de desastres no Brasil e no mundo, estando associado a um número elevado de mortes e a grandes prejuízos materiais (GUESSER, 2013). Assim, salienta-se a importância do estudo dos movimentos de massa, compreendendo suas definições fatores condicionantes e classificações.

Os movimentos de massa de ordem gravitacional representam um importante agente externo modelador do relevo e são processos ligados ao quadro evolutivo das encostas. Guerra e Marçal (2006) caracterizam-nos como sendo o transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, onde a ação da gravidade tem

papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água. Já para Drew (1986) os movimentos de massa variam em função da natureza do material, da topografia, do clima e da vegetação, mas pode ser tão lento que se torna imperceptível (*creep* ou reptação) ou brusco (desabamento ou desmoronamento).

Pinto, Passos e Caneparo (2012) afirmam que estes processos são desencadeados por uma complexa relação entre uma série de fatores condicionantes intrínsecos, esses, são elementos do meio físico ou biótico que diminui a resistência do solo ou da rocha, contribuindo para a deflagração dos processos. Os condicionantes naturais fazem parte da própria dinâmica de desenvolvimento das encostas, porém, podem ser potencializados pela ação antrópica.

Assim, segundo Selby (1993) os movimentos de massa são definidos como o escorregamento de material sólido encosta abaixo, o qual pode ser formado por diferentes componentes, como solos, rochas e vegetação, sendo que o movimento do material dá-se pela influência da força da gravidade.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Como afirma Fernandes (2000) existem inúmeras formas de classificar os movimentos de massa, ou seja, pode-se levar em consideração a velocidade e a direção do movimento, o tipo de material, a geometria, a profundidade, entre outros.

A primeira tentativa de classificar estes movimentos foi em 1862 por Dana. Posteriormente seguiram-se outras como a de Sharpe (1938) e Hutchinson (1988), os quais utilizaram como parâmetros a velocidade do movimento, tipo do material e a quantidade de água ou gelo contido na massa. Este trabalho influenciou a maioria das classificações posteriores, dentre as quais está aquela apresentada por Varnes (1958 e 1978), muito utilizada pela comunidade científica e adotada como oficial pela *International Association for Engineering Geology and the Environment* (IAEG). Mais além, Caputo (1987) propôs a classificação em três grandes grupos: desprendimentos de terra ou rocha, deslizamentos e rastejos. (FERNANDES, 2000).

Além da classificação proposta por Caputo (1987) utiliza-se rotineiramente no Brasil os termos correspondentes aos processos definidos pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), propostos por Augusto Filho (1992), na qual divide os

movimentos em quatro grupos principais: rastejos, escorregamentos, quedas e corridas, conforme Tab. 1.

Tabela 1: Classificação dos movimentos de massa

Tipo do movimento	Característica do movimento, material e geometria
Rastejos ( <i>creep</i> )	Vários planos de deslocamento (internos) Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida
Escorregamentos ( <i>slides</i> )	Poucos planos de deslocamento (externos) Velocidades médias (m/h) e altas (m/s) Pequenos e grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares - solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares - solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha - solos e rochas com dois planos de fraquezas
Quedas ( <i>falls</i> )	Sem planos de deslocamento Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas (vários m/s) Material rochoso Pequenos a médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão Tombamento
Corridas ( <i>flows</i> )	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimento) Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo de drenagens Velocidades médias a altas Mobilização de solo, rocha, detritos e água Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Augusto Filho (1992).

Neste estudo, dentre as diversas classificações apresentadas, optou-se por adotar aquela proposta por Augusto Filho (1992) por ser a mais difundida pela comunidade científica brasileira, sendo apresentada em detalhe no capítulo seguinte.

### 2.2.1 Rastejo

O rastejo é um fenômeno bem lento e por consequência seu potencial de destruição é menor que dos demais tipos de movimentos de massa. Porém, pode ser

facilmente identificado pela mudança na verticalidade das árvores, postes, muros, etc. (SELBY, 1993; AUGUSTO FILHO, 1994).

Tal constatação aproxima-se das afirmações de Queiroz (2009) na qual revela que este fenômeno é comum em solos residuais e em clima tropical úmido onde o intemperismo é intenso, sendo que esses fatores acarretam num vagaroso aumento da espessura da camada de solo e por consequência em alguns casos, devido ação da gravidade.

### **2.2.2 Escorregamentos**

Segundo Brasil (2006) os escorregamentos são processos marcantes na evolução das encostas, caracterizando-se por movimentos rápidos, com limites laterais e profundidade bem definidos (superfície de ruptura). Os escorregamentos, são de curta duração e com alto poder destrutivo, possuem alta incidência em todo mundo e sendo assim tem sua dinâmica muito estudada com intuito de mapear as áreas de risco e diminuir danos físicos e materiais associados a sua ocorrência (GUIDICINE; NIEBLE, 1993).

De acordo com Augusto Filho (1992), o mecanismo de ruptura desses deslizamentos dá-se pelo aumento das tensões atuantes e/ou diminuição da resistência do solo, que acabam por levar a encosta a ruptura por tensões de cisalhamento. Caputo (1987) menciona que em solos coesivos homogêneos deflagram-se predominantemente movimentos rotacionais, por sua vez em maciços rochosos estratificados o predomínio é de movimentos translacionais, denominados deslizamentos translacionais.

Assim como afirma Guesser (2013) em seus estudos quanto a geometria pode-se classificar os escorregamentos em três tipos: rotacionais, translacionais e em cunha.

### **2.2.3 Quedas**

Neste tipo de movimento de massa, rochas soltam-se do alto de encostas íngremes e despencam em alta velocidade. Há grande preocupação com a trajetória

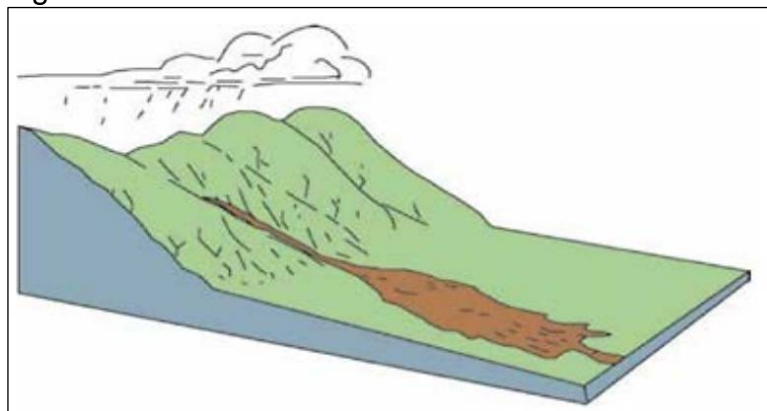
das mesmas durante a queda devido a periculosidade envolvida (AUGUSTO FILHO, 1994). A ocorrência deste processo é condicionada pela existência de rochas aflorando no topo das encostas com elevada declividade (relevo escarpado) ou devido ao corte de taludes, sendo que os principais fatores deflagradores deste tipo de movimentação são: descontinuidade do maciço rochoso, subpressão devido ao acúmulo de água e penetração de raízes (BRASIL, 2006).

#### 2.2.4 Corridas

São processos que ocorrem rapidamente, principalmente devido ao tipo de material transportado que comporta-se de maneira semelhante a um fluido muito viscoso. Apesar de mais raras, as corridas são mais destruidoras que os escorregamentos (KOBAYAMA *et al.*, 2006).

São processos de movimentos gravitacionais complexos, ligados a eventos pluviométricos excepcionais (BRASIL, 2006). Devido à grande rapidez com que se deslocam esses processos são devastadores, possuem alto poder de erosão e atingem distâncias enormes em pouco tempo (MASSAD, 2010). A Fig. 1 ilustra um exemplo de corridas de massa.

Figura 1: Corridas de Massa.



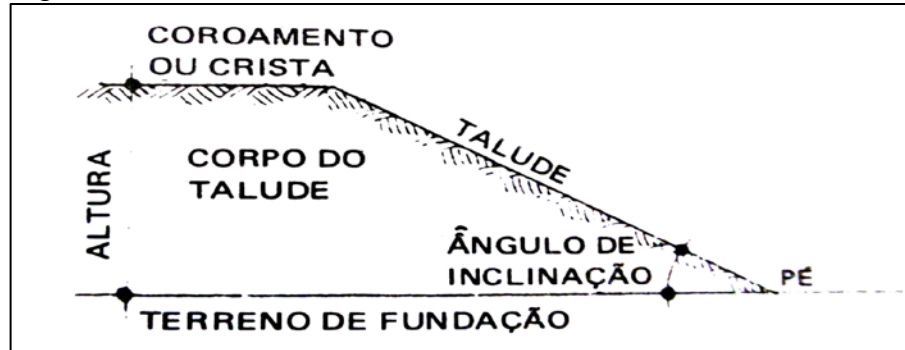
Fonte: Highland e Bobrowsky (2008).

#### 2.3 ESTABILIDADE DE TALUDES

Talude é um termo genérico, compreendendo qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, de rocha ou de ambos. Pode ser natural, caso das

encostas ou vertentes, ou artificial, quando construído pelo homem, caso de cortes e aterros (FIORI, CARMIGNANI, 2009). Na Fig. 2 é detalhado em corte um talude típico.

Figura 2: Detalhamento de um talude.



Fonte: Caputo (1988).

Fundamentalmente a estabilização de uma encosta significa, de maneira preventiva, aumentar o fator de segurança em sua extensão considerando as possíveis movimentações de massa através de métodos de estabilidade e na sequência, pensar uma maneira de correção para suportar os movimentos e dessa maneira monitorar para os diagnósticos adequados (GERSCOVICH, 2008).

Barbosa e Dias (2018) afirmam que para se entender de maneira mais clara o conceito de estabilidade e sua análise, é necessário relembrar algumas propriedades do solo, sendo a mais importante delas a resistência ao cisalhamento.

Assim, a propriedade dos solos em suportar cargas e conservar a sua estabilidade depende da resistência ao cisalhamento do solo, toda massa de solo se rompe quando as tensões cisalhantes excedem a sua resistência (BARBOSA e DIAS, 2018).

A resistência ao cisalhamento pode ser expressa pela equação de *Coulomb* conforme Eq. (1):

$$\tau = c + (\sigma \times \text{tg}\phi) \quad (1)$$

Onde:

$\tau$  = resistência ao cisalhamento;

$c$  = coesão;

$\sigma$  = tensão efetiva à superfície de cisalhamento;

$\phi$  = ângulo de atrito interno.



Pela equação de *Coulomb* é possível verificar os parâmetros de características intrínsecas dos solos, sendo eles determinados por suas propriedades e atributos, tais como textura, estrutura, teor de matéria orgânica, densidade, mineralogia e teor de água (ZHANG, 1994).

## 2.4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES

Em síntese, Barbosa e Dias (2018) relatam que basicamente os métodos de estudo consistem em:

a) Calcular as tensões em tantos pontos necessários de acordo com a precisão desejada e compará-las com as tensões resistentes; se aquelas forem maiores do que estas, aparecerão zonas de ruptura; e zonas de equilíbrio, em caso contrário (método de análise de tensões);

b) Em isolar massas arbitrárias e estudar as condições de equilíbrio pelos métodos de equilíbrio limite. (CAPUTO, 1988).

Para o talude ser considerado estável ele deve estar no estado de equilíbrio de forças, assim sendo, para analisar sua estabilidade avalia-se a possibilidade de ocorrência de escorregamento de massa de solo de taludes naturais ou construídos (GERSCOVICH, 2008).

De maneira geral, as análises são verificadas utilizando o conceito do fator de segurança. Para isso, entende-se o valor numérico da relação entre a somatória dos momentos resistentes  $M_r$  e a somatória dos momentos atuantes  $M_a$  (DYMINSKY, 2008). Dessa maneira se define o fator de segurança de acordo com a Eq. (2):

$$FS = \Sigma MR / \Sigma MA \quad (2)$$

Onde:

FS = Fator de Segurança;

$\Sigma MR$  = Somatório dos Momentos Resistentes;

$\Sigma MA$  = Somatório dos Momentos Atuantes.

Como pondera Barbosa e Dias (2018), determina-se a estabilidade do talude de acordo com os critérios pré-estabelecidos:

$FS > 1 \Rightarrow$  Obra estável;

$FS = 1 \Rightarrow$  Ocorrência de ruptura;

$FS < 1 \Rightarrow$  Sem significado físico.

Corroborando com essa idéia, Dyminsky (2008) afirma que usualmente, deve-se utilizar uma abordagem determinística, ou seja, estipular um valor de segurança admissível a ser atingido em razão do tipo de obra e finalidade para a qual será submetida em função de sua vida útil. Dependendo do foco para o qual a estabilização do talude será concebida, o valor do fator de segurança pode variar entre 1,1 a até valores maiores que 2. Normalmente utiliza-se 1,3 para obras provisórias e 1,5 para obras permanentes. Algo que sempre é levado em conta é o fator de risco para vidas humanas assim como a sua associação ao retorno econômico esperado.

## 2.5 FATOR DE SEGURANÇA DE UM TALUDE

A segurança em estabilidade de taludes é normatizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da Norma Brasileira (NBR) 11.682 de 21/09/2009. Esta norma tem como objetivo fixar as condições exigíveis no estudo e controle de taludes em solo, rochas ou mistos, componentes de encostas naturais ou resultantes de cortes. A mesma norma abrange também condições para projeto, execução, controle e conservação de obras de estabilização.

Neste sentido, a NBR 11.682 (ABNT, 2009) define fator de segurança como a relação entre os esforços estabilizantes (resistentes) e os esforços instabilizantes (atuantes) para determinado método de cálculo adotado, porém, essa determinação, derivada do cálculo, não é o fator de segurança realmente existente, devido à imprecisão das hipóteses e incerteza dos parâmetros de solos adotados.

Deste modo, a NBR 11682 (ABNT, 2009), considera que os fatores de segurança inseridos nesta norma têm a finalidade de cobrir as incertezas naturais das diversas etapas de projeto e construção. Dependendo dos riscos envolvidos, deve-se inicialmente enquadrar o projeto em umas das seguintes classificações de nível de segurança, definidas a partir da possibilidade de perdas de vidas humanas, conforme Qd. 1, e de danos materiais e ambientais, conforme Qd. 2. O fator de segurança mínimo a ser adotado, considerando-se os níveis de segurança citados nos Quadros 1 e 2, deve ser definido conforme Qd. 3.

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

<b>Nível de Segurança</b>	<b>Critérios</b>
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com a possibilidade de elevada concentração de pessoas.
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: NBR 11682 (ABNT, 2009).

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

<b>Nível de Segurança</b>	<b>Critérios</b>
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetam 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 próximos a propriedade de valor reduzido. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.

Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009).

Quadro 3: Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas.

<b>Nível de Segurança</b>	<b>Critérios</b>		
	<b>Alto</b>	<b>Médio</b>	<b>Baixo</b>
<b>Nível de segurança contra danos a vidas humanas</b>			
<b>Nível de Segurança contra danos materiais e ambientais</b>			
<b>Alto</b>	1,5	1,5	1,4
<b>Médio</b>	1,5	1,4	1,3
<b>Baixo</b>	1,4	1,3	1,2

Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009).

## 2.6 MÉTODOS PARA CÁLCULO DO FATOR DE SEGURANÇA

Em conformidade com Barbosa e Dias (2018) existem vários métodos para determinar o fator de segurança de uma dada superfície. Segundo Calle (2000), a seleção do modo de ruptura possível deve-se basear no conhecimento da geologia *in situ* e do perfil do solo intemperizado. Normalmente são utilizadas superfícies circulares para facilitar a solução dos casos. Dentre os métodos para o cálculo do fator de segurança de uma superfície destacam-se: Fellenius (1936), Bishop (1955), Janbu (1973), Morgenstern & Price (1965), Spencer (1967).

Calle (2000) cita algumas considerações sobre os métodos mais utilizados:

a) Método de Fellenius: considera uma superfície de ruptura circular, divide a massa deslizante em fatias e não considera forças entre elas, mas considera haver tensão normal ao peso na base das fatias;

b) Método de Bishop: considera uma superfície de ruptura circular, divide a massa deslizante em lamelas, considera a resultante das forças interlamelares horizontal e as forças cisalhantes entre lamelas como nulas; e

c) Método de Janbu Generalizado: considera uma superfície de ruptura qualquer e a resultante das forças interlamelares é determinada por uma linha de empuxo assumida.

## 3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A pesquisa envolveu uma etapa de planejamento, durante a qual foi realizada uma revisão bibliográfica preliminar sobre o tema investigado, seguindo-se pela definição dos objetivos específicos do trabalho e da escolha da área de estudo.

A abordagem geral do estudo foi fundamentada nas propostas de investigação, análise e correção dos processos de instabilização de taludes apresentadas por Caputo (1988), IPT (1991) e Augusto Filho (1992).

Após a etapa de planejamento, iniciou-se a coleta de dados regionais, abrangendo-se a complementação da revisão bibliográfica, com foco nas ocorrências registradas na rodovia SC-446 pela Defesa Civil Municipal de Criciúma desde a sua

inauguração ocorrida em dezembro de 2017. Optou-se por analisar o talude rodoviário do km 06 pois em uma análise preliminar definiu-se como o trecho mais crítico a ser investigado adotando-se os mesmos critérios técnicos adotados por Mattos (2009).

Também realizou-se levantamentos de campo expedidos no período de setembro/2019 a setembro/2020 nos taludes do km 06 da via para obtenção de registros fotográficos, perfis topográficos e estudo das características geológico-geotécnicas como o tipo de rocha e solo e características estruturais como fraturas, falhas, juntas e foliações, na qual são processos deflagradores de movimentos de massa. Estes fatores tem implicação direta na suscetibilidade dos movimentos de massa.

Os materiais utilizados nesta etapa foram:

a) Bússola geológica Compass tipo Bruton da Naturehike (Fig. 3) com resolução de 1 grau e precisão de  $\frac{1}{2}$  sendo sua agulha indutiva construída de forma flexível com excelente precisão ótica. Tem ainda como características a marcação do Azimute: de 0 a 360°; inclinômetro com nível de bolha cilíndrico; nível de bolha esférico para leitura de azimute; escala com divisão de 1 em 1°; peso: 125 gramas e dimensões: 70 x 70 x 30 mm;

b) Martelo petrográfico marca *Estwing* (Fig. 3) de cabo médio, com comprimento de 419mm e peso total de 0,975kg;

c) Câmera fotográfica acoplada em smartphone Samsung Galaxy J5 Prime com resolução de 4163 x 3122 pixel;

d) Caderneta de campo para anotações e registros;

e) Receptor GPS Geodésico RTK modelo TPS T20 (Fig. 4), para a execução do levantamento topográfico visando a obtenção das coordenadas e perfis topográficos do talude rodoviário, sendo executados os trabalhos conforme norma ABNT NBR 13.133:1994.

Figura 3: Materiais utilizados para levantamento de campo no talude rodoviário do km 06 da rodovia SC-446 (Via Rápida), composto por bússola analógica (à esquerda) e martelo petrográfico (à direita).



Fonte: Autor (2020).

Figura 4: Modelo de Receptor GPS Geodésico utilizado (à esquerda) e coleta de pontos com GPS RTK sendo executado no talude rodoviário do km 06 da SC-446 (à direita).



Fonte: Autor (2020).

f) Aeronave (drone) da marca DJI Mavic 2 Pro Zoom (Fig. 5), com uma lente 24-48mm, tempo de voo de 31 minutos e suporte para transmissão de vídeos em 1080p em até 8km de distância, sendo utilizada para registros fotográficos aéreos do talude rodoviário nos locais com dificuldade de acesso.

Figura 5: Aeronave utilizada para registros fotográficos do talude rodoviário.



Fonte: Autor (2020).

A etapa final da pesquisa consistiu de atividades de integração e análise dos resultados obtidos, com a definição dos modelos de instabilização do talude estudado, teste e validação utilizando-se o *software GEO5® – Módulo: Estabilidade de Taludes*. A versão utilizada foi a de número 2020.38, licenciado para atividades estudantis sob nº 2420/1. Esta etapa permitiu ainda o estabelecimento de diretrizes gerais para a correção dos processos de instabilização identificados, bem como a proposição de conclusões sobre a pesquisa realizada.

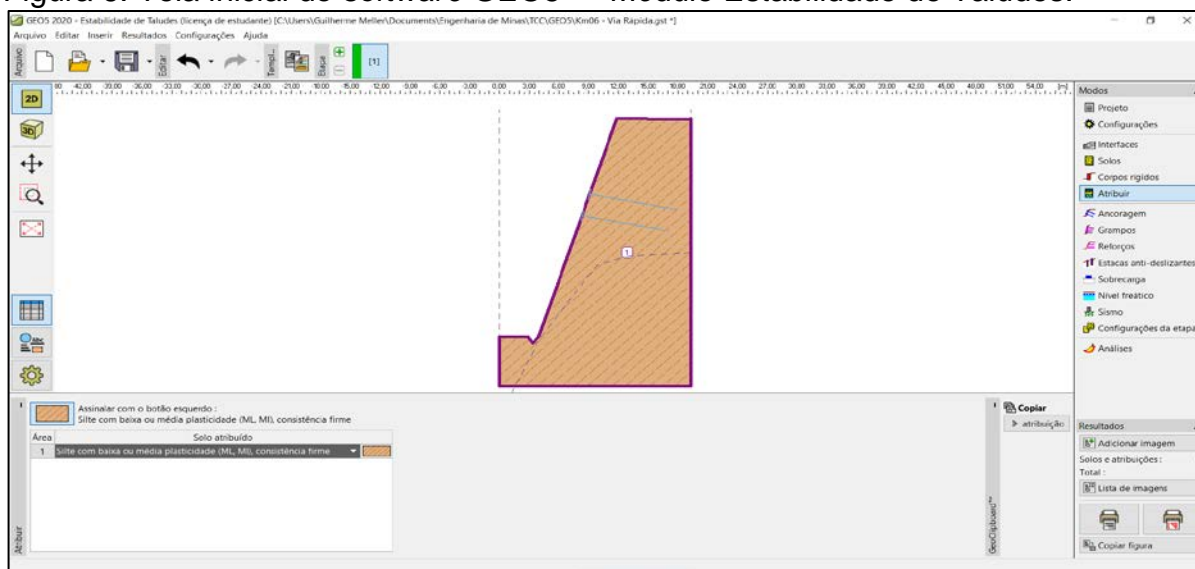
O programa *GEO5® – Módulo Estabilidade de Taludes* (Fig. 6) permite também a análise da estabilidade de aterros, muros de solo reforçado e estruturas com reforço ancorado, sendo que a superfície de deslizamento é considerada circular, podendo-se optar pelos métodos: Bishop, Fellenius/Petterson, Janbu, Morgenstern-Price ou Spencer) ou poligonal, pelas metodologias de: Sarma, Janbu, Morgenstern-Price ou Spencer.

Na análise, foi empregada a metodologia proposta por Bishop (1955), visando-se comparar os fatores de segurança obtidos em cada um dos cenários com a NBR 11682 (ABNT, 2009). Utilizou-se este método pois é um dos mais comumente utilizados para o estudo da estabilidade de maciços. A verificação foi realizada por meio do fator de segurança obtido de acordo com a Teoria dos Estados Limite.

O uso do *software GEO5®* permite que a análise se dê pelo cenário mais desfavorável mediante uma simulação de superfícies de ruptura diversas, observado

a última situação, ou seja o rompimento do maciço. A obtenção do cenário mais desfavorável se dá ao optar pela otimização quanto ao tipo de análise.

Figura 6: Tela inicial do *software* GEO5® – Módulo Estabilidade de Taludes.



Fonte: Autor (2020).

Inicialmente, inseriu-se a geometria do talude rodoviário estudado no *software* e na sequência as propriedades índices da rocha, que é caracterizada por um siltito marrom com pedregulho de folhelho.

Como não foram executados ensaios laboratoriais, estimou-se os valores de coesão, peso específico e ângulo de atrito interno por metodologias propostas por Godoy (1972) e Afonso (2010), utilizando-se de uma correlação com o índice de resistência a penetração ( $N_{spt}$ ) obtidas por meio de sondagens executadas pela Prosul (2011), sendo expressos na Tab. 2, Tab. 3 e Tab. 4.

Tabela 2: Determinação da coesão do solo

Número de Golpes ( $N_{spt}$ )	Consistência	Coesão $C_{ef}$ (kPa)
< 2	Muito mole	< 10
2 a 4	Mole	10 a 25
4 a 8	Média	25 a 50
8 a 15	Rija	50 a 100
15 a 30	Muito rija	100 a 200
> 30	Dura	> 200

Fonte: Alonso (2010)



Tabela 3: Determinação do peso específico de solos argilosos

Número de Golpes ( $N_{spt}$ )	Consistência	Peso Específico ( $kN/m^3$ )
$\leq 2$	Muito mole	13
3 a 5	Mole	15
6 a 10	Média	17
11 a 19	Rija	19
$\geq 20$	Dura	21

Fonte: Godoy (1972)

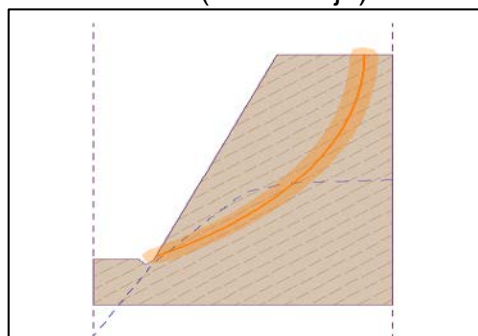
Tabela 4: Determinação do ângulo de atrito interno

Número de Golpes ( $N_{spt}$ )	Consistência	$\phi$ (°)
$< 4$	Fofa	$> 30$
4 a 10	Pouco Compacta	30 a 35
10 a 30	Medianamente compacta	35 a 40
30 a 50	Compacta	40 a 45
$> 50$	Muito compacta	$> 45$

Fonte: Alonso (2010)

Na sequência, indicou-se na geometria do talude a superfície potencial de ruptura, arbitrando-se a cunha de cisalhamento mais provável, conforme ilustrado na Fig. 7, inserindo-se desta maneira um valor de iterações necessárias para os cálculos e realizando-se as avaliações necessárias. Por fim, o *software* forneceu os resultados da análise gráfica, bem como os parâmetros do solo, seus limites e observações do modelo.

Figura 7: Indicação da cunha de cisalhamento (cor laranja).



Fonte: Autor (2020).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange o talude rodoviário da pista oeste no km 6 da via SC-446, próxima a interseção com o Anel de Contorno Viário e à entrada do bairro Primeira Linha, estando situada entre os municípios de Içara e Criciúma, sendo uma ligação direta deste último com a Rodovia BR-101. A fig. 8 ilustra a localização da área objeto desta pesquisa.

Com relação a geologia regional, Prosul (2011) afirma que as formações geológicas em que a via está assentada denominam-se de Formação Rio Bonito, no seu início, e Formação Palermo, no seu final, interrompidos localmente por Sedimentos Quaternários.

A Formação Rio Bonito compreende um pacote de rochas sedimentares, constituído de uma seção basal arenosa, arenito fino a médio, seguindo-se uma alternância de folhelhos, argilitos, siltitos e arenito. A parte superior, areno-argilosa, é a que contém os principais leitos de carvão explorados na bacia do Paraná.

Figura 8: Localização do talude rodoviário no Km 06 da SC-446.



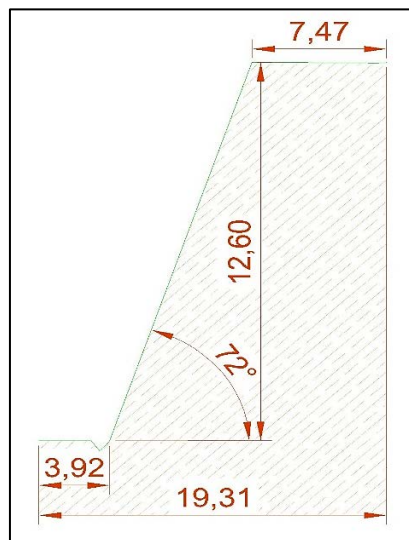
Fonte: Autor (2020).

Já as rochas da Formação Palermo são representadas por siltitos arenosos, cinza esverdeados e localmente amarelados, quando alterados, com camadas de arenito médio, na parte basal. É representada predominantemente por folhelhos siltico argilosos, tendendo formar solos argilo-siltosos, tipo A-7-5 e A-7-6, tanto no horizonte C, quanto no horizonte B (PROSUL, 2011).

Mais adiante, Prosul (2011) relata ainda que além de pouco abundantes, os Sedimentos Quaternários na área da via tendem a serem argilosos, com elevada umidade natural, baixo ISC e índice de plasticidade. Por estas razões, não são adequados ao uso em rodovias, já que resultam em solos com características de baixa capacidade de suporte e alta expansão.

Com relação a geometria do talude, por meio do levantamento topográfico obteve-se as dimensões indicadas na Fig. 9.

Figura 9: Dimensões em metros do talude estudado.



Fonte: Autor (2020).

Observou-se também que ocorrem intemperização diferentes entre os níveis de arenito nas quais resistem à fragmentação e as camadas de argilitos, siltitos e folhelhos, que tendem a desagregar-se mais rapidamente. Com o tempo, as camadas de argilito, siltito e folhelho formam uma reentrância no talude e as camadas de arenito uma saliência, de onde pode se desprender grandes blocos, quando um plano de fratura é alcançado, bem como ocorrer escorregamentos de massa, como mostra a Fig. 10 inclusive atingindo a pista, causando ocorrências como a registrada

pela Defesa Civil Municipal de Criciúma, no dia 08/09/2020, após um acumulado de chuvas de 109,90mm nas últimas 24 horas anteriores ao evento.



Figura 10: Movimento de massa em função do excesso de chuva, proporcionando o escorregamento no km 04 da Via Rápida.

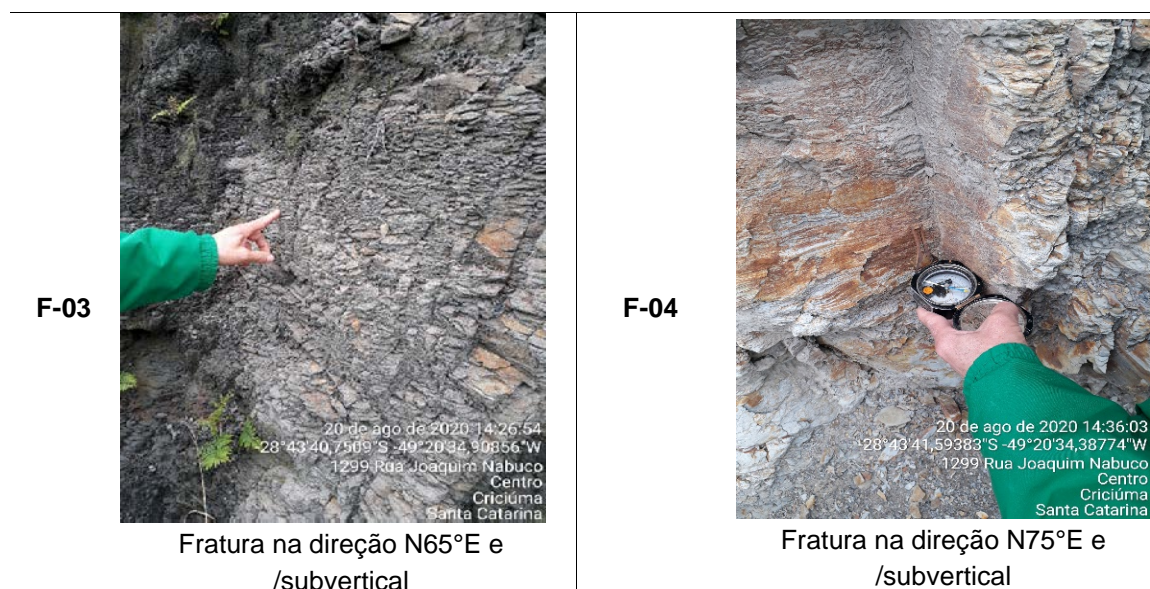


Fonte: Defesa Civil Municipal de Criciúma (2020).

Em termos estruturais, observou-se no trecho estudado duas fases de fraturamentos, sendo uma na direção N10° a 45°E e outra N65° a 75°E, como está registrado na Tab. 5.

Tabela 5: Descontinuidades mapeadas no talude.

N° da Fratura	Fotografia	N° da Fratura	Fotografia
F-01	 <p>Fratura na direção N10°E e /subvertical</p>	F-02	 <p>Dique de diabásio na direção N45°E e /subvertical</p>



Fonte: Autor (2020).

#### 4.2 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA

Obteve-se um índice de resistência a penetração de ( $N_{spt}$ ) de 30 com base no furo de sondagem executado por Prosul (2011).

A partir da correlação com o índice de resistência a penetração ( $N_{spt}$ ) determinou-se os valores para coesão, peso específico e ângulo de atrito interno (Tab. 6).

Ressalta-se que em virtude da intemperização das camadas de siltito e folhelho no talude, reduziu-se o valor de coesão proposto por Alonso (2010) que era de 100 kPa para 40 kPa. Arbitrou-se este valor pois estas camadas tendem a desagregar-se mais rapidamente, formando uma reentrância na superfície. Esta situação também foi apontada em estudo semelhante elaborado por Oliveira (2019) ao analisar um talude no município de Joinville (SC), onde concluiu que o solo siltoso do local apresentava valores menores de coesão do que as referências bibliográficas consultadas.

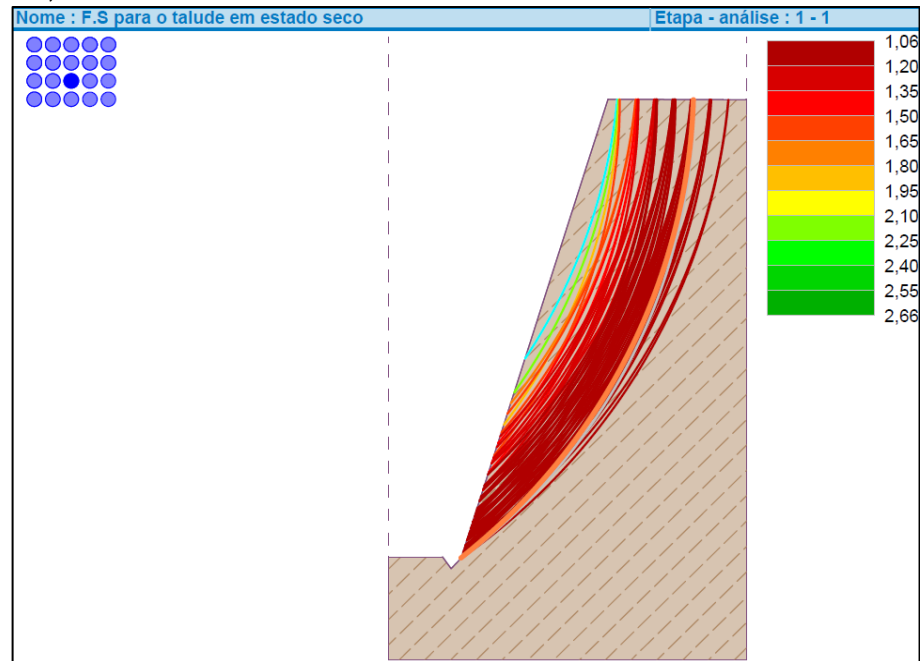
Tabela 6: Resultados de coesão, peso específico e ângulo de atrito interno

Número de Golpes ( $N_{spt}$ )	Coesão (kPa)	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )	Ângulo de atrito interno $\phi$ (°)
30	40	21	40

Fonte: Autor (2020)

De posse dos parâmetros do solo efetuou-se a modelagem matemática no software GEO5®, obtendo-se um fator de segurança (F.S) de 1,06 para o talude em estado seco, conforme Fig. 11.

Figura 11: Determinação do F.S para o talude rodoviário do km 06, em estado seco.



Fonte: Autor (2020).

Os resultados obtidos estão expressos na Tab. 7:

Tabela 7: Resultados da verificação da estabilidade do talude em estado seco pelo método de *Bishop*

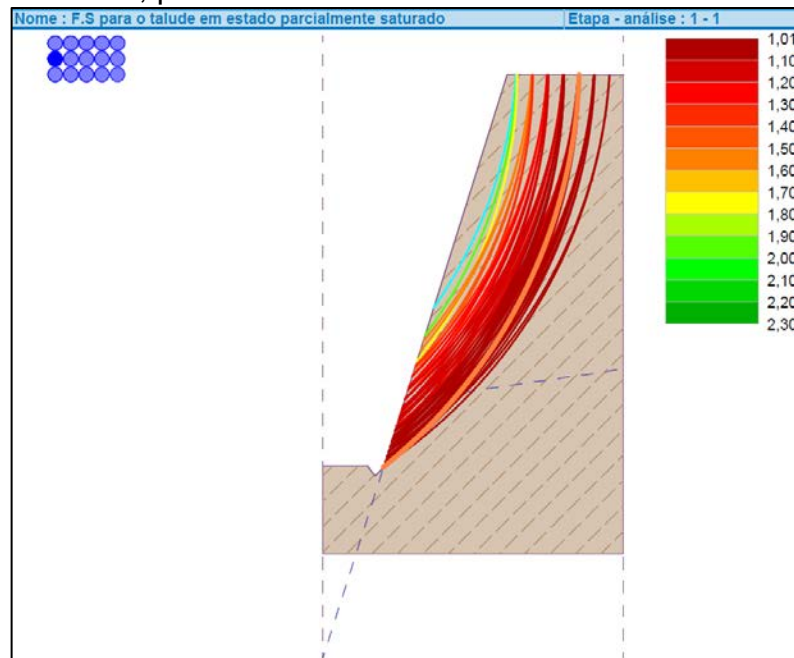
Soma de forças ativas - $F_a$	2042,87 kN/m
Soma de forças passivas - $F_p$	2159,66 kN/m
Momento de deslizamento - $M_a$	68701,56 kN/m
Momento resistente - $M_p$	72629,34 kN/m
Fator de segurança – F.S.	1,06
Estabilidade do talude	Não verifica

Fonte: Autor (2020)

Entretanto, em dias de intensa pluviosidade como na ocorrência registrada pela Defesa Civil Municipal de Criciúma em 08/09/2020, foi possível verificar que há

interferência do nível do lençol freático sobre o talude rodoviário estando o mesmo a 5,00 metros de altura, sendo realizada a modelagem matemática também para este cenário, obtendo-se um F.S de 1,01, considerando-se que o solo encontrava-se parcialmente saturado, sendo representados na Fig. 12.

Figura 12: Determinação do F.S para o talude rodoviário do km 06, parcialmente saturado.



Fonte: Autor (2020).

A Tab. 8 expressa os resultados obtidos, considerando as condições saturadas do solo:

Tabela 8: Resultados da verificação da estabilidade do talude em estado parcialmente saturado pelo método de *Bishop*

Soma de forças ativas - $F_a$	2063,54 kN/m
Soma de forças passivas - $F_p$	2090,89 kN/m
Momento de deslizamento - $M_a$	69396,77 kN/m
Momento resistente - $M_p$	70316,70 kN/m
Fator de segurança – F.S.	1,01
Estabilidade do talude	Não verifica

Fonte: Autor (2020)

Neste sentido, verificou-se que nas duas simulações realizadas o talude rodoviário apresentou um F.S abaixo do normatizado pela NBR 11.682 (ABNT, 2009), sendo o valor recomendado  $\geq 1,5$ .

O talude da pista oeste apresenta condições geométricas inadequadas, apresentando problemas de erodibilidade, em virtude da intemperização das camadas de siltito e folhelho, tendendo a desagregarem-se mais rapidamente, causando o entupimento do sistema de drenagem superficial, principalmente as canaletas de crista, que foram construídas no topo do talude com a função de interceptar o fluxo de água superficial, evitando assim, que este fluxo atinja a superfície do talude e conseqüentemente iniba sua erosão.

Destaca-se que esta tendência de desagregação nos taludes de cortes dos folhelhos sílticos argilosos da Formação Palermo já haviam sido detectadas no projeto executivo proposto por Prosul (2011), entretanto, as manutenções preventivas ou corretivas não vêm ocorrendo de maneira rotineira na via.

A Fig. 13 apresenta a canaleta de crista e de pé do talude com entupimento por falta de manutenção preventiva.

Figura 13: Canaletas de crista (esquerda) e de pé do talude (direita) com entupimento do sistema de drenagem superficial, contribuindo e acelerando os processos erosivos.



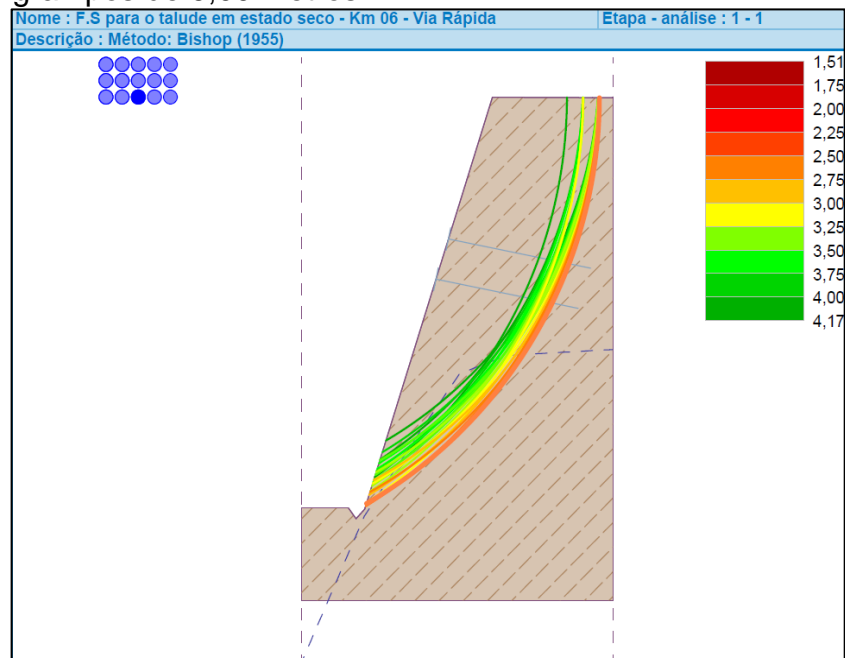
Fonte: Autor (2020).



Sob este ponto de vista, Roesner (2015) afirma ainda que as hipóteses assumidas em uma retroanálise por Equilíbrio Limite para um talude rompido são: a existência de uma superfície de ruptura bem definida; a massa de solo poder-se encontrar em situação de ruptura iminente e o fator de segurança ao longo de toda a superfície é igual à unidade.

Neste sentido, visando atender a norma 11.682 (ABNT, 2009), sugere-se a implantação de dois grampos de 9,00 metros de comprimento com 1,00 metro de espaçamento e diâmetro dos grampos de 400 mm, com resistência a tração de 500 Mpa, para assim obter o fator de segurança acima de 1,5, recomendado pela norma ABNT NBR 11.682:2009. A Fig. 14 ilustra o modelo calculado no *software* GEO5®.

Figura 14: Estabilidade do talude após implantação de dois grampos de 9,00 metros.



Fonte: Autor (2020).

## 5 CONCLUSÕES

Com as análises dos dados realizadas foi possível verificar que o fator de segurança encontrado apresenta-se com baixo grau de segurança, quando comparado com a norma 11.682 (ABNT, 2009).

Estes resultados requerem que a área seja mantida em observação e monitoramento, recomendando-se ainda o emprego de técnica de grampeamento de solo associada com a manutenção preventiva dos dispositivos de drenagem superficial, de maneira a captar e conduzir o escoamento superficial de montante de forma adequada, evitando que o mesmo se dê sobre a superfície do talude. Este procedimento tem por finalidade minimizar o risco de surgimento de novos processos erosivos.

Com relação as consequências de se manter a instabilidade do talude nas atuais condições pode-se afirmar que a mesma continuará a causar o entupimento do sistema de drenagem superficial, podendo invadir a pista de rolamento oeste, causando o comprometimento do fluxo seguro de pessoas e veículos ao longo da via, podendo vir a gerar a paralisação do tráfego nesta pista ou até mesmo acidentes.

## REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. **Exercícios de Fundações**, São Paulo: Edgard Blucher. 2010

AUGUSTO FILHO, Oswaldo. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**, *In*: Conferência brasileira sobre estabilidade de encostas. Anais... Rio de Janeiro, v.2. p. 721-733, 1992.

AUGUSTO FILHO, Oswaldo. **Cartas de risco a escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela**. São Paulo, 1994. 167p. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico: Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 35. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682: Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, p. 33. 2009.

BARBOSA, Lucas Daldegan; DIAS, Mateus Bassoli. **Rotina para Análise de Estabilidade de Taludes via Software Macstars 2000**. 2018. 142 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11365/1/CT\\_COECI\\_2018\\_2\\_10.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11365/1/CT_COECI_2018_2_10.pdf). Acesso em: 21 abr. 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco**. Brasília, DF, 2006. 122p.

BISHOP, A. W. ***The Use of Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes***. Géotechnique, v. 05, n. 01, p. 7 – 17, 1955.

CALLE, J. A. C. **Análise de Ruptura de Talude em Solo não Saturado**. 156f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2000.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: vol. 2 – Mecânica das rochas. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações. Fundamentos**. 6º edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Volume 1, 1988.

Defesa Civil Municipal de Criciúma. SANTA CATARINA. Dioni Borba. **Movimentos de Massa na Via Rápida**. 2020. Disponível em: <https://www.criciuma.sc.gov.br/defesacivil/#noticias>. Acesso em: 09 set. 2020.

DREW. D. **Processos Interativos Homem-Meio Ambiente**. São Paulo, Difel, 1986.

DYMINSKI, Andréa Sell. **Noções de Estabilidade de Taludes e Contenções**. 2008. Disponível em: <http://www.cesec.ufpr.br>. Acesso em: 21 mai. 2020.

FERNANDES, Gilberto. **Caracterização geológico-geotécnica e propostas de estabilização da encosta do Morro do Curral** – Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto. 2000. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

FIORI, Alberto Pio; CARMIGNANI, Luigi. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. 2. ed. Curitiba: Ed.UFPR, 2009.

GERSCOVICH, Denise M. S. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 169 p.

GEO5: **Módulo Estabilidade de Taludes**. Versão 2020.38 [S.l.]: Fine Software, 2020. Disponível em: <http://www.finesoftware.com.br>. Acesso em: 20 set 2020.

GODOY, Nelson Silveira De. **Fundações: Notas de aula**, Curso de Graduação. São Carlos, São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1972.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUESSER, Luis Henrique. **Elaboração do mapa geotécnico preliminar e mapa de áreas suscetíveis a movimentos de massa do município de Antônio Carlos-SC.** Trabalho de Conclusão de Curso, 142f. Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.** Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo, 1993.

HIGHLAND, Lynn M; BOBROWSKY, Peter. **O Manual de Deslizamento: Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos.** U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2008.

KOBIYAMA, Masato *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Curitiba: Organic Trading, 2006.

MASSAD, Faíçal. **Obras de terra: curso básico de geotecnia.** 2ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MATTOS, Kelly Cristina Andrade. **Processos de Instabilização em taludes rodoviários em solos residuais arenosos:** estudo na rodovia Castello Branco (SP 280), km 305 a 313.. 2009. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

OLIVEIRA, Roberta Duarte de. **Estudo e Análise da Estabilidade de um Talude no Município de Joinville/Sc.** 2019. 140 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/handle/12345/7528>. Acesso em: 19 out. 2020.

PINTO, Roberto Carlos; PASSOS, Everton; CANEPARO, Sony Cortese. **Classificação dos Movimentos de Massa Ocorridos em Março de 2011 na Serra da Prata, Estado do Paraná.** Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Maringá, v. 4, n. 1, p. 3-27, 2012. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geoinga/article/view/49152/751375140347>. Acesso em: 21 abr. 2020.

PINHEIRO, Rinaldo José Barbosa. **Estudo do comportamento geomecânico de perfis oriundos de rochas sedimentares da formação Rosário do Sul.** 1991. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/118552/000062591.pdf?sequence=1>. Acesso em: 18 nov. 2020.

PROSUL (Santa Catarina). Diretoria de Planejamento e Projetos do Deinfra. **Projeto de Engenharia de Implantação e Pavimentação da Via Rápida: Criciúma - BR-101: Fase de Projeto Final de Engenharia :: Parte 2 :: Projeto Executivo.** 1.1 Florianópolis: Prosul, 2011. 309 p.

QUEIROZ, Rudney C. **Geologia e geotecnia básica para engenharia civil**. São Carlos: RiMa, 2009. 406p.

ROESNER, Fernando John. **Retroanálise e proposta de estabilização de um talude da rodovia SC-435**. 2015. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Engenharias da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015. Disponível em:  
<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/133869>. Acesso em: 20 set. 2020.

SELBY, M. **Hillslope Materials and Processes**. Oxford University Press, Oxford, 289p. 1993.

ZHANG, H. **Organic matter incorporation affects mechanical properties of soil aggregates**. Soil Tillage Res, v.31, 1994.