

Avaliação de uma Metodologia de Retroanálise para Obtenção de Parâmetros Médios de Resistência dos Solos em Taludes

André Luis Meier
Estudante, UFPR, Curitiba, Brasil, de.luis.meier@gmail.com

Larissa Krüger Tabalipa
Professora, UDESC, Jaraguá do Sul, Brasil, eng.larissakt@gmail.com

RESUMO: Ao se analisar a ruptura de um talude através da retroanálise, a determinação dos parâmetros de resistência médios depende da escolha do profissional responsável pelo projeto dentre as várias opções que satisfazem as condições de contorno, o que faz surgir a necessidade de uma metodologia capaz de determinar os valores de coesão e ângulo de atrito que melhor representam as características do local durante o evento. Este trabalho tem por objetivo aplicar o método de retroanálise proposto por Gomes (2003) em dois estudos de caso reais de rupturas de taludes, localizados nos municípios de Palhoça/SC e Apiúna/SC, para determinação dos parâmetros médios de resistência do solo local e comparar os resultados obtidos e os dados de ensaios de cisalhamento direto dos materiais que compõem os taludes estudados. Com os resultados, observou-se que a metodologia proposta obteve um desempenho satisfatório, pois apontou valores compatíveis com os tipos de solo estudados, contudo, a diferença nas características do método de retroanálise e do ensaio de cisalhamento direto impossibilitaram uma comparação de resultados mais precisa para os dois casos.

PALAVRAS-CHAVE: Retroanálise, Estabilidade de Taludes, Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento.

ABSTRACT: When analyzing the rupture of a slope by means of the back-analysis, the determination of the average strength parameters depends on the choice of the professional responsible for the project among the several options that satisfy the boundary conditions, which raises the need for a methodology capable of determining the cohesion and friction angle values that best represent the characteristics of the site during the event. The aim of this work is to apply the back-analysis method proposed by Gomes (2003) in two real case studies of slope failures, located in the cities of Palhoça/SC and Apiúna/SC, to set the average strength parameters of the local soil and to compare the results obtained and the data of direct shear tests of the materials that compose the slopes studied. With the results, it was observed that the proposed methodology obtained a satisfactory performance, since it indicated values compatible with the soil types studied, however, the difference in the characteristics of the back-analysis method and the direct shear test prevented a more accurate comparison of results for the two cases.

KEYWORDS: Back-analysis, Slope Stability, Shear Strength Parameters.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Maia, Sayão e Salles (2011), a retroanálise é uma análise da estabilidade de um talude rompido com o intuito de se determinar os parâmetros geotécnicos dos materiais, as condições de carregamento e as características geométricas que provocaram a ruptura. Guidicini e Nieble (1984) complementam que a retroanálise é um método rápido e de baixo custo para se obterem os dados de resistência ao cisalhamento, que, por sua vez, são úteis na elaboração de projetos de estabilidade de taludes que sofreram processos de ruptura.

Entretanto, na maioria dos casos, as informações sobre as condições de um movimento de massa são limitadas, o que diminui a confiabilidade dos parâmetros de resistência ao cisalhamento calculados (TANG; STARK; ANGULO, 1999). Além disso, a determinação dos parâmetros de resistência médios de um talude instabilizado depende fortemente da experiência do profissional responsável pelo projeto, pois esse escolhe um conjunto de valores dentre as várias possibilidades de solução do problema. Esse fato destaca a necessidade de informações mais precisas sobre as características geométricas do terreno e a aplicação de uma metodologia de retroanálise capaz de determinar o conjunto de parâmetros que melhor representam a ruptura ocorrida (GOMES, 2003).

Este trabalho tem por objetivo aplicar o método de retroanálise proposto por Gomes (2003), para escorregamentos circulares, em dois estudos de caso reais de rupturas de taludes, localizados nos municípios de Palhoça/SC e Apiúna/SC, para determinação dos parâmetros médios de resistência do solo local e realizar uma comparação entre os resultados obtidos e dados de ensaios de cisalhamento direto de amostras dos materiais que compõem os taludes estudados.

2 METODOLOGIA

O método de retroanálise que foi elaborado por Gomes (2003) visa resolver o problema de estabilidade de talude de forma analítica, através de métodos determinísticos. O processo se inicia com a estimativa da geometria interna e externa do talude, da posição da superfície de ruptura e das condições de saturação do maciço no instante do colapso, obtidos através da caracterização da área de estudo e da campanha de investigação geotécnica.

O segundo passo do método é a determinação do procedimento de análise de estabilidade, sendo escolhido para este estudo, por se tratar de uma ruptura circular, o método de Bishop simplificado, devido a sua boa precisão e facilidade de implementação em planilhas eletrônicas. A expressão do método, contudo, foi modificada, de forma que a coesão seja designada em função do ângulo de atrito e do fator de segurança, cujo valor foi fixado como unitário, conforme indicado pelas Equações 1 e 2:

$$c' = \frac{FS \cdot \sum W_i \cdot \sin(\alpha_i) - \sum \left[(W_i \cdot u \cdot b) \cdot \operatorname{tg}(\Phi') \cdot \frac{1}{m_\alpha} \right]}{\sum b \cdot \frac{1}{m_\alpha}} \quad (1)$$

$$m_\alpha = \cos(\alpha) \cdot \left[1 + \frac{\operatorname{tg}(\Phi') \cdot \operatorname{tg}(\alpha)}{FS} \right] \quad (2)$$

onde FS é o fator de segurança; W o peso próprio do solo; α o ângulo entre a base da fatia e a horizontal; u a poropressão; b a largura da fatia; Φ' o ângulo de atrito interno efetivo; c' a coesão real efetiva.

Prossegue-se então para a determinação da curva $c = f(\Phi)$ através do cálculo da Equação 1 para diversos valores de ângulo de atrito, de grau em grau, a partir de zero, até uma medida limite de Φ na qual a coesão apresente um valor próximo à zero, mas nunca igual ele. Segundo Vargas (1974, *apud* GOMES, 2003), isso ocorre devido aos maciços sem coesão apresentarem superfícies de ruptura planas, o que não ocorre nos casos estudados, que tratam de rupturas circulares.

A partir da curva $c = f(\Phi)$ são obtidos diversos pares de coesão e ângulo de atrito que resultam num fator de segurança unitário para as condições de geometria, superfície de ruptura e poropressões do talude.

São realizadas, então, análises de estabilidade, através de um software, para cada par de parâmetros da curva $c = f(\Phi)$ com o intuito de determinar seus fatores de segurança críticos.

O software utilizado na pesquisa foi o Slide 6.0, da empresa Rocscience, através do uso da licença gratuita de 30 dias para teste. Para realizar a análise de estabilidade foi necessário importar a geometria e a posição do nível d'água (NA) do talude do software AutoCAD 2018 (desenvolvido pela empresa Autodesk e utilizado por meio de licença estudantil), determinar os tipos de solo correspondentes a cada camada, com suas respectivas propriedades (peso específico e peso específico saturado), parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito) e critério de ruptura, sendo adotada, nesse estudo, a envoltória de Mohr-Coulomb. Foi também definido no programa o método de cálculo de estabilidade de Bishop Simplificado com divisão em 25 fatias (valor padrão do software).

Por fim, seleciona-se dentre os fatores de segurança críticos gerados o que mais se aproxima do valor unitário, pois é aquele que possui a superfície de ruptura mais semelhante graficamente à superfície de ruptura real, o que indica, teoricamente, que ele corresponde ao par de parâmetros de resistência que melhor representa os parâmetros médios equivalentes do talude no instante da ruptura. As demais superfícies de ruptura, por possuírem fatores de segurança menores, proporcionariam falhas diferentes da ruptura ocorrida em campo. É possível notar, ainda, que quanto mais próximo do valor unitário for o pico da curva FS crítico, mais precisos foram os dados do levantamento de campo (GOMES, 2003).

3 RETROANÁLISE DA RUPTURA SITUADA EM PALHOÇA

O primeiro talude estudado se localiza no município de Palhoça/SC. Possui cerca de 20 metros de altura e inclinações da ordem de 1V:1,5H, obtidos por meio de planta topográfica. Esse talude foi executado para implantação de uma via, sendo constituído predominantemente por aterro, contudo, sem o controle de grau de compactação. Na crista do talude há uma rua pavimentada, com a presença de meio-fio, condição que impede o fluxo superficial de águas à montante sobre o talude. No entanto, a caixa de drenagem (boca-de-lobo) existente na crista do talude apresentou vazamentos e foi vedada. Essa informação indica que é provável que o processo de instabilização teve origem pela infiltração da água proveniente da caixa na crista do talude. Essa condição, aliada a um período de constante precipitação, podem ter gerado pressões neutras e saturação do solo, reduzindo sua resistência e sua capacidade de carga, levando à consequente ruptura. Foram também observadas trincas no pavimento asfáltico, indicando a área do talude com mobilização de tensões de tração e possivelmente, a zona de risco de instabilidade de futuros escorregamentos rotacionais profundos (SUOLI, 2015).

Com o intuito de cadastrar as informações de campo do corpo do talude e a localização de pontos de interesse, foi realizado o levantamento planialtimétrico da área de estudo em julho de 2015 (Figura 1), que apresenta as curvas de nível do local, as redes de drenagem e esgoto, as seções de estudo e as locações dos furos de sondagem (SP) e da coleta das amostras indeformadas (AM). Com vistas a caracterizar o maciço do talude, foram disponibilizados para consulta 06 (seis) laudos de sondagem à percussão (SPT), 01 (um) ensaio de cisalhamento direto e 02 (dois) ensaios de caracterização.

Conforme Suoli (2015), o procedimento do ensaio de cisalhamento foi realizado na AM-01, na condição consolidada e drenada, de forma submersa, sendo a amostra cisalhada a uma velocidade de 0,307 mm/min, o que resultou num intercepto coesivo de 7,8 kN/m² e em um ângulo de atrito interno efetivo de 36,2°. As amostras deformadas submetidas aos ensaios de caracterização apresentaram resultados semelhantes, sendo classificadas como solo siltoso (tipo A-4), através da classificação da Highway Research Board - HRB, e silte arenoso (SM), por meio do Sistema de Classificação Unificado - SUCS, contudo, nessa pesquisa foi utilizada a identificação tátil visual obtida no ensaio SPT, que o caracteriza como silte argiloso.

Com base nos elementos obtidos a partir das vistorias, em conjunto com as investigações geotécnicas (sondagens), topografia, dados da geologia e das estruturas mapeadas em campo, Suoli (2015) estimou um modelo geológico-geotécnico representativo, que foi utilizado nas análises de estabilidade. O modelo contempla uma camada superior classificada como aterro e argila, com NSPT inferior a 10. Abaixo desta, ocorre uma camada de silte argilo arenoso, com NSPT superior a 10, com resistência crescente com a profundidade, caracterizando solo residual. Na porção inferior ocorre o substrato mais resistente, classificado como alteração de rocha. Nas sondagens realizadas no corpo e pé do talude foi identificada,

ainda, uma camada superficial pouco resistente, com NSPT inferior a 2, que foi classificada como material escorregado. O nível d'água (NA) não foi identificado nas sondagens, portanto, sua profundidade foi estimada na interface entre as camadas de solo silte argiloso e alteração de rocha, com uma elevação na região central e no pé do talude devido à observações de campo. A Figura 2 apresenta o modelo geológico-geotécnico da Seção A do talude após a ocorrência de um escorregamento circular.

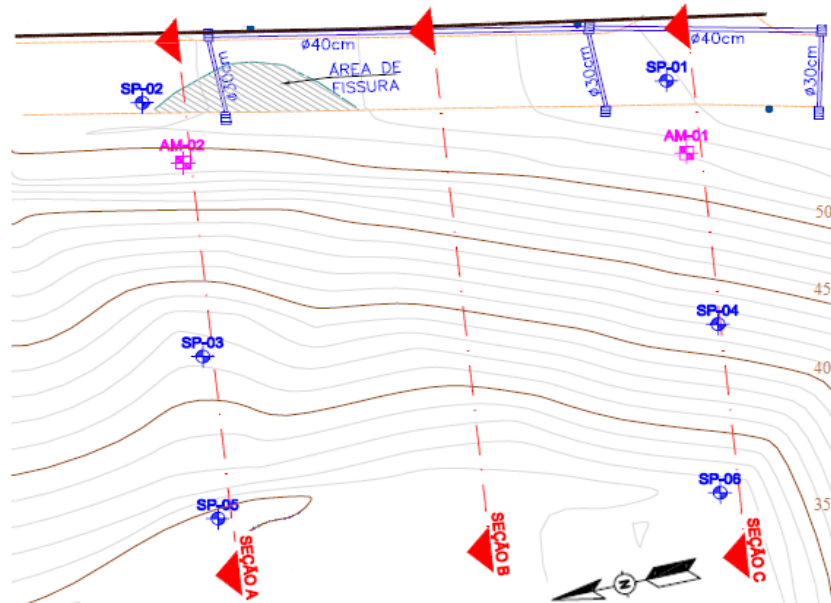


Figura 1. Levantamento planialtimétrico da área (adaptado de SUOLI, 2015).

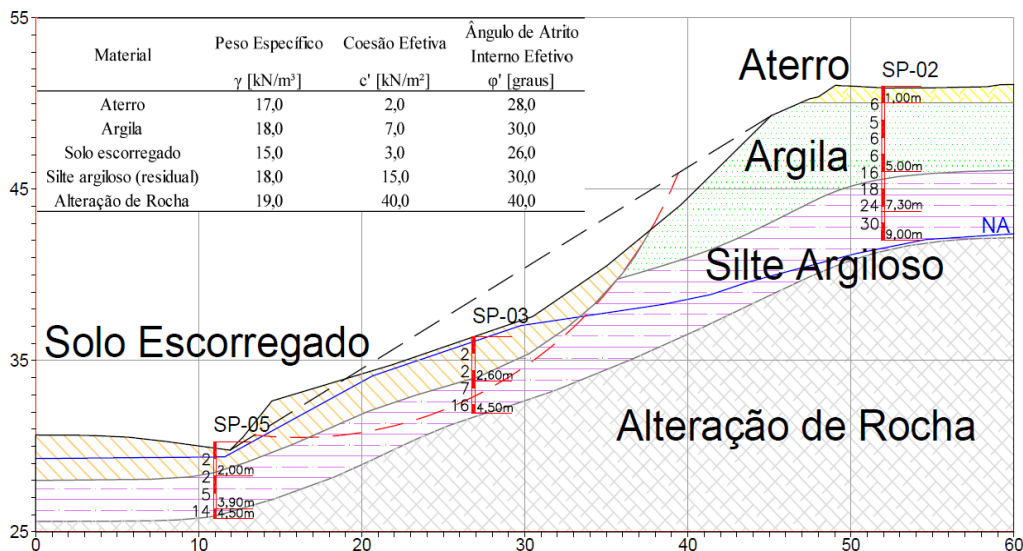


Figura 2. Modelo geológico-geotécnico da Seção A (adaptado de SUOLI, 2015).

Os parâmetros do solo adotados foram os propostos por Suoli (2015), que, por sua vez, tiveram como base os ensaios geotécnicos para as camadas de argila e silte argiloso, enquanto que para os outros solo foi utilizadas a experiência do projetista em materiais semelhantes. A Figura 2 também apresenta os valores de peso específico, coesão efetiva e ângulo de atrito interno efetivo de cada material, contudo, para os solos compostos por argila e silte argiloso (solo residual) os parâmetros de coesão e ângulo de atrito foram usados apenas para comparação com os resultados obtidos através da retroanálise, enquanto que os parâmetros do solo escorregado não foram utilizados.

A partir do modelo geológico-geotécnico elaborado e nas informações sobre a inclinação inicial do talude, foi possível desenvolver um perfil para a seção do talude em estudo no momento anterior à ruptura.

Neste modelo o talude apresenta uma inclinação próxima a 1V:1,5H, sem a presença de material escorregado, contando apenas com as camadas de aterro, argila e silte argiloso (solo residual) no corpo do talude. A posição da superfície de ruptura foi estimada através da comparação entre o perfil do talude nos períodos anterior e posterior à ruptura, na qual é possível identificar a interface entre o solo escorregado e o silte argiloso (solo residual) e entre o solo escorregado e o argiloso, o que indica, de forma aproximada, a localização da superfície de ruptura. A ruptura apresenta seu centro nas coordenadas (16,14; 55,77) e raio de 25,26 metros. A inclinação original do talude e a provável região de ruptura estão representados na Figura 2 com linhas tracejadas. A região da superfície de ruptura foi dividida, então, em fatias para aplicação do método de Bishop simplificado.

Aplicando-se a metodologia proposta por Gomes (2003) em uma planilha eletrônica, foi obtida a curva $c = f(\Phi)$ para um fator de segurança unitário (Figura 3). O intervalo de ângulo de atrito que satisfaz as condições de contorno compreende valores de 0° a 34° , caracterizando uma extensa gama de possibilidades. A partir da aplicação no software Slide 6.0 do perfil do talude anterior à ruptura com os valores dos pares de coesão e ângulo de atrito da curva $c = f(\Phi)$ e os parâmetros geotécnicos dos materiais, foi gerada a curva FS crítico (Figura 4).

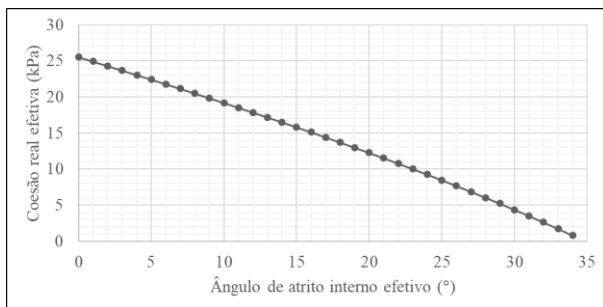


Figura 3. Curva Φ' versus c' (MEIER, 2018).

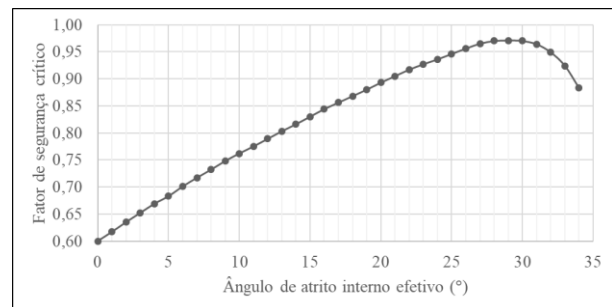


Figura 4. Curva FS crítico (MEIER, 2018).

A curva FS crítico apresentou um pico cujo valor foi 0,971, para o qual a ruptura teve centro nas coordenadas (14,75; 53,25) e raio de 23,63 metros, geometricamente semelhante à posição da provável superfície de ruptura anteriormente estimada, conforme a Figura 5. De acordo com a metodologia proposta, pode-se concluir que o par de parâmetros médios que melhor representa as condições do talude no instante da ruptura possui os valores de $c' = 5,21 \text{ kN/m}^2$ e $\Phi' = 29,0^\circ$.

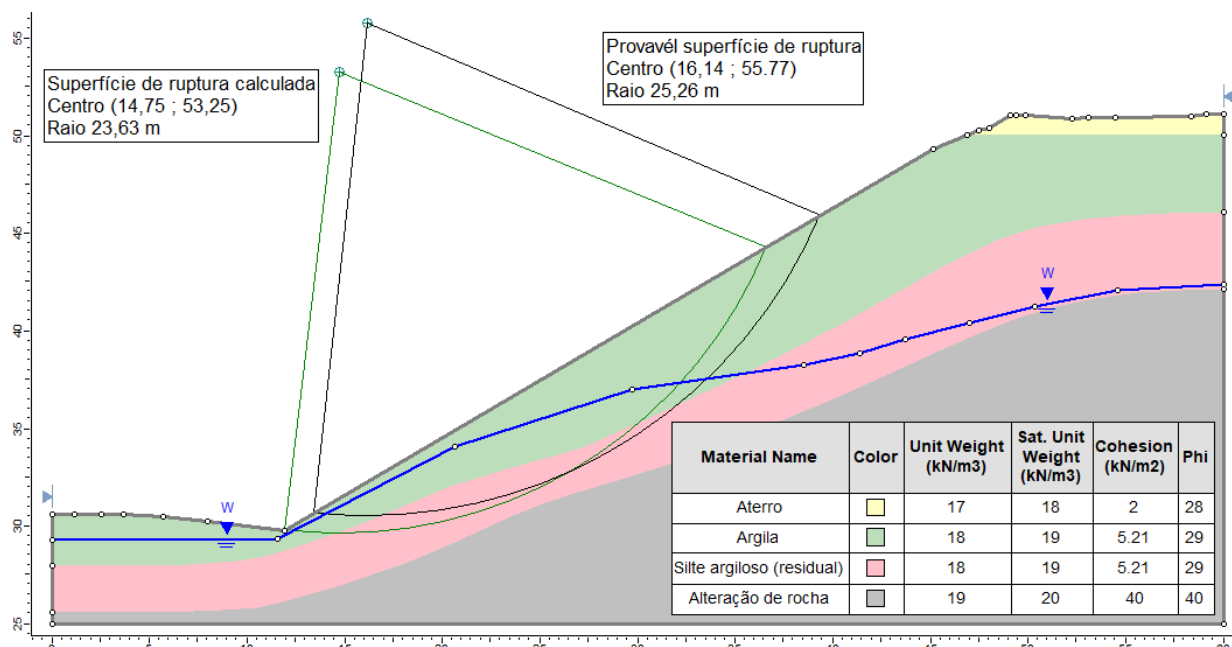


Figura 5. Comparação das superfícies de ruptura (MEIER, 2018).

4 RETROANÁLISE DA RUPTURA SITUADA EM APIÚNA

A segunda região de estudo se localiza no município de Apiúna/SC, na qual existe um talude com cerca de 20 metros de altura, com bancada intermediária, e, acima deste, uma encosta natural com desnível de 20 metros. A inclinação das duas porções do talude é da ordem de 1V:1H, enquanto que a encosta natural possui uma declividade de aproximadamente 1V:1,5H. O talude foi executado em 2009 para a implantação do pátio de transformadores da Usina Hidrelétrica de Salto Pilão, contudo, em 2012, foi necessária a construção de um muro de gabião na base do talude inferior devido a sinais de instabilização. Em 2014, em razão da ocorrência de novos sinais de instabilização foi iniciado o monitoramento da área instável através de inclinômetros.

O levantamento planialtimétrico cadastral da área foi realizado em julho de 2014, sendo apresentado na Figura 6. Na planta são identificadas as curvas de nível, os taludes, as edificações existentes, as canaletas de drenagem, as fendas observadas no solo, o muro de gabião, a localização das seções de estudo e a posição dos marcos superficiais (MS), piezômetros (PZ), inclinômetros (IN), sondagens mistas (SM), sondagens à percussão (SP) e da coleta das amostras dos ensaios de cisalhamento direto (AM).

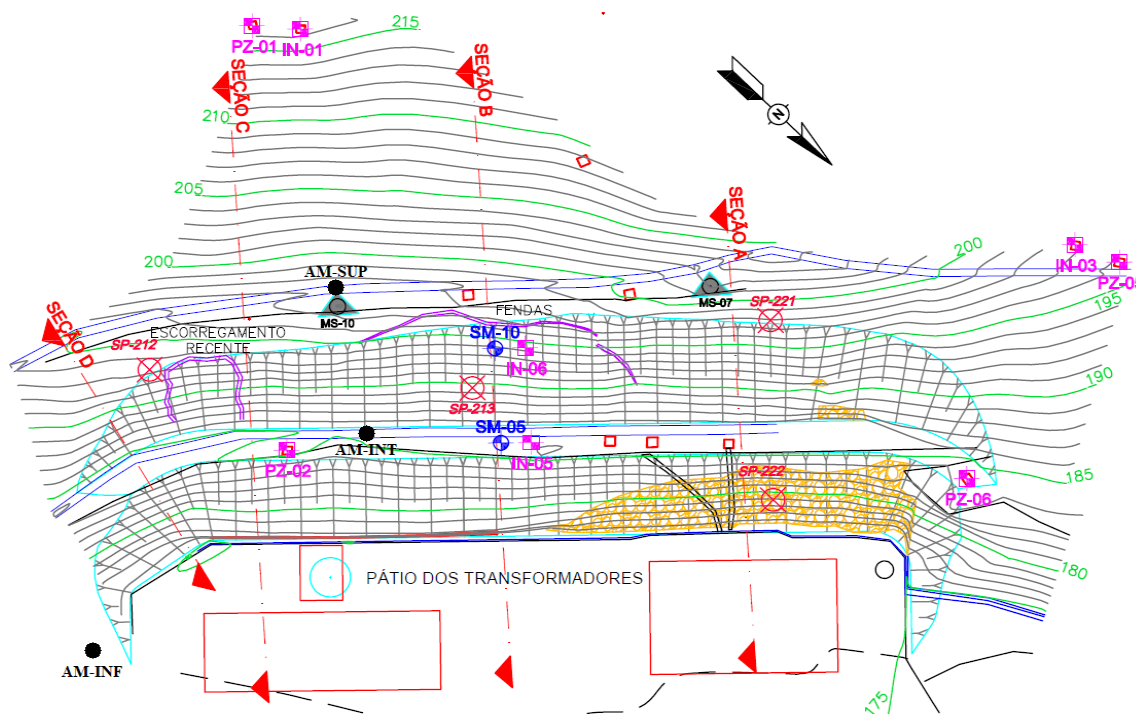


Figura 6. Levantamento planialtimétrico da área (adaptado de SUOLI, 2016).

Suoli (2016) identificou os principais agentes favoráveis aos movimentos e deformações observados no talude, destacando-se a incompatibilidade entre a inclinação do talude e a resistência ao cisalhamento do solo, a deficiência na compactação do reaterro no tardo do muro de gabião e a ocorrência de infiltrações superficiais por chuvas intensas, com a contribuição eventual de infiltrações por trincas em canaletas de drenagem. Além disso, foram identificados afloramentos graníticos com descontinuidades de mergulho preferencial na direção para o trecho em solo, o que pode acarretar em subpressões na base do talude devido ao direcionamento de fluxo subsuperficial em épocas chuvosas.

A caracterização do maciço se deu através da realização de sondagens e coleta de amostras indeformadas, que foram disponibilizados para consulta e elaboração do presente trabalho. Durante a fase de projeto do pátio de transformadores, em 2009, foram realizadas 04 (quatro) sondagens à percussão (SPT), enquanto que, em 2014, após sinais de instabilidade do talude, foram executadas 02 (duas) sondagens mistas. Em 2012, para a elaboração de ensaios de cisalhamento direto, foi realizada a coleta de 03 (três) blocos indeformados. Em 2017, foram iniciadas obras para estabilização da área, por meio de cortinas

atirantadas, solo grampeado, solução em rocha, entre outras. Após a conclusão das obras de estabilização do talude, foram realizadas outras 02 (duas) coletas de amostras indeformadas na região de solo residual.

Não foi possível a obtenção do relatório do ensaio de cisalhamento direto realizado em 2012, contudo, para os ensaios realizados após a conclusão das obras de estabilização foram disponibilizadas as condições de execução, as quais são que a amostra é inundada e pré adensada, a velocidade de carregamento é de 0,70 mm/min e as tensões normais aplicadas 50, 100 e 150 kN/m². Os resultados de todos os testes são demonstrados na Tabela 1.

Amostra	Peso Específico	Coesão Efetiva	Ângulo de Atrito Interno Efetivo	Umidade	Massa Específica Real dos Grãos
	γ [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	ϕ' [graus]	w [%]	Gs [g/cm ³]
AM-INF (2012)	4,71	18,3	42,9	-	-
AM-INT (2012)	0,57	19,2	44,4	-	-
AM-SUP (2012)	16,90	11,5	25,8	-	-
AM-01 (2017)	-	10,0	29,0	28,2	2,67
AM-02 (2017)	-	10,0	30,0	32,1	2,63

Tabela 1. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto de Apiúna.

O monitoramento das movimentações do maciço foi feito através da instalação e leitura de 06 (seis) inclinômetros. Para o talude em estudo foram utilizadas as leituras dos deslocamentos medidos entre novembro de 2014 e maio de 2015 pelo inclinômetro 06, possibilitando a determinação da profundidade da superfície de ruptura naquele ponto na posição de, aproximadamente, 5,5 metros.

Com base nos elementos obtidos a partir das vistorias, em conjunto com os estudos anteriores, investigações geotécnicas (sondagens), topografia, dados da geologia e das estruturas mapeadas em campo, Suoli (2016) estimou um modelo geológico-geotécnico representativo, que foi utilizado nas análises de estabilidade, apresentado na Figura 7. O modelo da Seção BB, escolhida para esse estudo devido ao escorregamento circular ocorrido em seu talude superior, possui uma camada de argila superficial, possivelmente coluvionar, com NSPT aproximadamente igual a 9, seguida de uma camada de solo residual maduro, com NSPT superior a 20. Acima do muro de gabião, na base do talude inferior, contudo, foi indicada uma camada de reaterro. Abaixo dessas, ocorre uma camada de solo residual jovem (saprólito), cuja recuperação nas sondagens mistas foi inferior a 15%. Na sequência foi encontrada uma camada cuja recuperação superior a 45%, sendo classificada, então, como rocha sã fraturada. O nível d'água (NA) foi adotado paralelo a topografia e com a profundidade conforme indicado nas sondagens mistas.

O perfil do talude utilizado na retroanálise foi o proposto por Suoli (2016), conforme a Figura 7, por contar com a topografia anterior ao movimento de massa. Os parâmetros geotécnicos adotados para os solos do talude foram os propostos por Suoli (2016), com algumas modificações devido aos ensaios realizados posteriormente ao estudo, que utilizou como base os estudos anteriores, os ensaios realizados em amostras indeformadas e a experiência do projetista em materiais semelhantes. Também na Figura 7 estão apresentados os valores de peso específico, coesão efetiva e ângulo de atrito interno efetivo de cada material, contudo, para as camadas de argila superficial e solo residual os parâmetros de coesão e ângulo de atrito foram utilizados apenas para comparação com os resultados obtidos através da retroanálise.

Foi observada a ocorrência de uma superfície de ruptura no talude superior, aproximadamente entre as cotas 185 e 195 metros, cuja profundidade foi estimada através das leituras do inclinômetro 06 (IN-06). A ruptura engloba solos das camadas de argila superficial e solo residual e apresenta seu centro nas coordenadas (31,96; 208,55) e raio de 22,62 metros. A região de ruptura é apresentada na Figura 7 por uma linha tracejada.

Aplicando a metodologia de Gomes (2003) em uma planilha eletrônica se obteve a curva $c = f(\Phi)$ para um fator de segurança unitário (Figura 8). O intervalo de ângulo de atrito que satisfaz as condições de contorno compreende valores de 0° a 30°, caracterizando uma extensa gama de possibilidades. Foi inserido no software Slide 6.0 o perfil do talude anterior a ruptura com os valores dos pares de coesão e ângulo de atrito da curva $c = f(\Phi)$ e os parâmetros geotécnicos dos materiais, gerando a curva FS crítico (Figura 9).

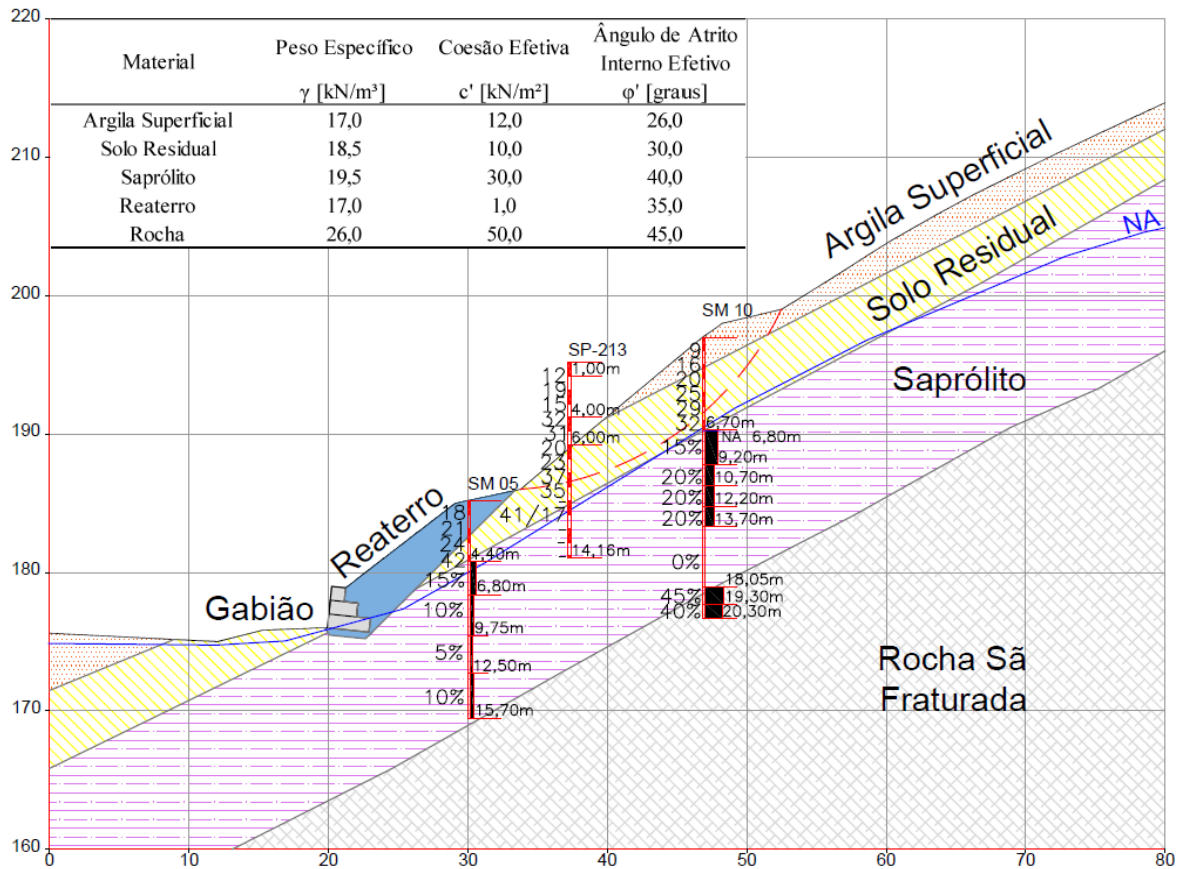


Figura 7. Modelo geológico-geotécnico da Seção BB (adaptado de SUOLI, 2016).

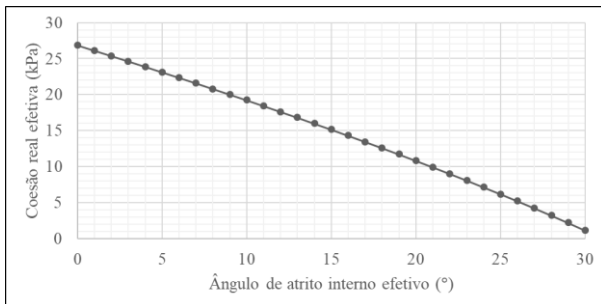


Figura 8. Curva Φ' versus c' (MEIER, 2018).

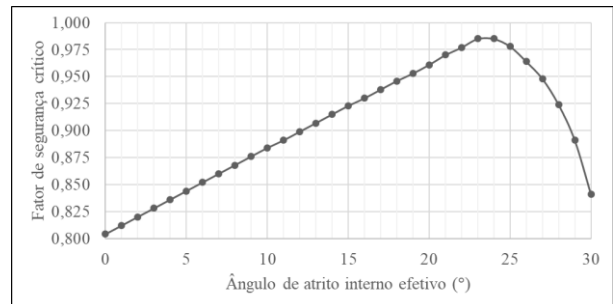


Figura 9. Curva FS crítico (MEIER, 2018).

A curva FS crítico apresentou um pico cujo valor foi 0,985, para o qual a ruptura teve centro nas coordenadas (30,25; 209,50) e raio de 23,76 metros, geometricamente semelhante à posição da provável superfície de ruptura, conforme a Figura 10. De acordo com a metodologia proposta, pode-se concluir que o par de parâmetros médios que melhor representa as condições do talude no instante da ruptura possui os valores de $c=7,14$ kN/m² e $\Phi=24,0^\circ$.

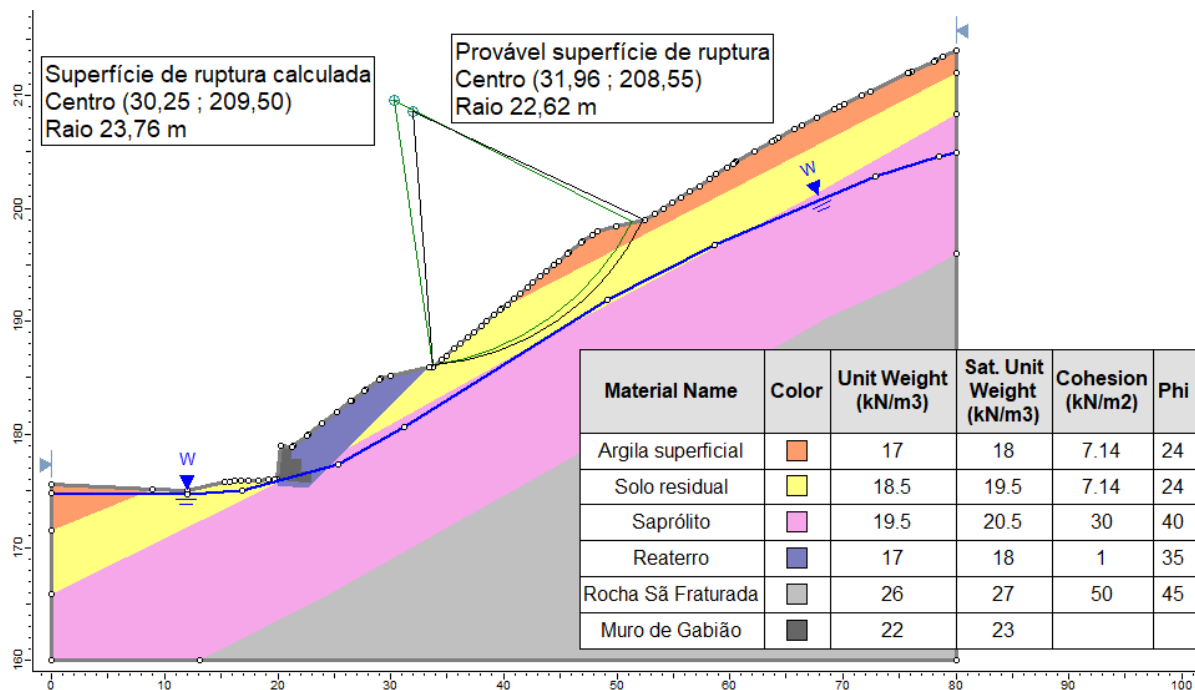


Figura 10. Comparação das superfícies de ruptura (MEIER, 2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia de retroanálise aplicada aos taludes em estudo apresentou curvas Φ' versus c' e FS crítico com comportamento próximo às descritas por Gomes (2003), no entanto, ocorreram pequenas discrepâncias entre os resultados obtidos e as condições do talude observadas em campo.

A superfície de ruptura calculada foi muito próxima à provável superfície de ruptura dos taludes, possuindo uma diferença entre os raios dos círculos de ruptura de 1,63 metros, equivalente a uma diminuição de 6,4%, para o caso de Palhoça/SC, e de 1,14 metros (diminuição de 5,0%) para o de Apiúna/SC. Uma divergência também ocorre nos fatores de segurança crítico, cujo valor obtido para o talude de Palhoça foi de 0,971, cujo valor é 0,029 inferior ao máximo teórico (1,00), ou seja, uma diferença de 2,9%, enquanto que para o talude de Apiúna o resultado obtido foi de 0,985, com uma discrepância de 0,015 (1,5%). Essas diferenças podem ter sido causadas por imperfeições no levantamento da geometria do talude, pela estimativa da posição da superfície de ruptura e do nível do lençol freático, por aproximações introduzidas pelo método de cálculo ou por aproximações numéricas, razão pela qual são indicados levantamentos mais precisos das condições do talude, contando com o apoio de medições dos índices pluviométricos nos dias anteriores ao colapso e informações colhidas sobre as características da ruptura.

Os parâmetros de resistência médios equivalentes do talude de Palhoça/SC, obtidos através da retroanálise proposta pela metodologia de Gomes, $c'=5,21$ kN/m² e $\Phi'=29,0^\circ$, apresentaram valores menores do que o resultado do ensaio de cisalhamento direto realizado na AM-01 ($c'=7,8$ kN/m² e $\Phi'=36,2^\circ$). Um comportamento semelhante foi observado para o talude de Apiúna/SC, no qual os parâmetros obtidos, $c'=7,14$ kN/m² e $\Phi'=24,0^\circ$, apresentaram valores menores, mas próximos, ao resultado do ensaio de cisalhamento direto realizado na AM-SUP ($c'=11,48$ kN/m² e $\Phi'=25,8^\circ$), que representa a camada de argila superficial, e também demonstraram grandezas inferiores aos ensaios realizados após as obras de contenção, AM-01 ($c'=10,0$ kN/m² e $\Phi'=29,0^\circ$) e AM-02 ($c'=10,0$ kN/m² e $\Phi'=30,0^\circ$), que se referem aos parâmetros da camada de solo residual.

A provável causa dessa disparidade se deve ao fato da retroanálise englobar as condições do maciço em sua totalidade e resultar em parâmetros de resistência médios, enquanto que o ensaio de cisalhamento foi realizado apenas na camada de silte arenoso no talude de Palhoça, e nos solos argilosos e residuais no caso de Apiúna, com um plano de ruptura imposto, ocasionando diferentes condições de colapso. Para uma melhor avaliação da metodologia de retroanálise é recomendável, portanto, a escolha do método de

determinação da resistência ao cisalhamento que melhor represente as condições do talude e, ainda, a realização do ensaio para os diferentes tipos de solo e planos de ruptura presentes no maciço.

Portanto, a metodologia proposta para o talude retroanalisado obteve um desempenho satisfatório e apontou resultados compatíveis com o tipo de solo estudado, contudo, a diferença nas características do método de retroanálise e do ensaio de cisalhamento direto impossibilitaram uma comparação de resultados mais precisa.

Conclui-se que a metodologia de retroanálise proposta por Gomes (2003) apresenta facilidade na obtenção dos parâmetros de resistência médios equivalentes do talude no instante da ruptura, por determinar de maneira analítica o melhor par de parâmetros que representa as condições medidas em campo. Contudo, a aplicação dessa metodologia exige precisão elevada no levantamento de informações sobre as condições do talude no instante da ruptura, algo que não é possível em alguns casos. Além disso, a experiência do projetista, aliada à investigação geotécnica, é fundamental na elaboração do modelo geológico-geotécnico que servirá de base para a utilização dessa técnica, o qual deverá ser o mais próximo possível da realidade para a obtenção de parâmetros de resistência confiáveis. Por fim, é recomendável a utilização de ensaios laboratoriais de resistência ao cisalhamento para comparação com os resultados obtido através da retroanálise, garantindo ao projetista maior confiabilidade na utilização dos parâmetros de resistência médios equivalentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gomes, C. L. R. (2003) *Retroanálise em Estabilidade de Taludes em Solo: Metodologia para Obtenção de Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 146 p.
- Guidicini, G.; Nieble, C. M. (1984) *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*, 2nd ed., Edgar Blücher, São Paulo, 216 p.
- Maia, P. C. de A.; Sayão, A. S. F. J.; Salles, R. O. (2010) Aplicação de retroanálise probabilística para avaliação da estabilidade de taludes. *Vértices*, 12 (1), p. 43-52.
- Meier, A. L. (2018) *Avaliação de uma Metodologia de Retroanálise para Obtenção de Parâmetros Médios de Resistência dos Solos em Taludes*. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, 107 p.
- Suoli - Engenharia Geotécnica (2015) *Projeto de Contenção de Taludes*, Florianópolis. Relatório Técnico. 39 p.
- Suoli - Engenharia Geotécnica (2016) *Projeto Geotécnico de Estabilização do Talude à Montante do Pátio de Transformadores*, Florianópolis. Relatório Técnico. 173 p.
- Tang, W. H.; Stark, T. D; Angulo, M. (1999) Reliability in back analysis of slope failures. *Soils and Foundations*, 39 (5), p. 73-80.