

Proposta de Contenção de Talude em Solo Grampeado Localizado na Falha de Salvador - BA

Kaio Henrique Lima de Souza
Engenheiro civil, Instituto Brasileiro de Educação Continuada, Salvador, Brasil,
eng.kaiohenrique@hotmail.com

Marcos Fábio Porto de Aguiar
Professor associado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil,
marcosfpa@hotmail.com

Luan Fontenelle Vieira Rodrigues
Engenheiro civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil,
luanfontenelle@gmail.com

Giullia Carolina de Melo Mendes
Graduanda em engenharia civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil,
giucmendes@gmail.com

RESUMO: O emprego da técnica de solo grampeado para estabilização de taludes, tem-se tornado comum no meio geotécnico devido às vantagens que este tipo de solução apresenta frente as demais, sobretudo relacionadas ao custo, velocidade e porte da obra. Dessa forma, este trabalho apresenta uma proposta de contenção em solo grampeado e a análise de estabilidade de um talude natural, localizado na cidade de Salvador/BA, o qual sofreu intervenções humanas no trecho inferior, o que tem ocasionado juntamente com outros fatores, escorregamentos e rupturas superficiais. Percebeu-se que os fatores de segurança obtidos foram próximos a 1, caracterizando o risco iminente de ocorrência de rupturas do talude. Diante das análises realizadas no dimensionamento da solução, é possível concluir que a técnica de solo grampeado, além de possuir vantagens do ponto de vista executivo, seu dimensionamento conta com um método de análise que possibilita a utilização de diferentes configurações de grampos, permitindo uma economicidade e segurança no projeto de contenção.

PALAVRAS-CHAVE: Contenção, Taludes Naturais, Solo Grampeado, Análise de Estabilidade.

ABSTRACT: The use of stapled soil technique for stabilization of slopes has become common in the geotechnical environment due to the advantages that this type of solution presents in front of the others, mainly related to the cost, speed and size of the work. Thus, this work presents a proposal for containment in stapled soil and stability analysis of a natural slope, located in the city of Salvador / BA, which has undergone human interventions in the lower section, which has caused along with other factors, landslides and surface ruptures. It was observed that the safety factors obtained were close to 1, characterizing the imminent risk of occurrence of slope ruptures. Considering the analyzes carried out in the solution sizing, it is possible to conclude that the stapled soil technique, besides having advantages from the executive point of view, its dimensioning has a method of analysis that allows the use of different configurations of staples, allowing economicity and safety in the stabilization project.

KEYWORDS: Containment, Natural Slopes, Stapled Soil, Stability Analysis.

1 Introdução

Os termos talude ou encosta natural denomina qualquer superfície inclinada que limita um maciço de solo, rocha ou ambas (solo e rocha). Distingui-se encosta natural como sendo taludes formados pela ação da natureza e taludes construídos quando apresentam ação antrópica, tais como cortes, aterros, desmatamento, entre outros (CARMIGNANI e FIORI, 2009; GERSCOVICH, 2012). Os taludes por sua vez, estão sujeitos a problema de instabilidade, seja por ações das forças gravitacionais, pelo o avanço dos processos físico-químicos de alteração dos maciços, resultando em um material menos resistente, como também por razões ambientais, econômicas, ou construtivas, quando é realizado a escavação de um talude íngreme, com ângulo superior ao projetado, comprometendo a segurança local (GERSCOVICH, 2012).

Nesse contexto, o presente trabalho propõe o dimensionamento de um solo grampeado em talude localizado na falha de Salvador. Os cálculos de estabilidade necessários para o dimensionamento da contenção serão realizados através do Software SLIDE da empresa Rocscience, o qual analisa a estabilidade de taludes por métodos consagrados em 2D, através do cálculo do fator de segurança para as superfícies de ruptura circulares ou não-circulares em taludes de solo ou rocha (ROCSCIENCE, 2002).

2 Solo Grampeado

O termo vem do inglês *soil nailing*, a qual a técnica consiste na introdução de elementos semirrígidos resistentes à flexão composta, denominados grampos, que podem ser barras de aço, barras sintéticas de seção cilíndrica ou retangular, micro estacas, ou em casos especiais estacas. Os grampos são posicionados horizontalmente ou inclinados no maciço por processo de cravação (grampos cravados) ou injeção (grampos injetados) com o objetivo de aplicar esforços resistentes de tração e cisalhamento, como pode ser visto na Figura 1.

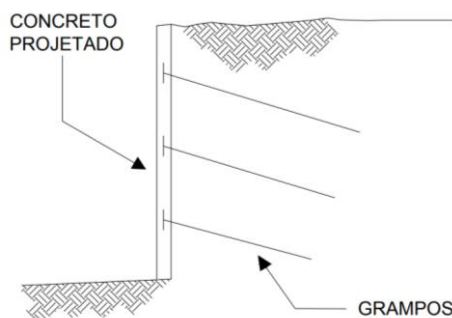


Figura 1. Esquemática do solo grampeado (Ortigão *et al.*, 1993).

É aplicável apenas em solos firmes que apresentem coesão ou cimentação. A sequência de etapas inicia-se com um processo de escavação, seguido da perfuração e inserção da barra de ferro. Centralizada no furo, é fixada pela injeção de nata de cimento e aplicada na parede do talude um jateamento de concreto projetado (ABRAMENTO *et al.*, 1998).

3 Análise de Estabilidade de Taludes

As análises de estabilidade servem de base para uma melhor compreensão do comportamento e da sensibilidade do talude às mudanças de parâmetros críticos, além disso, tem como objetivo avaliar a possibilidade de ocorrência de movimentação de massa seja em talude natural ou construído, através da comparação das tensões cisalhantes mobilizadas com a resistência ao cisalhamento (GUIDICINI e NIEBLE, 1983; GERSCOVICH, 2012).

Existem dois grandes grupos que dividem os métodos de análise de estabilidade, métodos probabilísticos e métodos determinísticos. Segundo o Manual de Estabilidade de Taludes do Corpo de Engenheiros do Exército Norte - Americano (U. S. ARMY CORP OF ENGINEERS, 2003), as

abordagens probabilísticas para análise e projeto de taludes consideram as intensidades de incertezas em relação às forças de cisalhamento e outros parâmetros envolvidos nos fatores de segurança. Na abordagem determinística, para a análise e projeto de estabilidade de taludes, a resistência ao cisalhamento, a geometria de cargas e pressões de água dos poros são atribuídos valores invariáveis específicos. O valor do fator de segurança calculado depende da capacidade crítica feita na seleção dos valores dos vários parâmetros de projeto. Com isso, os métodos probabilísticos podem ser utilizados para complementar análises determinísticas.

4 Análise do Caso

Para a realização deste estudo, tem-se disponível o levantamento planialtimétrico da área, investigações geotécnicas como sondagens a percussão, resultado de ensaios de caracterização do material e de cisalhamento direto. A área do estudo de caso é localizada no bairro de São Bartolomeu, região na zona de transição entre o embasamento cristalino e a bacia sedimentar do recôncavo, na zona de influência da Falha de Salvador, na cidade de Salvador - Bahia. Os solos locais são fruto do intemperismo da rocha granulítica.

4.1 Descrição do Talude

O talude que faz parte deste estudo de caso possui alturas elevadas, e cerca de 180 m de comprimento, encontra-se parcialmente com a vegetação natural densa, exceto em alguns trechos no pé, onde provavelmente houve cortes do terreno. No pé do talude existe uma área de lazer de uma creche, e está a uma distância mínima de 11 m do prédio.

São observadas sinais de escorregamentos recentes evidenciados pelas rupturas desnudas ao longo do trecho inferior do talude, porém podem existir rupturas mais antigas nos trechos cobertos por vegetação, além disso, a topografia evidencia a deposição de material escorregado no pé do talude. Os taludes, de acordo com a topografia disponibilizada, apresentam inclinação entre 40 à 60°, e alturas variando de 20 a 36 m, com presença de solos residuais que condicionam rupturas superficiais ou pouco profundas.

É possível observar em campo a presença de descontinuidades herdadas da rocha matriz, basicamente fraturas sub-verticais e inclinadas, que condicionam a ocorrência de pequenas rupturas superficiais. A Figura 2 apresenta a situação do talude.



Figura 2. Cicatriz de rupturas recentes na parte inferior do talude.

4.2 Investigação Geotécnica

Na área de estudo foram realizadas, seis sondagens à percussão que permitiram inferir as características estratigráficas no maciço, como também foi retirada uma amostra indeformada na face do talude rompido para obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo através de ensaios de cisalhamento direto na umidade natural e inundada. As localizações das investigações são apresentadas na Figura 3 a seguir.



Figura 3. Localização das investigações.

Em uma das sondagens observa-se a presença de uma camada superficial de aterro com uma espessura média de 0,95 m, nas outras sondagens, embora não tenha sido considerado aterro, a camada superficial varia entre 0,75 e 2 m e é de um solo fofo e de baixa resistência. Sob essas camadas é possível verificar o solo natural, provavelmente de alteração do granulito com camadas intercaladas de silte argiloso, com consistência média a rija, e silte arenoso mediantemente compacto. O número de golpes no ensaio de penetração foi variável entre 9 e 28 até uma profundidade de aproximadamente 15 m (exceto nas sondagens em que o limite foi 10,45 m, nas quais não se tem esta informação).

As sondagens SP-101 e SP-103 foram executadas até o impenetrável, identificado a aproximadamente 21 m de profundidade, as outras foram interrompidas a 10,45 m de profundidade e a 15,45 m. Em nenhuma sondagem foi observado nível d'água.

Os ensaios geotécnicos de caracterização na amostra de solo indeformada indicaram o material como um SM (areia siltosa) e como A – 5 pela classificação TRB.

Os ensaios de cisalhamento direto lento feito na amostra com umidade natural e de cisalhamento direto rápido feito em amostra inundada, apresentaram os parâmetros de resistência ao cisalhamento conforme Tabela 1.

Tabela 1. Resultado dos ensaios de cisalhamento direto.

Ensaio	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Natural	14,5	39	39
Inundado	14,7	11	36

4.3 Análise de Estabilidade da Encosta

Para avaliação da estabilidade dos taludes foi utilizado o método de Bishop Simplificado, através do software SLIDE da RocScience.

Foram analisadas duas seções, conforme indicado na Figura 4, que permitiram a avaliação das condições de estabilidade do talude natural.

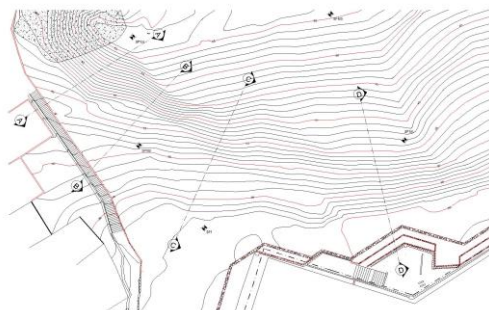






Figura 4. Seções topográficas analisadas.

Tendo em vista a presença de camadas mais consolidadas com a profundidade e ganho de resistência à penetração do amostrador padrão do SPT a partir de 16 m até o impenetrável (à 21 m), foram consideradas duas camadas de solo, o primeiro com os parâmetros intermediários, e o inferior com os parâmetros do ensaio natural, além disso, também foi levada em conta a presença de uma zona saturada mais superficial, inclusive para a análise do solo grampeado, ainda que a face esteja protegida com concreto projetado, por conta da maior susceptibilidade para a saturação com a infiltração de água no trecho acima do painel.

Dessa forma, foram adotados os parâmetros apresentados conforme a Tabela 2 para o modelo geotécnico do terreno, como pode ser visto na Figura 5.

Tabela 2. Parâmetros utilizados no software

MATERIAL	COR	γ (kN/m ³)	COESÃO (kN/m ²)	ϕ (°)
Silte Argiloso Médio		16.5	20	30
Silte Argiloso Duro		18	40	30
Silte Arenoso		18	35	36
Silte Arenoso Saturado		15	12	36

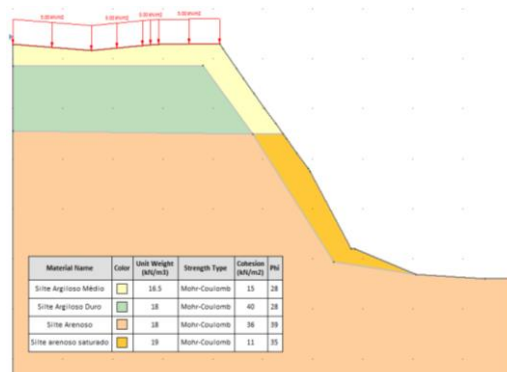


Figura 5. Seção geotécnica típica adotada.

A NBR 11682 (ABNT, 1991) indica os critérios de fatores de segurança mínimos a serem aplicados em projetos de contenção de encostas. A área foi considerada de nível de segurança contra danos a vidas humanas como sendo de alto risco, por conta da localização próxima a creche e de área com bastante trânsito de pessoas no pé do talude. Em relação ao nível de segurança contra danos materiais e ambientais foi classificada como de médio risco, devido ao valor moderado das propriedades e da pouca significância da vegetação local. Portanto, a norma recomenda um fator de segurança mínimo de 1,5. As sobrecargas a serem consideradas nas cristas do talude, tendo em vista a inexistência de construções, é de 5 kPa e 10 kPa.

Os fatores de segurança obtidos foram inferiores ao mínimo determinado pela norma e próximos a 1,0, caracterizando o risco iminente de ocorrência de rupturas do talude, nestes casos os círculos críticos ocorreram dentro do material saturado considerado na superfície do talude, o que evidencia os escorregamentos superficiais ocorridos. A Figura 6 apresenta os círculos críticos.

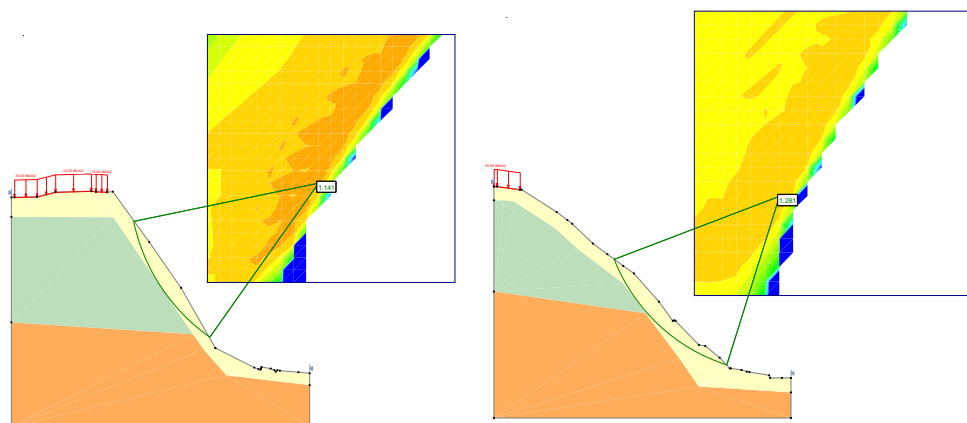


Figura 6. Seção A-A, FS = 1,14 e Seção C-C, FS = 1,28.

5 Dimensionamento da Contenção

5.1 Definição da Geometria do Pannel de Solo Grampeado

A geometria do painel de solo grampeado foi definida nas seções transversais de modo que seja escavada a camada superficial do talude a qual contém matéria orgânica, material saturado, material solto, além de tornar a superfície regular e mais uniforme possível. Em seguida é lançado na topografia, a partir das seções transversais. Neste estudo de caso, buscou-se implantar o painel de solo grampeado no trecho com cicatrizes de escorregamentos, concentrados na parte inferior do talude, além de preservar a vegetação nativa no trecho superior. Na Figura 7 é apresentada uma destas seções (Seção C-C) e a planta com a projeção horizontal da contenção.

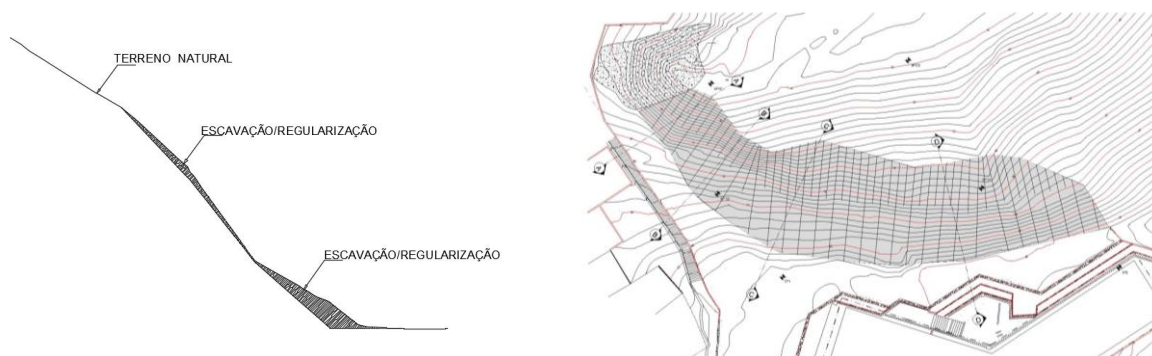


Figura 7. Geometria do solo grampeado – Seção C-C e geometria do solo grampeado – Planta.

5.2 Dimensionamento dos Grampos

Para o dimensionamento dos grampos, busca-se conhecer as cunhas de ruptura com fatores de segurança menores que 1,5 e a distância entre a cunha mais profunda e a superfície do talude, dessa forma definir o comprimento mínimo do grampo na seção. Com a obtenção dos círculos críticos para cada seção e o comprimento máximo do mesmo até a superfície do talude, determina-se o tamanho mínimo dos grampos a serem implantados no trecho mais espesso da cunha. Entretanto, é possível utilizar grampos menores no trecho mais próximo a base do talude, uma vez que a distância cunha-face é menor, conforme apresentados nas figuras 8 e 9, para as seções A-A, B-B, C-C e D-D, respectivamente.

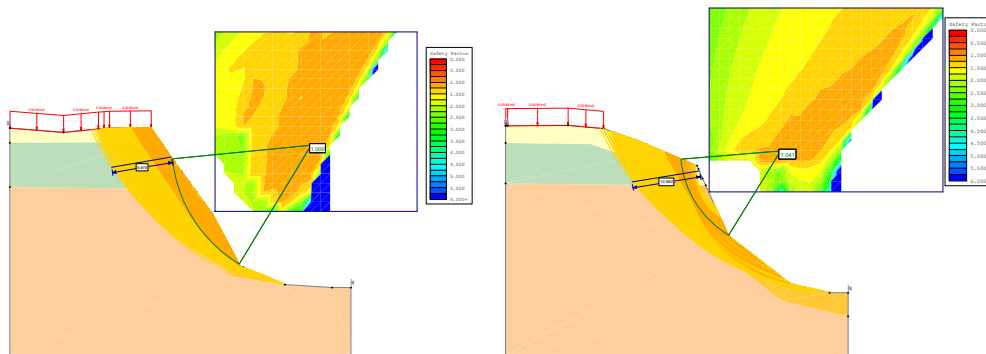


Figura 8. Seção A-A largura máxima da cunha para FS de 1,5 = 9 m e seção B-B – largura máxima da cunha para FS de 1,5 = 11 m.

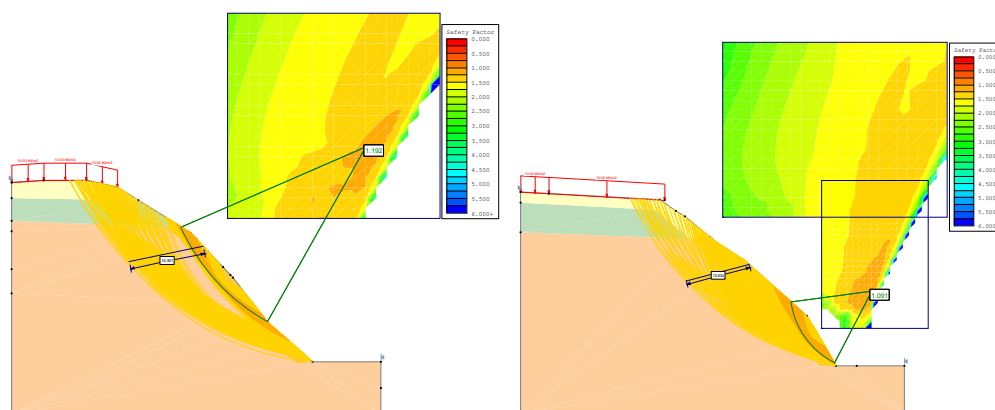


Figura 9. Seção C-C – largura máxima da cunha para FS de 1,5 = 15 m e seção D-D – largura máxima da cunha para FS de 1,5 = 14 m.

Para a determinação da quantidade e resistências dos grampos, bem como seu espaçamento vertical e horizontal é preciso o conhecimento dos valores dos esforços necessários para conter a massa de solo susceptível à instabilização. Para isso foi realizada uma retroanálise nas seções críticas escolhidas com auxílio do software Slide e obtido o valor da força estabilizadora.

O método consiste em indicar o local da força de reação ao deslocamento da cunha de ruptura, de tal forma que esta seja posicionada no centro do painel de solo grampeado, em seguida é indicado o fator de segurança mínimo para a estabilização da massa de solo, neste caso foi informado o fator de segurança de 1,5, com estas informações o software calcula o valor do esforço, conforme valores apresentados nas Figuras 10 e 11.

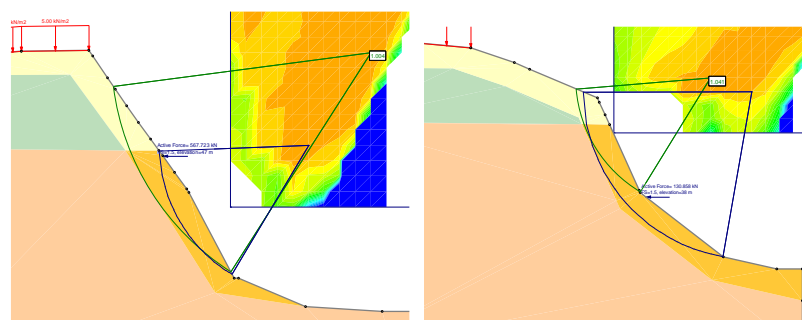


Figura 10. Seção A-A, $F = 570$ kN e seção B-B, $F = 130$ kN.

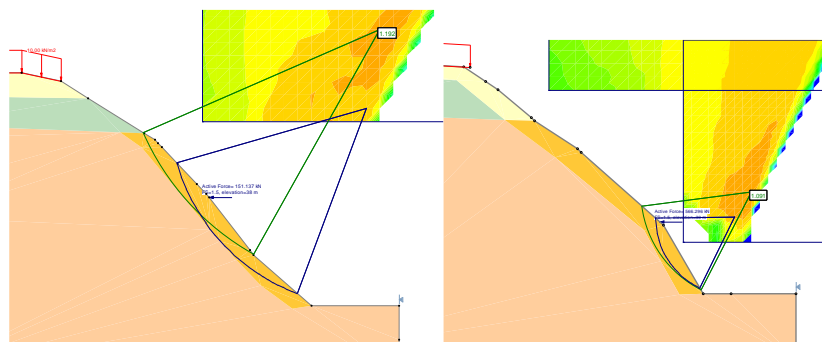


Figura 11. Seção C-C, F = 150 kN e seção D-D, F = 566 kN.

Com os valores dos esforços, distribuem-se os grampos ao longo da face do talude de forma que o somatório dos esforços de suporte seja igual à força calculada. A obtenção desta força depende do número de grampos, da capacidade de ancoragem do grampo e da malha de grampos na face do talude.

Neste dimensionamento estão sendo previstos grampos passivos, com capacidade de ancoragem de 15 kN/m, ou seja, o sistema barra de aço/calda/solo suporta uma força de arrancamento (tração) de 15 kN a cada metro de grampo, tendo sua capacidade total variando em função do comprimento do grampo. Em geral este valor varia com o material do talude e das condições reais do maciço e pode ser determinado através do ensaio de arrancamento. Normalmente, em projetos, este valor é estimado com base em experiências e dados de ensaios de arrancamento com solos de características parecidas e após o ensaio o projeto pode ser ajustado caso não atinja o valor pré-determinado.

É possível prever várias combinações dos parâmetros como número de grampos, comprimentos e espaçamentos de forma a se estabilizar o talude. Neste caso serão utilizados diferentes comprimentos de grampos e espaçamentos vertical e horizontal de 1,5 m de forma a facilitar o método executivo, uma vez que não se varia o espaçamento ao longo do painel, através da Equação 1.

$$F = \frac{(\text{capacidade de ancoragem}) \times (\text{nº de grampos})}{(\text{espaçamento horizontal})} \quad (1)$$

No talude da seção A-A o painel de solo grampeado terá uma altura de 20 m, no qual serão implantados grampos com espaçamento vertical de 1,5 m, portanto serão 14 grampos. Estes grampos têm que ultrapassar a massa de solo instável, com o comprimento mínimo já determinado anteriormente de 9 m, entretanto é possível aperfeiçoar o comprimento e ter grampos menores à medida que a altura diminui.

Para satisfazer a condição de transpasse dos grampos na cunha de ruptura, estão sendo previstos 4 grampos de 9 m na parte superior do talude seguidos de 4 de 8 m e 6 de 6 m, obtendo como resultado uma força resultante de 1040 kN.

A força resultante é maior que o valor de 570 kN determinado anteriormente, portanto a configuração satisfaz as duas condições para a estabilização do maciço. Nas Figuras 12 e 13 são apresentadas as análises para as seções com a implantação dos grampos, seguindo o mesmo critério de dimensionamento, vale ressaltar que os círculos críticos apresentados nas figuras seguir não são os mesmos utilizados anteriormente para o dimensionamento, uma vez que estes já estão com fatores de segurança acima do estabelecido como mínimo (1,5).

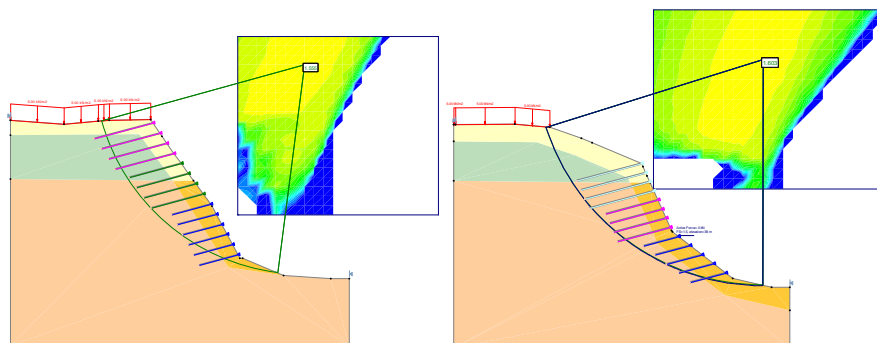


Figura 12. Análise de estabilidade da contenção – Seção A-A, FS = 1,55 e análise de estabilidade da contenção – Seção B-B, FS = 1,60.

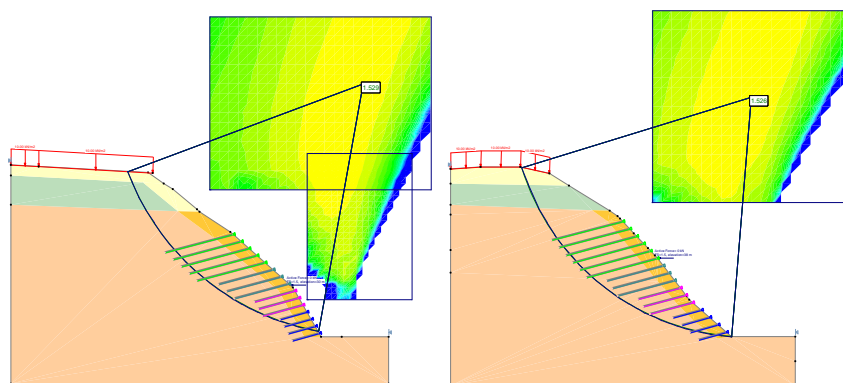


Figura 13. Análise de estabilidade da contenção – Seção C-C, FS = 1,52 e análise de estabilidade da contenção – Seção D-D, FS = 1,53.

6 Conclusão

O presente trabalho apresentou um roteiro de dimensionamento de um solo grampeado com o uso de um software geotécnico, desde o estudo geotécnico do talude ao dimensionamento dos grampos. Diante dos estudos apresentados e das análises realizadas no dimensionamento da solução, é possível concluir que a técnica de solo grampeado, além de possuir vantagens do ponto de vista executivo, seu dimensionamento conta com um método de análise que possibilita a utilização de diferentes configurações de grampos, sejam em tamanhos, resistências e distribuição, para as mais variadas geometrias, inclinações e geotecnia do maciço, permitindo uma economicidade e segurança no projeto de estabilização. Vale ressaltar que a qualidade e eficiência de um projeto geotécnico estão diretamente relacionadas ao conhecimento do problema e do tipo de solução a ser empregada. É imprescindível a obtenção do máximo de informação quanto possível da geologia/geotecnia de um talude, do material utilizado em um aterro, das tecnologias empregadas na obra e até dos mecanismos que causaram o problema e suas causas. Há diversos softwares de dimensionamento no mercado, podendo ser utilizado o que mais se adequar à solução ou que o profissional tenha mais facilidade ou preferência, entretanto, seja qual for a ferramenta escolhida, é necessário um domínio sobre o conhecimento teórico que envolve o dimensionamento, sobre os métodos de cálculo utilizados no programa, fornecimento dos dados de entrada, processos necessários ao dimensionamento da contenção e um conhecimento amplo sobre geotecnia e propriedades do solo.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa do autor 4.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1991) Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11682: Estabilidade de Taludes, Rio de Janeiro: [s.n.].
- Abramento et. al. (1998) Reforço do Terreno. In: Hachichi, W. et al. (Org.). Fundações: Teoria e Prática. 2ª Ed. São Paulo: Pini, Cap. 18, p. 641-690.
- Braja, M das (2014) Fundamentos de engenharia geotécnica. Tradução da 8ª edição americana. São Paulo: Cengage Learning.
- Filho, A. O. Virgili, J. C. (1998) Estabilidade de taludes. In: Geologia de engenharia, São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE.
- Fiori, A. P. e Carmignani, L. (2009) Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes. 2ª ed. revisada e ampliada. Editora da UFPR, Oficina de textos.
- Gerscovich, D.M.S. (2012) Estabilidade de taludes, 2ª ed. Oficina de Textos, São Paulo.
- Guidicini, G.; Nieble, C.M. (1983) Estabilidade de taludes naturais e de escavação. 2ª ed. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo.
- Ortigão, J. A. R. et al. (1993) Experiência com solo grampeado no Brasil: 1970-1993 Solos e Rochas, v. 16 no. 4, pp. 291-304.
- Rocscience Inc. (2002) *Geomechanics software & research. User's guide: Slide 2D slope stability analysis for soil and rock slopes*. Toronto, Canadá.
- U. S. Army Corps of Engineers (2003) *Slope Stability*, Washington, District of Columbia.