

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**NEUTON LEMOS DA FONSECA NETO
ROBSON JOSÉ DORNELAS**

**DIMENSIONAMENTO DE CONTENÇÃO DE TALUDE UTILIZANDO O MÉTODO
DE SOLO GRAMPEADO EM UM TERRENO LOCALIZADO NA AVENIDA
ARMANDO ALVES DA SILVA NO MUNICÍPIO DE CARATINGA (MG)**

CARATINGA

2019

NEUTON LEMOS DA FONSECA NETO

ROBSON JOSÉ DORNELAS

FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

**DIMENSIONAMENTO DE CONTENÇÃO DE TALUDE UTILIZANDO O MÉTODO DE
SOLO GRAMPEADO EM UM TERRENO LOCALIZADO NA AVENIDA ARMANDO
ALVES DA SILVA NO MUNICÍPIO DE CARATINGA (MG)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades Doctum de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Contenção de Taludes

Orientador: Prof. José Salvador Alves

CARATINGA

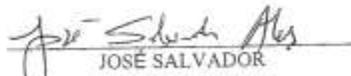
2019

TERMO DE APROVAÇÃO

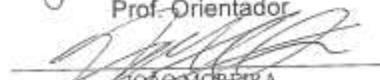
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: DIMENSIONAMENTO DE CONTENÇÃO DE TALUDE UTILIZANDO O MÉTODO DE SOLO GRAMPEADO EM UM TERRENO LOCALIZADO NA AVENIDA ARMANDO ALVES DA SILVA NO MUNICÍPIO DE CARATINGA (MG), elaborado pelo(s) aluno(s) NEUTON LEMOS DA FONSECA NETO e ROBSON JOSÉ DORNELAS foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga 11/07/2019



JOSÉ SALVADOR
Prof. Orientador



JOÃO MOREIRA
Prof. Avaliador 1



SIDINEI SILVA
Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTO

Agradecemos a todos os professores pelos ensinamentos que colhemos e pela certeza da contribuição árdua desses profissionais para mudanças significativas.

Aos amigos o carinho e ajuda dispensada.

Às nossas famílias pelo apoio incondicional.

Ao professor José Salvador Alves que aceitou e abraçou o desafio de realizar esse trabalho conosco, obrigado por todo conhecimento transmitido.

Em especial, agradecemos a Deus que nos concedeu durante todos esses períodos força e perseverança para o desenvolvimento desse trabalho, nos sustentando para superar todos os obstáculos.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Fator água cimento A área da seção
c	Coesão do solo
c'	Coesão efetiva do solo
c_a'	Adesão da interface
D	Diâmetro do chumbador e diâmetro de perfuração de densidade de grampeamento
FS	Fator de segurança
f_b	Coefficiente de aderência
G	Densidade relativa dos grãos
H	Altura do paramento
k	Coefficiente empírico
K_s	Coefficiente de reação do solo de fundação
L	Comprimento do reforço
L_a	Comprimento de ancoragem
L_b	Comprimento do bulbo ancorado.
l_o	Comprimento de transferência
η	Inclinação da parede
M_n	Momento devido às forças externas atuante na fatia N número de estabilidade
N_{spt}	Número de golpes do ensaio SPT
P_{ult}	Força máxima de arrancamento do reforço
P_l	Tensão pressiométrica limite
P_1	Pressão limite do pressiômetro de Menard Q carga
r	Raio da superfície circular de ruptura W peso da fatia
q_s	Resistência ao arrancamento de interface
s_h	Espaçamento horizontal
s_v	Espaçamento vertical
T_{rup}	Força de ruptura

T_n	Carga de tração no grampo
T	Força resultante de tração
Y	Deslocamento lateral do reforço
Z	Cota do reforço
α	Coeficiente de interface
β	Inclinação na parte superior da fatia
δ'	Ângulo de atrito da interface
μ	Poropressão
σ'_r	Tensão normal efetiva média
σ_n	Tensão normal aplicada no reforço
σ_n'	Tensão normal efetiva aplicada no reforço
γ	Peso específico do solo
λ	Área de influência
λ_1	Fator de carga que varia em função da tensão normal atuante no grampo
ϕ'	Ângulo de atrito efetivo do solo
Ψ	Inclinação reforço

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fatia genérica e polígono de forças de Fellenius.....	28
Figura 2 - Fatia genérica e polígono de forças de Bishop	30
Figura 3 - Retaludamento através do corte	32
Figura 4 - Elementos do muro de arrimo	33
Figura 5 - Solo-grampeado.....	36
Figura 6 - a) estabilização de taludes; b) contenção taludes em cortes	37
Figura 7 - Fases construtivas do solo grampeado.....	38
Figura 8 - Perfuração do solo grampeado	40
Figura 9 - Aplicação de concreto projetado sobre superfície de talude com tela soldada	42
Figura 10 - Detalhe esquemático de dreno	43
Figura 11 - Espaçamento entre os grampos	44
Figura 12 - Ábaco de estabilidade de pré-dimensionamento	47
Figura 13 - Mecanismo de ruptura proposta por Stock	48
Figura 14 - Ábacos para cálculo da estabilidade de casos padronizados	48
Figura 15 - Esquema de aparato para execução de ensaio de arrancamento	49
Figura 16 - Resultado de ensaio de arrancamento em solo residual não saturado.....	50
Figura 17 - Detalhe representativo de partes constituintes de chumbador	53
Figura 18 - Analogia do grampo a uma estaca carregada horizontalmente no topo	54
Figura 19 - Talude do estudo	61
Figura 20 - Localização do talude.....	61
Figura 21 - Superfície de ruptura do talude natural pelo software Geoestudio.....	64
Figura 22 - Área de ruptura após retaludamento pelo Software Geoestudio 2019.....	65
Figura 23 - Dimensão dos grampos no talude.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos do fator de segurança	23
Tabela 2 - Classe de agressividade	41
Tabela 3 - Carga de trabalho e arrancamento dos grampos	50
Tabela 4 - Estimativa da resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo Qs.....	51
Tabela 5 - Determinação de Qs por correlações empíricas	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação valor do SPT e coesão do solo	25
Quadro 2 - Relação do peso específico dos solos com o SPT	25
Quadro 3 - Tipos de solos e alturas de escavação	39
Quadro 4 – Propriedades e características dos grampos	57
Quadro 5 - Parâmetros e valores do talude	63
Quadro 6 - Resultados calculados dos grampos.....	67
Quadro 7 - Orçamento para obra de solo grampeado.....	68
Quadro 8 - Orçamento para obra de cortina atirantada.....	69

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 1	25
Equação 2	26
Equação 3	27
Equação 4	27
Equação 5	28
Equação 6	29
Equação 7	29
Equação 8	46
Equação 9	49
Equação 10	55
Equação 11	55
Equação 12	55
Equação 13	56
Equação 14	56
Equação 15	56

RESUMO

Este trabalho retrata detalhadamente como foi projetada uma contenção vertical de um talude de 20 metros de altura localizado na Avenida Armando Alves da Silva, na cidade de Caratinga / MG. O projeto foi elaborado a partir de parâmetros geotécnicos obtidos através de correlações baseadas nos ensaios de penetração e sondagem a percussão (SPT). Com perfurações executadas in loco, através do ensaio (SPT) foi determinado os parâmetros dos solos como peso específico, coesão e ângulo de atrito. Estes dados foram inseridos no software GEOSTUDIO 2019 para determinação da superfície de ruptura do solo e seu fator de segurança, com o resultado obtido do software, foi calculado as cargas de arrancamento, carga máxima, carga de trabalho, dimensões dos furos e dos grampos que serão inseridos no solo para contenção, visando atingir a estabilidade do maciço. O dimensionamento das hastes foi conforme as diretrizes abordadas nas normas NBR 6118, NBR 5629, NBR 11682 e NBR 9061. Tendo todos os quantitativos e qualitativos, foi feito um levantamento através da tabela SINAPE dos valores para a execução do solo grampeado e da cortina atirantada, sendo esta última, os dados retirados da Tese de Graduação do Sâmequi de Paiva, para o mesmo talude em estudo. Após a coleta dos valores foi feito dois quadros com o orçamento para cada contenção, a contenção por solo grampeado chegou a um valor estimado de R\$ 51.597,32 reais e da cortina atirantada foi de R\$ 110.528,17, mostrando um ganho no custo-benefício do solo grampeado.

Palavras-chave: Contenção. Solo Grampeado. Talude.

ABSTRACT

This work shows in detail how a vertical containment of a 20 meter high embankment was designed, located at Avenida Armando Alves da Silva, in the city of Caratinga / MG. The design was made from geotechnical parameters collected from undisturbed samples in penetration and percussion drilling (SPT) with perforations performed in loco, through the test (SPT) the soil parameters were determined as specific weight, cohesion and angle of friction. These data were entered in GEOSTUDIO 2019 software to determine the soil rupture line and its safety factor, with the result obtained from the software, the loads of pullout, maximum load, workload, hole and clamp dimensions were calculated. will be inserted in the ground for containment, aiming at reaching the stability of the massif. The sizing of the rods was in accordance with the guidelines in standards NBR 6118, NBR 5629, NBR 11682 and NBR 9061. Taking all the quantitative and qualitative, a survey was made through the SINAPI table of the values for the execution of the stapled soil and the curtain, the latter being quantitative data from the Sâmequi de Paiva Undergraduate Thesis for the same study slope. After collecting the values, two tables with the budget for each containment were made, the containment per stapled soil reached an estimated value of R \$ 51,597.32 reais and the curtain wire was R \$ 110,528.17, showing a gain in cost -benefits of stapled soil.

Keywords: Containment. Stapled only. Slope.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Contextualização	19
1.2 Objetivos	20
1.2.1 Objetivo geral.....	20
1.2.2 Objetivo específico.....	20
1.3 Justificativa	20
1.4 Estrutura do trabalho	21
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1 Taludes	22
2.1.1 Fator de segurança.....	22
2.2 SPT (Standard Penetration Test)	23
2.3 Análise de estabilidade	26
2.3.1 Método de Fellenius.....	26
2.3.2 Método de Bishop Simplificado.....	28
2.3.3 Software GeoStudio.....	30
2.4 Métodos de CONTENÇÃO	31
2.4.1 Retaludamento.....	31
2.4.2 Muro de arrimo.....	33
2.4.3 Cortina Atirantada	34
2.4.3.1 Execução.....	35
2.4.4 Solo Grampeado.....	35
2.4.4.1 Execução.....	37
2.4.4.2 Perfuração	39
2.4.4.3 Instalação e injeção.....	40
2.4.4.4 Drenagem.....	42
2.5 Especificações de projeto	43
2.5.1 Espaçamentos entre grampos (S)	44

2.5.2 Outros espaçamentos (SVO e SVN).....	44
2.5.3 Inclinação dos grampos	45
2.5.4 Comprimento dos grampos (L)	45
2.6 Metodologia de cálculo	45
2.6.1 Método Francês	45
2.6.2 Método Alemão.....	47
2.6.3 Resistência ao arrancamento	49
2.6.4 Resistência a flexão do grampo.....	54
2.6.5 Equações para cálculo das cargas e dos grampos.....	55
2.6.6 Vantagens e limitações.....	57
3 METODOLOGIA	60
3.1 Ensaio e análise da estabilidade do talude	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
4.1 Valores dos parâmetros para os cálculos	63
4.2 Parâmetros de cálculo do solo grampeado.....	65
4.3 Valores de arrancamento e grampos	67
4.4 Comparativo de orçamento.....	67
5 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE A	74

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O estudo de métodos de contenções é muito importante para se obter uma resistência quanto aos empuxos de terra e/ou água, conferindo segurança e confiabilidade às estruturas, aliviando as pressões nos paramentos, sendo eficiente para proporcionar qualidade durante a vida útil das obras. Assim sendo, o método de estabilizações de taludes através do reforço do solo, utilizando a incisão de barras de aço, que após serem envoltas por uma camada de concreto ou calda de cimento, injetadas mecanicamente, formam os grampos que através da tensão de atritos, conferem estabilidade ao maciço.

O desafio dos engenheiros hoje, mediante os avanços tecnológicos e outros, é criar estruturas de contenções modernas, economicamente viáveis e com impacto ambiental reduzido, visando solucionar problemas construtivos variados. Entre eles, construções de novas estruturas, como casas, rodovias, prédios, ferrovias, entre outros, em áreas topograficamente acidentadas com encostas desestabilizadas, que não favorecem tais execuções e são necessárias contenções de terra.

Na maioria das vezes as contenções se aplicam em obras emergenciais de prevenção ou recuperação de áreas após deslizamentos de terra, como solução tecnicamente viável. É necessário que os conhecimentos geotécnico, estrutural, orçamentista e de produção sejam utilizados a fim de se obter uma solução segura e com o melhor custo-benefício, evitando erros de dimensionamento.

Este trabalho de conclusão propõe investigar e dimensionar uma contenção de talude em corte ou já cortados pelo método de solo grampeado, já conhecido e utilizado desde a década de 60, na França, visando obter estabilidade do talude estudado.

O local escolhido para o desenvolvimento do estudo de caso foi um talude situado na Avenida Armando Alves da Silva, popularmente conhecida como Avenida Dário Grossi, o talude em questão se encontra já cortado e possui altura de 20 metros.

Sobre o mesmo já foi realizado um estudo utilizando outro método de contenção, o denominado método de Cortina Atirantada. Sobre esse estudo já realizado, apresentamos então o solo grampeado como uma alternativa eficiente quanto a viabilidade econômica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Dimensionar uma estrutura de contenção do tipo solo grampeado para um terreno situado na Avenida Armando Alves da Silva, na cidade de Caratinga (MG), comparando a sua viabilidade econômica com o método de cortina atirantada, apresentado, anteriormente, em outro trabalho de conclusão de curso das Faculdades Doctum de Caratinga.

1.2.2 Objetivo específico

São objetivos específicos do presente trabalho:

- Pesquisa bibliográfica do método de contenção estudado.
- Identificar parâmetros geotécnicos do talude como: Coesão, ângulo de atrito interno e peso específico do solo.
- Dimensionar uma estrutura de contenção do tipo solo grampeado.

1.3 Justificativa

Após pesquisas em trabalhos de conclusão de curso aprovados por essa instituição e com sugestão do professor-orientador, surgiu a possibilidade de investigar sobre o dimensionamento de uma contenção de talude, utilizando o método de solo grampeado, dando seguimento a uma pesquisa já existente, porém utilizado outro tipo

de contenção, reforçando a importância e a viabilidade das intervenções em encostas naturais ou escavadas, executadas para conter deslizamentos recorrentes nessa região.

Esse trabalho poderá ser utilizado como base para consultas posteriores, sempre que houver necessidade de contenções emergenciais ou pré-definidas, facilitando o acesso às informações para elaborações de novos projetos dessa natureza, auxiliando a comunidade e gerando segurança às edificações.

Essa intervenção requer uma aprofundada investigação das características do solo e um rigor no momento de projetar e executar uma contenção, tendo em vista os custos de implementação de tais obras, gerando assim, um amplo acúmulo de conhecimento com a aplicação prática dos ensinamentos obtidos em sala de aula, atividades extracurriculares e estágio.

1.4 Estrutura do trabalho

Capítulo 1: Trata da abordagem inicial do tema proposto, contendo a contextualização, objetivos, justificativa e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2: Descreve as pesquisas referentes que dão suporte ao tema.

Capítulo 3: Aborda todos os procedimentos e normas que foram adotados na pesquisa para realização dos ensaios e validação da mesma.

Capítulo 4: Apresenta-se os resultados e as análises dos mesmos.

Capítulo 5: Conclusões e considerações finais desta pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Taludes

Superfícies não horizontais podem ser chamadas de taludes. São agrupadas em dois grupos: taludes artificiais e naturais. As encostas artificiais são formadas pela ação direta do homem. São classificados como encostas artificiais os taludes de corte e aterros. Taludes naturais são aqueles formados pela ação da natureza sem nenhuma interferência humana (MACHADO,1997).

Depreende-se da sua definição que na estabilidade dos taludes intervêm condicionantes relativos a natureza dos materiais constituintes e dos agentes perturbadores quer sejam de natureza antrópica, geotécnica ou geológica. Do ponto de vista teórico, um talude apresenta-se como uma massa de solo submetida a três campos de forças distintas: forças devido ao peso dos materiais, forças devido ao escoamento da água e forças devido à resistência ao cisalhamento (FIORI; CARMIGNANI, 2009).

Segundo Fiori e Carmagnani (2009) a análise do equilíbrio limite considera que as forças que tendem a induzir a ruptura ou o movimento são balanceadas pelas forças resistentes.

Problemas relacionados às encostas naturais têm afetado muito a população brasileira. Os escorregamentos são de origem “natural”, pois a natureza exerce uma tendência a tornar plano. Pode-se então, dizer que os coeficientes de segurança giram em torno de um. Bastando qualquer chuva atípica, ou qualquer outra ação antrópica para desencadear o mecanismo de escorregamento (MASSAD, 2010).

Caputo (1988) ressalta que estes condicionantes tornam seu estudo bastante complexo, abrindo horizontes aos especialistas em geologia aplicada, mecânica dos solos e mecânica das rochas. Salienta ainda sua importância, devido aos numerosos acidentes que, com frequência, envolvem perdas humanas e materiais.

2.1.1 Fator de segurança

O Fator de segurança (FS) é definido como o resultado da divisão entre a

resistência e a tensão cisalhante da superfície crítica de ruptura do talude, valores de FS maiores que 1,0 (um) indicam estabilidade, valores de FS menores do que 1,0 (um) indicam instabilidade, e valores de FS iguais a 1,0 indicam condições limites de estabilidade, estando em iminência de ruptura.

Segundo Dell'Avanzi e Sayão (1998), o fator de segurança admissível (FS_{adm}) de um projeto corresponde a um valor mínimo a ser atingido e varia em função da obra, vida útil, das consequências de uma eventual ruptura em termos de perdas humanas e/ou econômicas, ou seja, ela depende do julgamento do projetista, podendo ser mais conservadora ou não.

Na Tabela 1, são apresentados os valores típicos para o FS mínimo como padrões de avaliação dos parâmetros de segurança, para projetos de taludes, conforme a NBR 11682/2009.

Tabela 1 - Valores típicos do fator de segurança

Grau de segurança necessário ao local	Métodos baseados no equilíbrio-limite	Tensão-deformação
	Padrão: fator de segurança mínimo	Padrão: deslocamento máximo
Alto	1,50	Os deslocamentos máximos devem ser compatíveis com o grau de segurança necessário ao local, à sensibilidade de construções vizinhas e à geometria do talude. Os valores assim calculados devem ser justificados.
Médio	1,30	
Baixo	1,15	

Fonte: ABNT NBR 11682, 2009

2.2 SPT (Standard Penetration Test)

O Standard Penetration Test, mais conhecido pela sigla SPT, é o ensaio in situ de penetração dinâmica mais usado em todo mundo (CAPUTO, 1988). Este ensaio tem como objetivo determinar, em profundidade, a resistência dos solos à penetração dinâmica de um amostrador normalizado, através do número de pancadas necessárias para este penetrar no terreno um determinado comprimento (NSPT), permitindo

simultaneamente a sua identificação através da análise das amostras de solo remexidas retiradas do amostrador, possibilitando assim o reconhecimento geotécnico do solo. Estas duas vertentes tornam o ensaio num método de caracterização geotécnica muito atrativo.

O SPT é utilizado principalmente para determinar os parâmetros de resistência e de deformação de solos sem coesão (solos granulares), podendo também ser utilizado em outros tipos de solos, como por exemplo, para a determinação da consistência em solos coesivos (solos argilosos) bem como a caracterização de rochas brandas.

A vantagem deste ensaio está em se poder associar a resistência à penetração e a coleta de amostras ao longo de um perfil geotécnico. É um ensaio simples de se realizar, tendo como principais limitações o uso de correlações empíricas para parametrização geotécnica que podem variar muito com o tipo de maciço e com o tipo de equipamento utilizado (NUNES E VELLOSO 2006).

A sondagem divide-se praticamente em duas etapas distintas: uma de perfuração e outra de amostragem/ensaio. Na primeira etapa é feita a perfuração com trado ou trépano de lavagem com o auxílio de circulação d'água. Na segunda etapa, o amostrador padrão é inserido até o fundo da perfuração.

O ensaio consiste em três medidas consecutivas do número de golpes necessários para cravar segmentos de 15 cm deste amostrador padrão até um total de 45 cm. Os golpes são aplicados por queda livre de um peso de 65kg caindo de uma altura de 75 cm. O valor de NSPT é a soma da 2ª e 3ª medidas assim determinadas, ou seja, o número de golpes necessários para cravar os últimos 30 cm do amostrador padrão.

Aspectos relevantes neste ensaio são a obtenção de amostra amolgada dos primeiros 45 cm de cada metro, o índice de resistência do solo (NSPT) a cada metro e a observação do nível d'água freático (ABNT 2001). Apesar das limitações, o NSPT têm sido utilizados para a estimativa do ângulo de atrito e compactidade relativa das areias.

Abaixo segue o Quadro 1 de correlação entre o número de SPT e a coesão do solo segundo Alonso (2005).

Quadro 1 - Relação valor do SPT e coesão do solo

N golpes	Coesão (kPa)
<2	<10
2-4	10-25
4-8	25-50
8-15	50-100
15-30	100-200
>30	>200

Fonte: Alonso, 2005

As características do solo foram estipuladas através das correlações para a previsão do ângulo de atrito efetivo do solo através de ensaios de SPT com a utilização da Equação 1:

$$\phi' = \sqrt{20N} + 15 \quad (1)$$

Através do ensaio de SPT também é possível correlacionar o número de golpes com o peso específico do solo como mostra Cintra (2003), Quadro 2.

Quadro 2 - Relação do peso específico dos solos com o SPT

N (golpes)	Consistência	Peso específico (KN/m³)
≤2	Muito mole	13
3 - 5	Mole	15
6 - 10	Média	17
11 - 19	Rija	19
≥20	Dura	21

Fonte: Cintra, 2003

2.3 Análise de estabilidade

Muitos projetos de engenharia civil são localizados próximos a taludes ou até mesmo sobre eles, envolvendo a análise de sua estabilidade diretamente com o projeto. E assim, esses taludes são sujeitos a potenciais instabilidades de vários tipos como escorregamentos e quedas. Estas rupturas de taludes frequentemente produzem grandes danos a propriedades e ocasionalmente causam perdas de vidas humanas, isso também acontece quando alguns projetos são executados em áreas de risco instáveis.

Todos esses exemplos apenas mostram a importância do desenvolvimento de tecnologias para contenção de taludes e o trabalho de engenheiros geotécnicos e geólogos. De acordo com CODUTO (2011), “com avaliação, análise, projeto e construção apropriados, problemas de estabilidade de taludes de terra podem ser usualmente evitados”. Pensando mais sobre essas avaliações, engenheiros geotécnicos desenvolveram alguns métodos de avaliação de potenciais falhas usando o fator de segurança.

2.3.1 Método de Fellenius

O método de Fellenius é considerado o mais simples, pois estabelece uma equação linear para determinação do fator de segurança. Por isso, não é necessário nenhum processo iterativo. Assume-se que as forças de interação (X e Y) entre fatias são paralelas à base da fatia, ou seja, as suas componentes estão relacionadas como na Equação 2.

$$\sum X = \sum Y = 0 \quad (2)$$

Sabe-se que esta simplificação não é real, pois as forças resultantes, que são paralelas à base, não podem ter a mesma inclinação em todas as fatias. A reação normal à base da fatia pode ser obtida através do equilíbrio de forças na direção perpendicular

à base ou através das equações de equilíbrio segundo a vertical e a horizontal. As forças aplicadas em cada fatia estão apresentadas na Figura 2. Fazendo a projeção na direção perpendicular à base da fatia, temos a Equação 3:

$$N = W * \cos \alpha \quad (3)$$

Em que:

N = Força aplicada

W = Peso da fatia

Portanto o fator de segurança, em termos de tensões efetivas, é dado pela Equação 4:

$$S = \frac{\sum [c * (W * \cos \alpha - u) * \tan \phi']}{\sum W * \sin \alpha} \quad (4)$$

Em que:

α = inclinação da base da fatia

u = poropressão na base da fatia

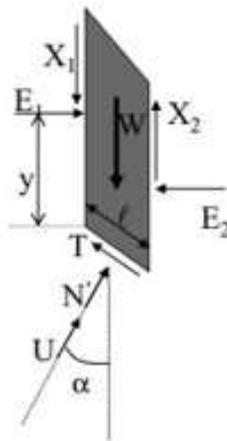
c' = coesão efetiva do solo

ϕ' = ângulo de atrito efetivo do solo

W = peso da fatia

Atendendo à hipótese de que as forças laterais entre as fatias são admitidas como nulas, o equilíbrio na direção paralela à base de cada fatia não é satisfeito. Assim é fácil inferir que o fator de segurança se encontra subestimado.

Figura 1 - Fatia genérica e polígono de forças de Fellenius



Fonte: Silva, 2011

2.3.2 Método de Bishop Simplificado

Bishop concebeu um método que incluía as forças de interação normais e ignorava as forças de interação tangenciais (Figura 2). Sendo assim, admitia apenas que as forças de interação entre as fatias são horizontais ($X=0$). Este método, denominado de método de Bishop Simplificado, admite que a superfície de ruptura seja circular e o equilíbrio de forças seja feito na direção vertical possibilitando satisfazer tanto as condições de equilíbrio de momento quanto as condições de equilíbrio das forças verticais. O somatório das forças verticais é dado pela Equação 5:

$$N * \cos \alpha + S * \sin \alpha - W - Q * \cos \beta - T * \sin \psi = 0 \quad (5)$$

Em que:

W = peso da fatia;

α = inclinação da base da fatia

Q = sobrecarga;

T = força resultante da tração no reforço;

β = inclinação na parte superior da fatia;

ψ = inclinação do reforço;

Considerando o critério de ruptura de Morh-Coulomb, temos que a Equação 6:

$$N = \frac{W + Q * \cos\beta + T * \sin\psi - (c' * \Delta l * \tan\phi') * \text{sena}}{\overline{\cos\alpha} + (\text{sena} * \tan\phi) / S} \quad (6)$$

Em que:

α = inclinação da base da fatia

c' = coesão efetiva na base da fatia;

ϕ' = Ângulo de atrito efetivo na base da fatia;

u = Poropressão na base da fatia;

ψ = inclinação do reforço;

W = peso da fatia;

T = força resultante da tração no reforço;

Para obter o fator de segurança utiliza-se a Equação 7. É necessário fazer um processo iterativo, ou seja, adota-se um valor inicial de S_1 , determina-se S_2 , e comparam-se os dois resultados, até chegar a uma precisão decimal desejada no valor encontrado.

$$S = \frac{[c' * \Delta l * \cos\alpha + (W + Q * \cos\beta + T * \sin\psi - u * \Delta l * \cos\alpha) * \tan\phi']}{\frac{\cos\alpha(\sin\alpha * \tan\phi) / S}{(W * \sin\alpha \frac{M}{r})}} \quad (7)$$

Em que:

α = inclinação da base da fatia

c' = coesão efetiva na base da fatia;

ϕ' = Ângulo de atrito efetivo na base da fatia;

u = Poropressão na base da fatia;

ψ = inclinação do reforço;

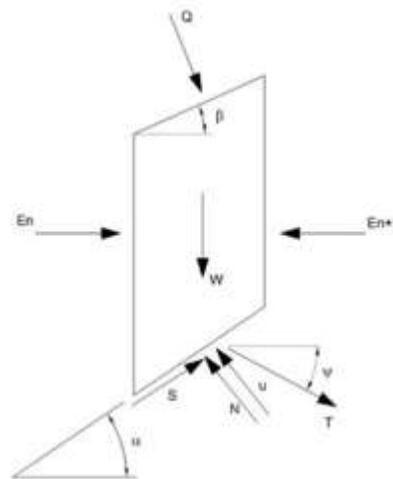
W = peso da fatia;

T = força resultante da tração no reforço;

M_n = momento devido às forças externas atuantes na fatia;

r = raio da superfície circular de ruptura

Figura 2 - Fatia genérica e polígono de forças de Bishop



Fonte: Silva, 2011

2.3.3 Software GeoStudio

Atualmente se utiliza de programas que facilitam os cálculos de análise da estabilidade dos taludes, um destes softwares é o GeoStudio para calcular o fator de segurança, utilizado em muitas pesquisas.

Este foi produzido pela GEO-SLOPE International Ltda. Este modela diferentes tipos de solo, estratigrafias, além de geometrias complexas de superfície de escorregamento, e condições de pressão neutra variáveis utilizando uma variedade de modelos de solos, e pode utilizar vários métodos, como:: Método Ordinário ou (Fellenius); Simplificado de Bishop; Simplificado de Janbu; de Spencer; de Morgenstern-Price; de Corps og Engineers; de Lowe-Karafiath; Generalized Limit Equilibrium (GLE); e de tensão de elementos finitos.

O GeoStudio possui três rotinas executáveis: Define, para definir o modelo do talude a ser analisado; Solve computa os resultados; e Contour visualiza os resultados, Horst (2007).

Segundo citado por Horst (2007), primeiramente, utilizando o GeoStudio Define, é definida a geometria do talude desenhando seus limites, bem como definindo as camadas do solo. Ele ainda explica que são especificados os métodos de análise, e então inseridos os dados de peso específico, coesão e ângulo de atrito para cada camada de solo desenhada. Insere-se o nível d'água caso necessário, os dados do solo e a geometria do talude que deverão ser definidos então as linhas ou pontos os quais são usados para computar o raio do círculo da superfície de ruptura. Em seguida é estabelecida uma grade de centros de rotação para controlar o local de ensaio das superfícies de deslize.

Com isto se tem uma ferramenta muito útil para as análises dos taludes, conhecendo os seus parâmetros, retornando assim o seu fator de segurança assim como os desenhos de ruptura e as áreas de lamela, para serem calculadas as formas de contenção do mesmo.

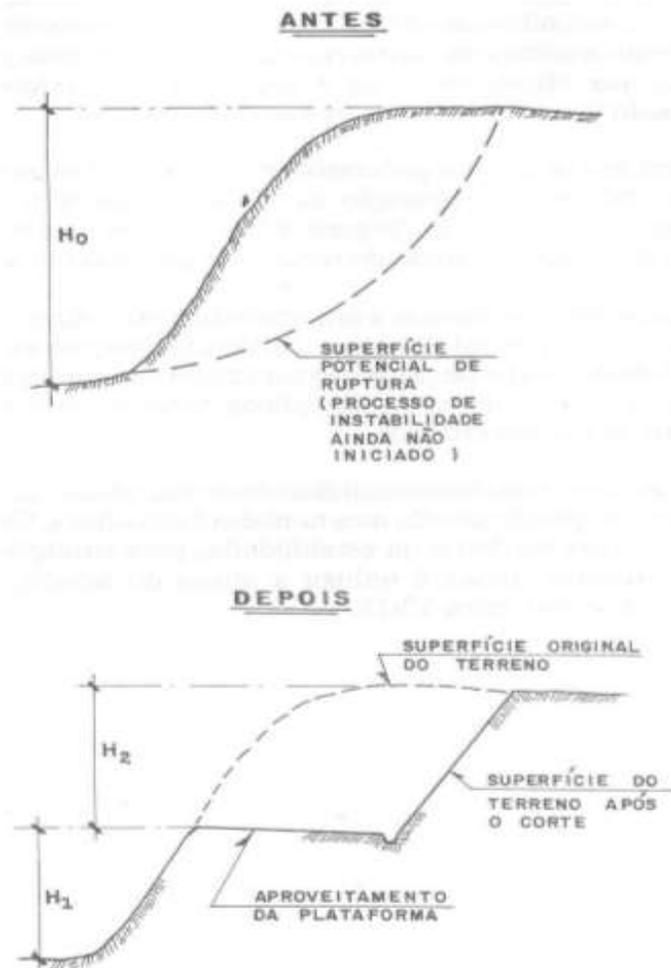
2.4 Métodos de Contenção

2.4.1 Retaludamento

O retaludamento consiste em um processo de terraplanagem, através do qual se alteram, por cortes e/ou aterros, os taludes originalmente existentes em um determinado local, a fim de aumentar sua estabilidade tão quanto desejada.

Para que possa haver um aumento na estabilidade através desse método, são feitas alterações na geometria do talude, aliviando o peso junto à crista e acrescentando junto ao pé do talude. Dessa forma, um corte feito próximo à crista do talude diminui a parcela do momento atuante e a colocação de uma sobrecarga no pé do talude tem um efeito estabilizante (MASSAD, 2010), (Figura 3).

Figura 3 - Retaludamento através do corte



Fonte: Carvalho, 1991

Dentre as diversas obras de estabilização de taludes, os retaludamentos são as mais utilizadas, devido à sua simplicidade e eficácia.

Segundo Carvalho (1991), para qualquer tipo de solo ou rocha, em qualquer condição de ocorrência e sob a ação de quaisquer esforços, sempre existirá uma condição geométrica de talude que oferecerá estabilidade ao maciço.

Porém, em alguns casos, não há espaço suficiente para se alcançar o retaludamento com a declividade desejada ou, então, casos em que as obras de terraplanagem se tornam muito dispendiosas devido ao elevado movimento de terra, sendo melhor, nesses casos, recorrer às obras de contenção e/ou drenagem.

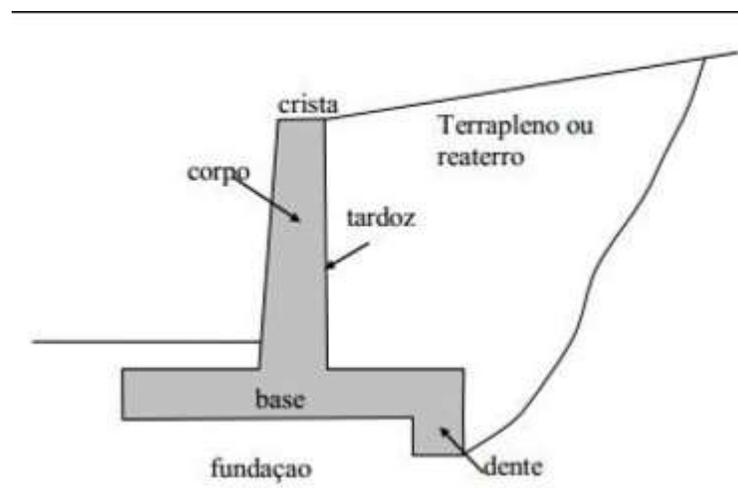
2.4.2 Muro de arrimo

Muros de contenção ou arrimo são estruturas de parede vertical ou quase vertical, apoiadas diretamente no solo ou em uma fundação podendo ser rasa ou profunda. Podem ser construídos em alvenarias (tijolos ou pedras) ou em concreto (simples ou armado), ou ainda de elementos especiais.

Os muros de contenção normalmente possuem um alto valor que impacta muito no custo de uma edificação. No estudo da terraplanagem de um terreno, deve se analisar os mínimos cortes possíveis para que se possa usar o mínimo de estruturas de contenções.

O muro de arrimo nada mais é do que um detalhe localizado, nas obras de estabilização das encostas, nas regiões montanhosas, junto às edificações estradas ou ruas. (MOLITERNO, 1994). Antes de se decidir sobre a solução para atender ao problema de contenção de um talude, deve procurar se identificar com a natureza geológica onde deverá ser implantada a obra. Os muros de arrimos possuem várias seções com nomes conhecidos, dentre elas as mais usais se ilustra conforme a Figura 4, onde:

Figura 4 - Elementos do muro de arrimo



Fonte: Moliterno, 1994

Segundo Moliterno (1994), o projeto de um muro de arrimo, como acontece em qualquer outro tipo de estrutura, consiste essencialmente na repetição sucessiva de 2 passos:

- Determinação ou estimativa das dimensões;
- Verificação da estabilidade aos esforços atuantes;

Para a escolha das dimensões, o projetista se utiliza da própria experiência e observação ou, ainda se orienta por formulas empíricas. Determinar as forças que atuam na estrutura, tais como seu peso próprio, empuxos causados pela pressão da terra, eventuais cargas aplicadas no topo da estrutura e as reações do solo, contudo podendo ter ideia da estabilidade.

Ainda complementa que, conhecimentos da mecânica dos solos, são importantes em duas fases do projeto, tendo em vista que as estruturas têm como principal carregamento o empuxo da terra sendo passivo ou ativo provenientes dos cortes e aterro do terreno, que são:

- Avaliação da pressão da terra atuante no muro;
- Verificação da capacidade suporte do solo das fundações;

2.4.3 Cortina Atirantada

Na década de 1970, havia duas principais empresas projetando cortinas atirantadas em encostas no Brasil: a Tecnosolo, cujo presidente era o professor Antonio José da Costa Nunes, e a Rodio, subsidiária da empresa de mesmo nome, de origem italiana, cuja figura de maior expoente era o geólogo Enzo Totis (FRANCO, 2010). Considera-se que o primeiro trabalho publicado relacionado ao projeto de cortinas atirantadas em encostas no Brasil é o de Nunes e Velloso (2006).

A correta utilização de ancoragens pré-tensionadas envolve a ponderação de vários fatores, que podem ser separados em três domínios: referentes à geometria (comprimento livre, comprimento de trecho ancorado, inclinação e diâmetro do furo), referentes aos esforços (cargas de ruptura, cargas admissíveis e cargas de trabalho) e referentes à execução (escolha do processo de abertura do furo, escolha do tipo de

armadura, modo de realização da selagem, tipo de ligante a empregar e modo de efetuar a proteção contra corrosão da armadura). Essas variáveis não são independentes e alguns destes aspectos relacionados à execução condicionam as características mecânicas das ancoragens e, portanto, sua resistência. Porém a influência desses fatores foge ao escopo do presente trabalho.

2.4.3.1 Execução

Para uma correta execução do tirante, a locação deve ser cuidadosamente feita, levando-se em conta as tolerâncias de projeto. Após a locação, o furo pode ser executado com qualquer sistema de perfuração que tenha condições de garantir perfeitos alinhamento, diâmetro, comprimento e inclinação do furo, além da estabilidade de suas paredes. É comum o uso de fluidos estabilizantes ou tubos de proteção para evitar desmoronamentos da parede do furo, desde que não comprometam as características de resistência do tirante (YASSUDA e DIAS, 1998).

Os elementos do tirante (barras ou cordoalhas) devem ser protegidos contra corrosão, por quaisquer dos métodos descritos na NBR 5629 (2006).

A colocação do tirante no furo pode ser feita tanto antes quanto depois da injeção de calda de cimento (ou outro aglutinante). Normalmente, a calda é produzida a partir da mistura de água e cimento Portland na proporção água/cimento igual a 0,5, em peso. (YASSUDA e DIAS, 1998)

Após a cura do aglutinante, pode ser feita a protensão, com uso de um cilindro hidráulico acionado por bomba, devendo a força de tração aplicada ser coincidente com o eixo do tirante

2.4.4 Solo Grampeado

Solo grampeado (soil nailing em inglês ou soul clué em francês) é definido como um reforço de solo realizado em taludes naturais ou resultantes de ações antrópicas, obtido através da introdução de elementos passivos, denominados grampos,

que trabalham essencialmente à tração, podendo sofrer esforços cisalhantes (CLOUTERRE, 1991). Segundo Silva (2009) são considerados elementos passivos, pois as tensões são mobilizadas ao longo de sua extensão em resposta às deformações que ocorrem no solo durante as etapas de escavação. O processo construtivo consiste na introdução dos chumbadores em pré-furos realizados no maciço, sendo posteriormente preenchidos com calda de cimento e aliados a um paramento em concreto projetado armado, (Figura 5).

Figura 5 - Solo-grampeado

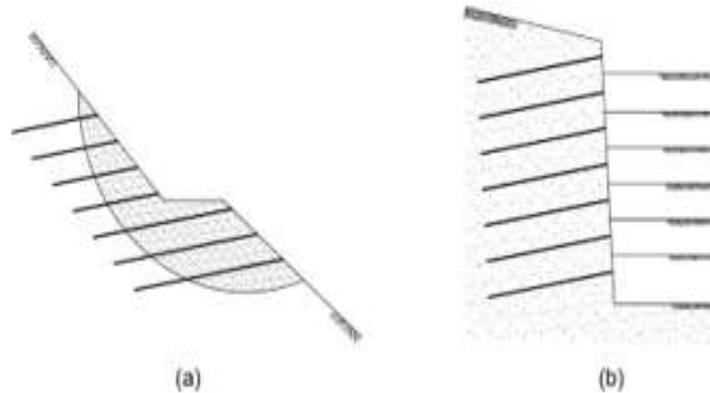


Fonte: Lima, 2007

A técnica é executada basicamente em duas situações: quando se necessita estabilizar um talude que apresenta baixa estabilidade (Figura 6a) ou para contenção de taludes em cortes (Figura 6b). A diferença entre essas duas situações é que na primeira não há necessidade de escavações e o elemento de reforço tem como objetivo reduzir os deslocamentos, enquanto que para a segunda há necessidade de escavações, as quais são realizadas em etapas alternadas. Outra diferença entre essas situações são

os esforços que solicitam o reforço. Na estabilização do talude, são mobilizados esforços cisalhantes e momentos fletores e na contenção de taludes, são mobilizados esforços de tração.

Figura 6 - a) estabilização de taludes; b) contenção taludes em cortes

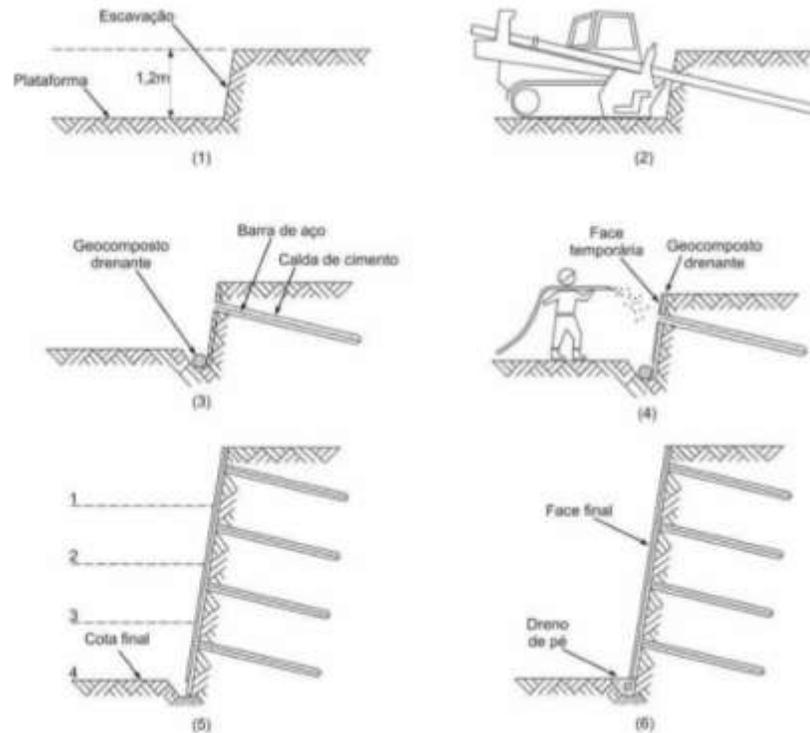


Fonte: Ortigão, 1995

2.4.4.1 Execução

Apresenta-se na Figura 4 a sequência de execução para contenção em solo grampeado: 1) escavação do maciço, 2) perfuração do solo, 3) inserção dos chumbadores e preenchimento dos furos com calda de cimento, 4) sistema de drenagem, 5) construção das etapas subsequentes, e 6) construção do paramento em concreto projetado armado com tela de aço, (Figura 7)

Figura 7 - Fases construtivas do solo grampeado



Fonte: Feijó, 2007

Quando o solo grampeado é aplicado para contenção de escavações, a altura máxima a ser escavada em cada etapa depende do tipo de solo e da inclinação do paramento. O talude deve permanecer estável durante as fases de escavação, instalação do reforço até a aplicação do revestimento de concreto projetado. A resistência ao arrancamento não drenada do material a ser escavado deve ser, no mínimo, 10 kPa, caso contrário não se pode executar a escavação (ORTIGÃO *et al*, 1995). Este valor é possível de se obter na maioria dos solos argilosos e arenosos. Esse processo será difícil somente para areias secas e solos argilosos muito moles. O Quadro 3 apresenta valores típicos de alturas de escavação para cada tipo de solo.

Quadro 3 - Tipos de solos e alturas de escavação

SOLO	ALTURA DE ESCAVAÇÃO EM CORTES VERTICAIS (m)
Silte	1,2 a 2,0
Argila	1,5 (normalmente adensada) e 2,5 (pré-adensada)
Areia	1,2 (medianamente densa com cimentação) 1,5 (densa com cimentação) 2,0 (cimentada)
Pedregulho	0,5 (com coesão aparente) 1,5 (cimentado)

Fonte: Clouterre, 1991

Iniciando com o corte do solo na geometria de projeto, segue-se com a execução da primeira linha de chumbadores e aplicação do revestimento de concreto projetado. Caso o talude já esteja cortado pode-se trabalhar de forma descendente ou ascendente, conforme a conveniência.

2.4.4.2 Perfuração

A perfuração dos furos é feita de forma a atender as especificações de projeto, bem como: comprimento, diâmetro, inclinação e espaçamentos horizontais. O pré-furo simples pode ser feito com equipamento manual (trado) ou equipamento mecânico, em geral, estes equipamentos variam de 50 kgf a 1000 kgf (FRANCO, 2010).

Após término da perfuração barras de aço são inseridas no furo, a fim de esperar a injeção da nata de cimento. Geralmente utilizam-se barras maciças de aço, mas há também relatos da utilização de elementos vazados e fibras sintéticas. Elementos vazados apresentam uma facilidade quando se deseja instrumentar o grampo, uma vez que o sistema de cabos da instrumentação é passado pela parte interna da barra. Visando estabelecer o cobrimento adequado das barras são utilizados centralizadores ao

longo das barras. Por último, procede-se com a injeção da nata de cimento por simples ação da gravidade. A seguir segue Figura 8 mostrando a perfuração manual dos furos.

Figura 8 - Perfuração do solo grampeado



Fonte: Feijó, 2007

2.4.4.3 Instalação e injeção

Concluída a perfuração, segue-se a instalação e fixação da armação metálica, que deve manter suas características de resistência ao longo do tempo. As nervuras devem receber tratamento anticorrosivo conforme a Tabela 2 da norma NBR 5629/2006, feito usualmente por meio de resinas poliméricas e calda de cimento.

Tabela 2 - Classe de agressividade

CLASSE	TIPO DE CHUMBADOR	PROTEÇÃO
1	Permanentes em meio agressivo ou provisórios em meio muito agressivo	Dupla com empenso de pintura anticorrosiva e calda de cimento
2	Permanentes em meio agressivo, ou provisórios em meio muito agressivo	Proteção simples através de calda de cimento injetada
3	Permanentes em meio não agressivo, ou provisórios em meio medianamente agressivo	Proteção simples através de calda de cimento injetada
4	Provisórios em meio não agressivo	Proteção simples através de calda de cimento injetada

Fonte: ABNT NBR 5629, 2006

Usualmente, a barra de aço tem diâmetro de 10 a 25mm. Ela deve ter uma dobra na sua extremidade (para diâmetros até 20mm), com cerca de 20cm, e ter centralizadores a cada 2m. A aplicação de placa e porca ocorre para barra com diâmetro igual ou superior a 22mm, quando não é possível dobrá-la.

Adjacente à barra, instala-se um ou mais tubos de injeção perdidos, de polietileno ou similar, com diâmetro de 8 a 15mm, providos de válvulas a cada 0,5m, a até 1,5m da boca do furo. A quantidade de tubos depende das fases de injeção previstas, e deve-se considerar um tubo para cada fase (SILVA, 2009).

A bainha é injetada pelo tubo auxiliar removível, de forma ascendente, com calda de cimento, fator água/cimento próximo de 0,5 (em peso), proveniente de misturador de alta turbulência, até que extravase na boca do furo. A bainha é a fase inicial de injeção em que se pretende recompor a cavidade escavada (Seo et al 2012).

Em seguida, lança-se o concreto projetado, que se trata de uma mistura de cimento, areia, pedrisco, água e aditivos, que é impulsionada por ar comprimido desde o equipamento de projeção até o local de aplicação, através de mangote.

O revestimento usual, para solos reforçados com grampos, é uma camada de concreto projetado com malha de tela soldada. Os próprios grampos são utilizados como

suporte para a tela e, em seguida, é aplicada uma camada de concreto projetado via úmida ou via seca. O equipamento utilizado para o solo grampeado é o via seca, a que será referido nos itens a seguir (Figura 9).

Figura 9 - Aplicação de concreto projetado sobre superfície de talude com tela soldada



Fonte: Lima, 2007

2.4.4.4 Drenagem

A drenagem é essencial para o perfeito funcionamento do sistema. Como em toda estrutura de contenção a drenagem deve ser dimensionada com base em um estudo hidrológico. A drenagem do sistema pode ser dividida em três partes, com funções distintas e essenciais ao sistema.

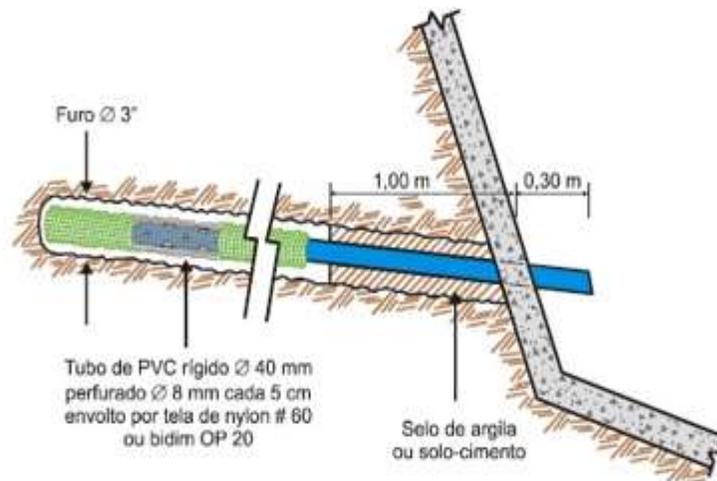
A primeira parte é a drenagem superficial do talude como um todo, por meio de canaletas, descidas d'água e demais elementos utilizados na drenagem pluvial. A ausência deste tipo de drenagem pode comprometer a estabilidade do maciço como um todo.

Outra drenagem adotada é a drenagem profunda do terreno, com intuito de aliviar pressões hidrostáticas. Esta drenagem profunda é realizada por meio dos drenos sub-

horizontais profundos, que são responsáveis por captar a água subterrânea que estão distantes da face do talude. Os drenos sub-horizontais profundos são tubos de PVC perfurados envolvidos em uma manta geotêxtil amarrada com arame recozido. A profundidade do dreno pode variar conforme o comprimento dos grampos e a avaliação do projetista.

O componente que completa toda a drenagem do sistema são os drenos de paramento. O mais usual é o barbacã. Que é composto por tubo de PVC geralmente com comprimento de 50 cm, posicionado na face do talude. O dreno barbacã é responsável pela drenagem da água que chega até o revestimento do solo grampeado (Figura 10)

Figura 10 - Detalhe esquemático de dreno



Fonte: Zirlis, 1999

2.5 Especificações de projeto

Estas especificações foram utilizadas por Clouterre (1991), onde aborda comprimentos, distancias e angulação dos grampos que serão empregados na contenção do solo, sendo assim será abordado alguns detalhes que foram utilizados para o cálculo dos mesmos.

2.5.1 Espaços entre grampos (S)

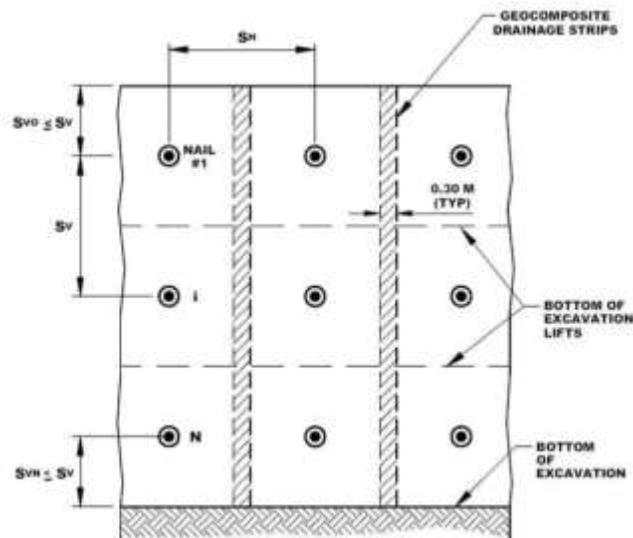
Os grampos têm um limite de espaçamento S que deve ser respeitado, os valores são:

- O espaçamento horizontal deve ser aproximadamente igual ao espaçamento vertical ($S_H \approx S_V$);
- O valor de S deve estar entre 1,20 e 1,80 m;
- A relação do produto entre S_H e S_V deverá estar entre 3,30 e 3,90 m².

2.5.2 Outros espaçamentos (SVO e SVN)

SVO é o espaçamento entre a primeira fileira de grampos e o ponto máximo ou mais alto onde foi feita a escavação. E o seu valor deverá estar entre 0,60 e 1,00 m, sabendo que o valor de SVO será sempre abaixo do valor de S_V . O espaçamento entre o pé da escavação e a última fileira de grampos é indicado por SVN e este deve estar entre 0,60 e 0,90 m, sendo que SVN também é sempre menor que S_V . Figura 11.

Figura 11 - Espaçamento entre os grampos



Fonte: Clouterre, 1991

2.5.3 Inclinação dos grampos

A inclinação dos grampos é em relação à horizontal e deve estar compreendida entre 10° e 20° , sendo comumente empregado o valor de 15° . Entretanto, este valor não deve ser menor que 10° , pois pode criar bolsas de ar durante as injeções que consequentemente diminuiriam o valor da resistência de aderência (pullout resistance).

2.5.4 Comprimento dos grampos (L)

O pré-dimensionamento, deve utilizar aproximadamente o valor de 0,7 vezes a altura da escavação (H). Recomenda-se que o seu valor esteja entre 0,5 H e 1,2 H, embora sejam poucas as ocasiões em que o comprimento dos grampos sejam menores do que 0,6 H. Se necessários valores de L maior do que 1,2 H, deve-se reavaliar se o solo grampeado é a melhor solução para o reforço do maciço (CLOUTERRE, 1991).

Para Clouterre (1991), o comprimento deve obedecer às seguintes especificações:

- $0,5 \leq L \leq 0,7 H$ para grampos cravados, quando estes estão bem próximos entre si (cerca de 1 ou 2 grampos por metro quadrado);
- $0,8 \leq L \leq 1,2 H$ para grampos perfurados, quando estes possuem uma distribuição de aproximadamente 1 grampo para cada 2,5 a 6 m².

2.6 Metodologia de cálculo

2.6.1 Método Francês

O método francês de pré-dimensionamento, apresentado pelo Projeto Clouterre (1991), lança mão de ábacos de estabilidade para calcular o valor do fator de segurança para a superfície de ruptura global. Ele relaciona a densidade de grampeamento (d), tangente do ângulo de atrito interno ($\tan \phi$) e a relação de estabilidade N.

O método exige que o perfil tenha solo em camada única em toda a sua profundidade, não apresente nível d'água, tenha uma altura máxima de 5 m, não haja sobrecarga nem grampos protendidos e nem haja estruturas ao redor que poderiam afetar o muro (CLOUTERRE, 1991).

Para cálculo da densidade de grampeamento utiliza-se a Equação 8 abaixo, sendo $0,1 \leq d \leq 1,0$:

$$d = \frac{t}{\gamma * S_v * S_h} \quad (8)$$

Onde:

t [kN/m] = resistência de aderência unitária;

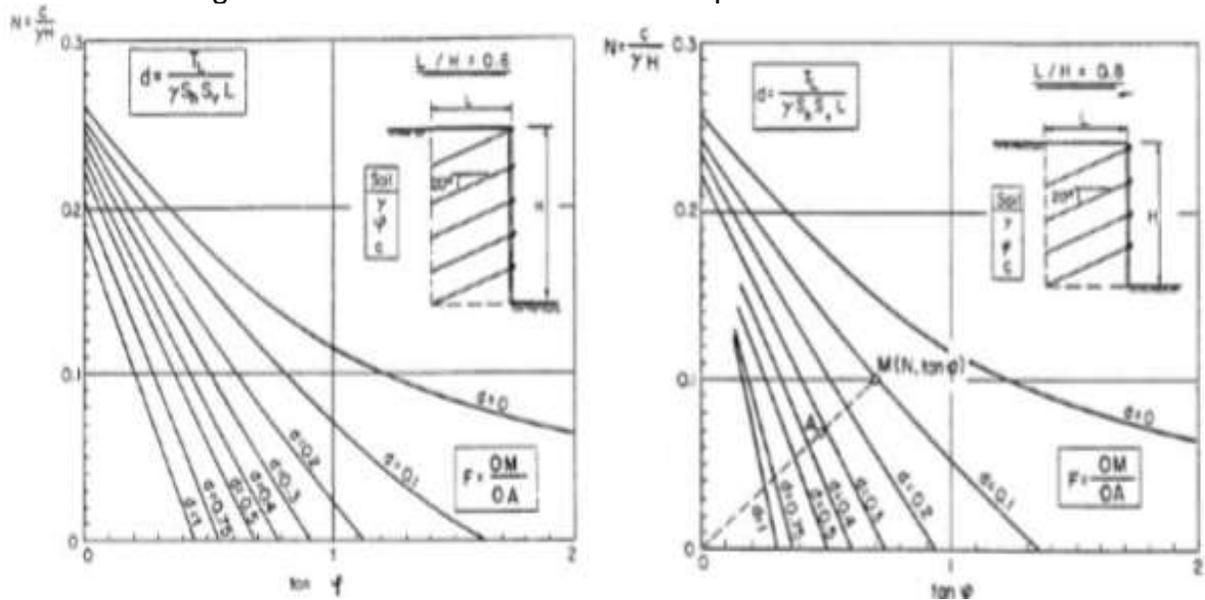
γ [kN/m³] = peso específico do solo;

S_v [m] = espaçamento vertical dos grampos;

S_h [m] = espaçamento horizontal dos grampos;

Para cada valor da relação L/H (comprimento do grampo / altura do paramento) tem-se um diferente ábaco. Os valores de L/H são: 0,6, 0,8, 1,0 e 1,2. Ressalta-se que esses ábacos consideram o comprimento do grampo constante em todas as fileiras e de inclinação 20°. A Figura 12 apresenta dois exemplos de ábacos de estabilidade

Figura 12 - Ábaco de estabilidade de pré-dimensionamento

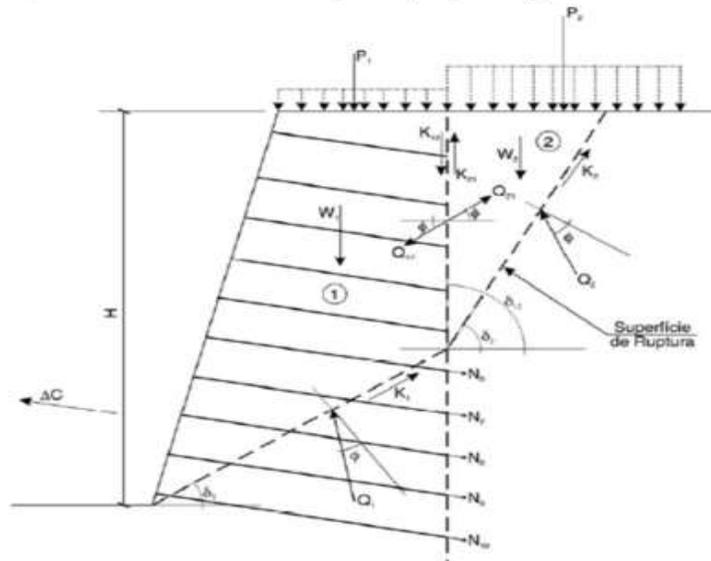


Fonte: Clouterre, 1991

2.6.2 Método Alemão

Este método foi proposto por Stocker et al. (1979) *apud* Silva (2009) e considera, a partir do método de equilíbrio limite, que a estrutura de solo-reforço se comporta como um muro de gravidade. Foi desenvolvido, a partir de observações e resultados de ensaios realizados em modelos de escala reduzida, considerando que a superfície de ruptura é composta por dois segmentos de reta (bilinear) (Figura 13).

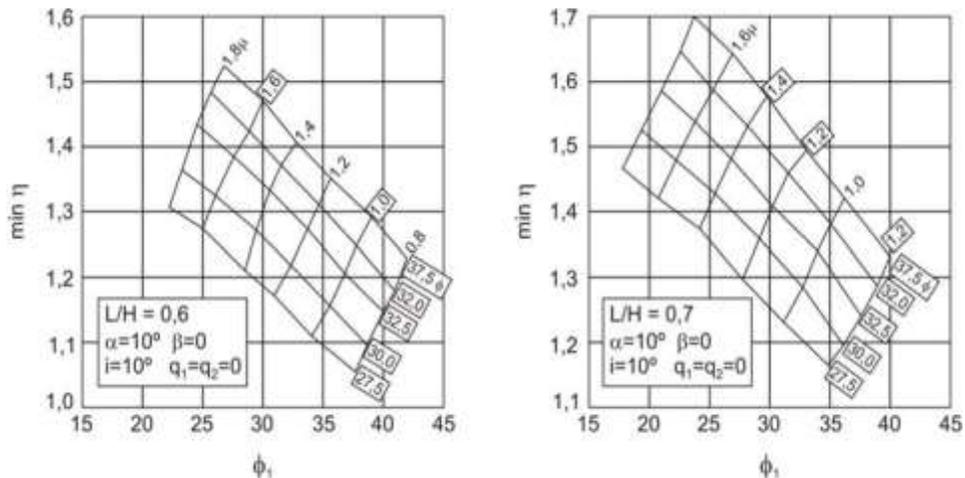
Figura 13 - Mecanismo de ruptura proposta por Stock



Fonte: Silva, 2009

Silva (2009) buscaram avaliar a influência da variação de cada parâmetro no fator de segurança mínimo. A partir das análises realizadas, os fatores de segurança mínimos foram calculados e apresentados em função de outras variáveis, criando-se ábacos que podem auxiliar no dimensionamento destas estruturas (Figura 14).

Figura 14 - Ábacos para cálculo da estabilidade de casos padronizados

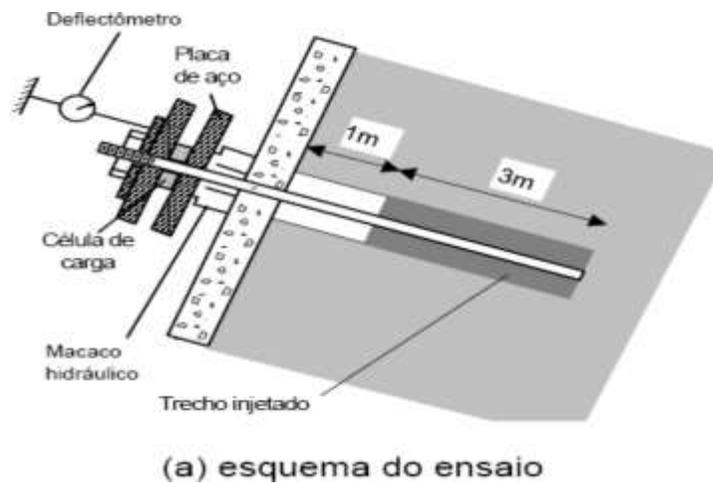


Fonte: Silva, 2009

2.6.3 Resistência ao arrancamento

A resistência ao arrancamento é um dos parâmetros mais importantes em projetos de solo grampeado. Essa resistência se desenvolve na interface entre solo e grampo, e é designada na literatura como tensão q_s . O método mais indicado de determinação desse parâmetro é através do ensaio de arrancamento (“pull out test”), esquematizado na Figura 15.

Figura 15 - Esquema de aparato para execução de ensaio de arrancamento



Fonte: Lima, 2007

É possível obter a tensão q_s pela Equação 9:

$$T_{\max} = n \cdot D \cdot L_a q_s \quad (9)$$

Onde:

D: diâmetro do furo;

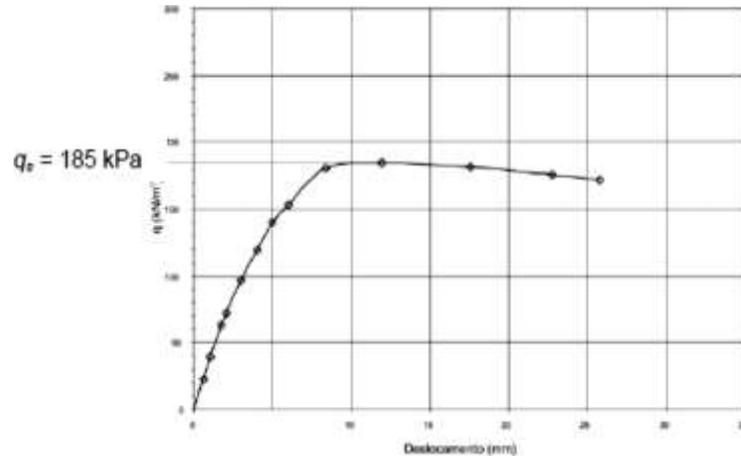
L_a : comprimento ancorado atrás da superfície de ruptura;

T_{\max} : máxima força aplicada

q_s : atrito unitário solo X grampo na ruptura.

A análise da relação tensão e deformação no decorrer do ensaio, permite avaliar qual a carga máxima para qual ocorre ruptura do solo na interface (Figura 16)

Figura 16 - Resultado de ensaio de arrancamento em solo residual não saturado



Fonte: Feijó 2007.

Na cidade de Salvador, Bahia, foram executados em 2001, ensaios para obra de reforço em solo grampeado, obtendo valores de resistência a tração nos grampos da ordem de 47 a 63 kPa. A quantidade de ensaios, no entanto, não foi significativa para uma representatividade das características do solo da cidade (Tabela 3).

Tabela 3 - Carga de trabalho e arrancamento dos grampos

Grampo	Comprimento (m)	Carga de Trabalho (KN)	Carga de Arrancamento (KN)
02 – Cima	6,0	70	100
02 – Baixo	3,0	30	60
01 – Baixo	4,0	70	100
03 – Cima	4,0	30	60
01 -Cima	3,0	40	60

Fonte: Silva, 2009

Típicos valores da resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo, para grampos cravados e perfurados, instalados em vários tipos de solos com diferentes metodologias executivas, são apresentados na Tabela 4 (LIMA, 2007).

Tabela 4 - Estimativa da resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo q_s

Material	Método Construtivo	Tipo de Solo/Rocha	q_s (kPa)
Solos granulares/finos	Perfuração rotativa	Areia/pedregulho Silte arenoso Silte	100-180
		Solo residual Colúvio (+ finos)	100-150 60-75 40-120 75-150
	Grampos cravados	Areia/pedregulho (pequeno	190-240
		cobrimento) Areia/pedregulho (elevado	280-430
Solos coesivos	Perfuração a trado	Silte arenoso (aterro) Silte arenoso	20-40
		Silte argilo-arenoso	55-90 60-140
	“jet grouting”	Areia	380
Solos coesivos	Perfuração rotativa	Areia/pedregulhos	700
		Silte argiloso	35-50
	Grampos cravados	Areia siltosa	90-140
Solos coesivos	Perfuração a trado	“Loess” Argila mole Argila rija	25-75
		Silte argiloso rijo	20-30
		Areia argilosa (calcárea)	40-60 40-100 90-140

Fonte: Lima, 2007

Alguns métodos de estimativa do valor da resistência ao cisalhamento na interface solo-grampo (q_s) podem ser adotados como parâmetros iniciais. No entanto, diversos autores afirmam que a adoção desses métodos deve ser conjunta com o

controle durante a execução por meio de ensaios de arrancamento, para que se confirme o valor adotado em projeto.

Lima (2007) efetuou uma avaliação de diferentes métodos empíricos, que correlacionam o valor de q_s com o número de golpes (N) no ensaio de sondagem a percussão (SPT). Os valores obtidos para um solo com N(SPT) de 10 golpes variaram de forma muito acentuada dentre os valores determinados por cada método (Tabela 5), demonstrando necessidade de um número maior de ensaios para que se possa adotar a correlação que melhor se adapta a realidade do solo estudado.

Tabela 5 - Determinação de Q_s por correlações empíricas

Referência	Correlação	Valor de q_s para N(SPT)=10
Ortigão (1997)	$q_s = 50 + 7,5 N(\text{SPT})$	125kPa
Ortigão et al. (1997)	$q_s = 67 + 60 \ln N(\text{SPT})$	205kPa
Clouterre (1991)	Figura 2.26a e 2.26b	50kPa (argila) 80kPa (areia)
Springer (2006)	Springler (2006)	89kPa

Fonte: Lima, 2007

Zirlis et al. (1999) ressaltam que as análises matemáticas, por meios eletrônicos ou manuais, não permitem definir previamente por si só qual o projeto mais seguro ou econômico, quer pelas insuficientes informações do subsolo, usualmente oferecidas para projeto, quer pela grande dificuldade em simular o comportamento específico dos solos brasileiros, especialmente dos residuais e dos sedimentos terciários.

Segundo Ortigão (1997) *apud* Lima (2007), o desempenho do grampo quanto à resistência ao cisalhamento no contato solo-grampo, pode ser melhorado com os seguintes cuidados:

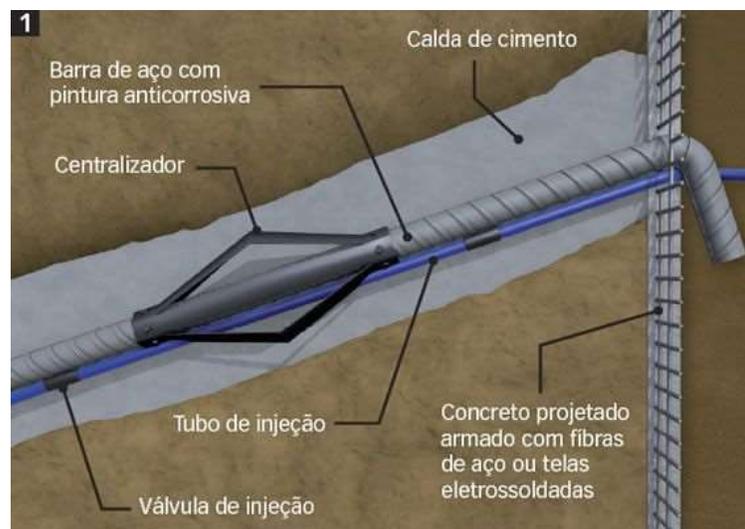
- Limpeza do furo: a limpeza do furo durante a perfuração pode ser realizada a seco (com ar comprimido) ou utilizando água ou outro fluido na lavagem (com equipamentos rotativos);
- Materiais e fator água-cimento: empregando componentes de calda de

cimento adequados, com fator água-cimento apropriado;

- Aditivos: um importante aditivo é o expansor de calda de cimento, que evita a retração e, conseqüentemente, a diminuição do atrito. Outro aditivo é o acelerador de pega, permitindo a mobilização do reforço em menor tempo;
- Tubo lateral de injeção: a utilização de uma tubulação plástica lateral de injeção deve ser prática obrigatória, especialmente em grampos longos com comprimento maior que 3m, pois é essencial garantir que a calda preencha todo o furo;
- Espaçadores e centralizadores: são dispositivos simples que podem ser fabricados na própria obra, instalados a cada 2 ou 3m ao longo da barra de aço. Garantem que a barra seja centrada no furo.

Zirlis et al. (1999) ressaltam que, o item de maior relevância dentre as causas para queda de arrimo construído pela técnica de solo grampeado, é a má execução do chumbador, e que a execução de injeções sejam realizadas em no mínimo 3 fases: bainha, primeira fase e segunda fase, para garantir aumento de resistência ao arrancamento pelo efeito da injeção, Figura 17.

Figura 17 - Detalhe representativo de partes constituintes de chumbador



Fonte: Zirlis, 1999

2.6.4 Resistência a flexão do grampo

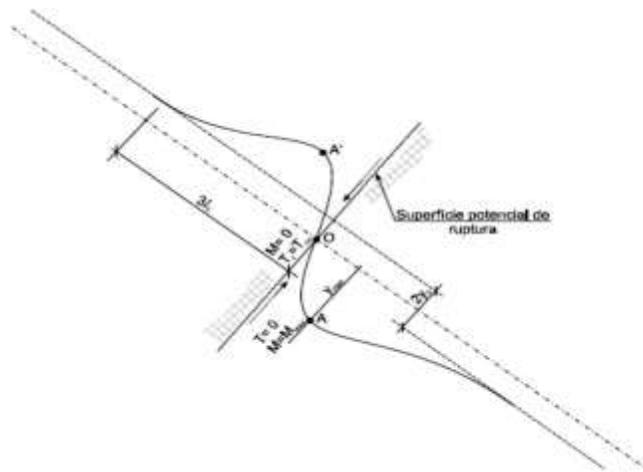
As solicitações nos grampos são, na maioria dos casos, os esforços normais. No entanto, possíveis solicitações transversais ao grampo podem promover o surgimento de esforços cisalhantes e fletores. Em taludes de inclinações elevadas e grampos de baixa rigidez, esses esforços são modestos, sendo necessários grandes deslocamentos para mobiliza-los.

Feijó (2007) orienta que para esse tipo de esforço, as deformações nos grampos podem ser calculadas considerando os reforços como sendo estacas solicitadas a carregamento horizontal lateral.

Feijó (2007) ressalta também, que tais solicitações vêm sendo motivo de discussão entre estudiosos da área de geotecnia a anos, e que o impasse sobre a real contribuição dos esforços cisalhantes e fletores nos grampos para a estabilidade global continua sem respostas definitivas.

Na Figura 18, um modelo representativo dos esforços locais transversais no grampo. T_c representa as tensões cisalhantes e M , os momentos fletores. No ponto O , interseção da superfície de ruptura e grampo, a tensão cisalhante atinge seu valor máximo (T_{c0}), correspondente ao momento fletor nulo. Ao contrário, nos pontos A e A' o momento fletor atinge seu valor máximo e $T_c = 0$. O comprimento l_0 é definido como sendo a distância entre os pontos O e A .

Figura 18 - Analogia do grampo a uma estaca carregada horizontalmente no topo



Fonte: Feijó, 2007

2.6.5 Equações para cálculo das cargas e dos grampos

Cálculo da carga de solitação de cada grampo, (Equação 10)

$$R_s = A * \gamma_s * d_v * \cos \alpha \quad (10)$$

Onde:

R_s = Carga de solitação de cada grampo;

A = Área da lamela;

γ_s = Peso específico do solo;

d_v = Distância entre os grampos;

$\cos \alpha$ = Cosseno do ângulo do grampo com a vertical do talude;

Cálculo da resistência ao arrancamento do grampo, (Equação 11).

$$L_e = \frac{(L - L_s)}{\cos \alpha} \quad (11)$$

Onde:

L_e = Comprimento do grampo entre sua extremidade interna e a superfície de ruptura;

L = Comprimento total do grampo;

L_s = Comprimento do início do talude até a superfície de ruptura;

$\cos \alpha$ = Cosseno do ângulo do grampo;

Tensão vertical atuante em cada grampo, (Equação 12).

$$\sigma_v = \gamma_s * Z \quad (12)$$

Onde:

σ_v = Tensão vertical em cada grampo;

Z = Comprimento entre o final da superfície de ruptura e a base do talude;

Resistência de arrancamento de cada grampo, (Equação 13).

$$R_t = L_e * U * \sigma_v * \tan \phi \quad (13)$$

Onde:

R_t = Resistência de arrancamento do grampo;

U = Perímetro do furo;

Tang ϕ = Tangente do ângulo de atrito interno do solo;

Fator de segurança dos grampos, (Equação 14).

$$FS = \frac{R_t}{R_s} \quad (14)$$

Onde:

FS = Fator de segurança do arrancamento do grampo;

Cálculo da carga atuante no grampo, (Equação 15).

$$R_{sd} = 1,4 * R_s \quad (15)$$

Onde:

R_{sd} = Carga de cálculo atuante no grampo.

Logo abaixo está o Quadro 4 onde determina qual será o diâmetro da barra do grampo, o diâmetro mínimo do furo para utilização desta barra e a carga de trabalho junto com a carga máxima de trabalho, determinando assim qual o grampo melhor irá atuar na contenção.

Quadro 4 - Propriedades e características dos grampos

Tipo de aço	Tipo de seção	Diâmetro da barra (mm)	Diâmetro mínimo recomendado do furo (mm)	Carga máxima de ensaio (Tensaio)	Carga de trabalho (Ttrabalho)
CA 50 A	Plena	12,5	75	55	30
		20	100	140	80
		25	100	230	130
		32	100	360	200
	Reduzida com rosca	25	100	190	110
		32	100	260	160
Incotep-13-D	Reduzida com rosca	22	100	220	125
Incotep-22-D		30	100	380	215
Rocsolo ST 75/85	Plena	22	100	210	125
		25		280	165
		28		360	200
	41	125	660	375	
			890	510	

Fonte: Adaptado pelos Autores, 2019

2.6.6 Vantagens e limitações

A técnica de solo grampeado apresenta atrativos técnicos e econômicos no reforço e estabilização de solos. Algumas vantagens que incentivaram o desenvolvimento da técnica nas últimas três décadas, são as seguintes:

Baixo custo – No solo grampeado o único elemento estrutural utilizado para a estabilização são os grampos. A proteção do talude em concreto projetado ou outro revestimento, como, por exemplo, revestimentos pré-fabricados, proteção superficial com vegetação, entre outros, têm custos relativamente mais baixos e podem permitir uma considerável economia em relação às outras soluções convencionais.

- Equipamentos leves – O solo grampeado pode ser executado utilizando-se equipamentos leves e de fácil manuseio. Em geral são utilizadas sondas rotativas de pequeno porte para a execução dos furos e a injeção da calda de cimento se processa, em geral, por gravidade. O revestimento pode ser aplicado manualmente ou utilizando-se um equipamento de projeção de concreto.

- Velocidade na execução – Tanto o grampeamento do solo, quanto a execução do paramento são etapas de rápida execução. Utilizando equipamentos adequados, como perfuratrizes na introdução dos furos no maciço e aplicando concreto projetado como revestimento, é possível se completar uma faixa de aplicação em pouco tempo, garantido agilidade no andamento da obra.
- Adaptação às condições locais – Devido à utilização de equipamentos de pequeno e médio porte e ao seu processo executivo, o solo grampeado é de fácil adaptação a diferentes tipos de condições geométricas de taludes, como inclinações e sinuosidades.
- Flexibilidade – Essa característica traz vantagens na aplicação em regiões de atividade sísmica ou em áreas com cargas dinâmicas.
- Possibilidade de estruturas mistas – É possível aplicar a técnica como solução conjunta com outros tipos de contenção.

Por outro lado, algumas limitações devem ser observadas ao se indicar a aplicação de solo grampeado como intervenção para promover a estabilidade de taludes dentre elas:

- Presença de nível d'água – O uso da técnica de grampeamento na presença de água deve estar associado a um eficiente sistema de rebaixamento permanente do lençol para que se permita a execução.
- Condições de drenagem – Em condições de drenagem inadequada, a saturação do solo e o aumento da poro-pressão levam a redução do atrito solo/grampo. Esse fato pode levar grandes perdas de resistência ao cisalhamento, levando a uma situação passível de escorregamento do chumbador.
Assim como, nessas situações podem ocorrer problemas de durabilidade dos grampos.
- Movimentação lateral e vertical – Devido a sua característica de flexibilidade, o solo grampeado gera deslocamentos horizontais e verticais no solo durante e posteriormente ao seu processo executivo.

Estudos mostram que durante a execução da técnica, ocorre no solo fenômeno semelhante ao de “creep” (rasteja da massa de solo em velocidades lentas e segundo

planos de ruptura não definidos). Esses deslocamentos variam em geral de 0,30% a 0,50%H, onde H é a altura de escavação, podem gerar problemas a construções sensíveis a recalques, sendo de grande importância o acompanhamento dessas deformações em áreas urbanas ou em outras regiões com a presença de estruturas vizinhas.

- Condições de solo – Areias sem coesão aparente, solos contendo alta percentagem de argila, onde o teor de umidade pode aumentar depois da construção, devido ao possível ingresso de água que acarretaria uma perda da resistência do solo e, conseqüentemente, uma significativa redução da resistência ao cisalhamento solo grampo, pode dificultar a implantação do solo grampado (BOLTON e STEWART, 1990 *apud* LIMA, 2007).

Em argilas moles, com LL maior que 20% e resistência não-drenada (S_u) menor que 50kPa, não se indica este tipo de solução por causa de possíveis movimentações associadas de fluência (ABRAMSON et al., 1996 *apud* LIMA, 2007). Entretanto, em estruturas temporárias, a aplicação da técnica de solo grampeado pode ser eficiente em solos moles (ORAL, 1998 *apud* LIMA, 2007).

3 METODOLOGIA

A pesquisa científica constitui em etapas ordenadamente apresentadas, de maneira lógica e racional, em que o pesquisador deverá ter conhecimento para aplicá-las corretamente. Nessas etapas existem vários tipos de pesquisas.

De acordo com Horst (2007), a pesquisa experimental é toda pesquisa que envolve algum tipo de experimento. Neste tipo de estudo, o pesquisador atua na causa ativamente na condução do processo ou do fato avaliado, selecionando as variáveis que serão estudadas, define a forma de controle, modificando-a, e avalia as mudanças na conclusão. Sendo tido como o melhor tipo de pesquisa científica pelo fato de as variáveis poderem ser manipuladas pelo pesquisador, proporcionando maior confiabilidade em seus resultados.

Horst (2007) ainda cita a pesquisa laboratorial com sua principal realização em ambiente controlado para reproduzir o fenômeno objeto do estudo, além da utilização de instrumentos específicos de coleta e análise de material. Em vista disso, será observado neste trabalho a utilização do método da pesquisa experimental.

A metodologia aqui descrita aborda desde a preparação da metodologia de cálculo, a caracterização do talude através de programas e a realização dos cálculos para a contenção.

Foi desenvolvida mediante pesquisa bibliográfica com base de dados em trabalhos acadêmicos, livros e revistas. Como critério de seleção adotou-se estudos que discutem o tema abordado com maior coerência aos objetivos do trabalho, auxiliando na elaboração de apresentação e análise de dados, uma vez que abordam diretamente o assunto a ser desenvolvido, com maior riqueza de detalhes e conteúdo.

3.1 Ensaio e análise da estabilidade do talude

O talude abordado se encontra na Avenida Armando Alves da Silva na Cidade de Caratinga – Minas Gerais. Figura 19.

Figura 19 - Talude do estudo



Fonte: Autores, 2019

Logo em seguida na Figura 20, podemos obter uma melhor identificação da localização do talude, que se encontra nas proximidades do Cento Universitário de Caratinga (UNEC), em frente a última rotatória existente na avenida.

Figura 20 - Localização do talude



Fonte: Google Maps, 2011

O primeiro ensaio feito do talude em estudo foi o SPT, para determinar quais os tipos de solo encontrados e os seus parâmetros de acordo com o Quadro 1 e 2 da revisão bibliográfica.

Concluída determinação dos parâmetros do solo, estes foram utilizados no programa GeoStudio para análise da superfície de ruptura do talude, através de suas dimensões e as determinações de cada camada do solo encontrada, com isto o software além de desenhar a superfície de ruptura mostrará o valor do fator de segurança do talude em análise.

Inicialmente para se calcular a carga de solicitação de cada grampo são necessários alguns dados como: área da lamela, peso específico do solo, distância entre os grampos e o cosseno do ângulo do grampo com o solo, conforme a Equação 10. Após encontrado a carga de solicitação de cada grampo é feito o cálculo da resistência ao arrancamento do grampo, junto com o cálculo do fator de segurança de cada arrancamento, a sequência das equações utilizadas para se chegar nos valores de cada uma são as Equações 11 a 14 da revisão bibliográfica, e finalizado os cálculos de solicitação e arrancamento, foi calculada através da Equação 15 a carga atuante no grampo e com base nas opções do quadro 4, escolhe-se o grampo adequado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Valores dos parâmetros para os cálculos

O ensaio de SPT deste talude está no Apêndice A, e foi utilizado para o cálculo a média dos valores N_{SPT} e assim através de correlações determinou-se o peso específico, ângulo de atrito interno e a coesão do solo.

Assim o valor de N_{SPT} médio foi utilizado para obter os parâmetros do solo do talude, estas correlações foram abordadas na revisão bibliográfica no Quadro 1 e 2 e na Equação 1, dentre estes, os valores adotados seguem conforme mostrado abaixo o Quadro 5.

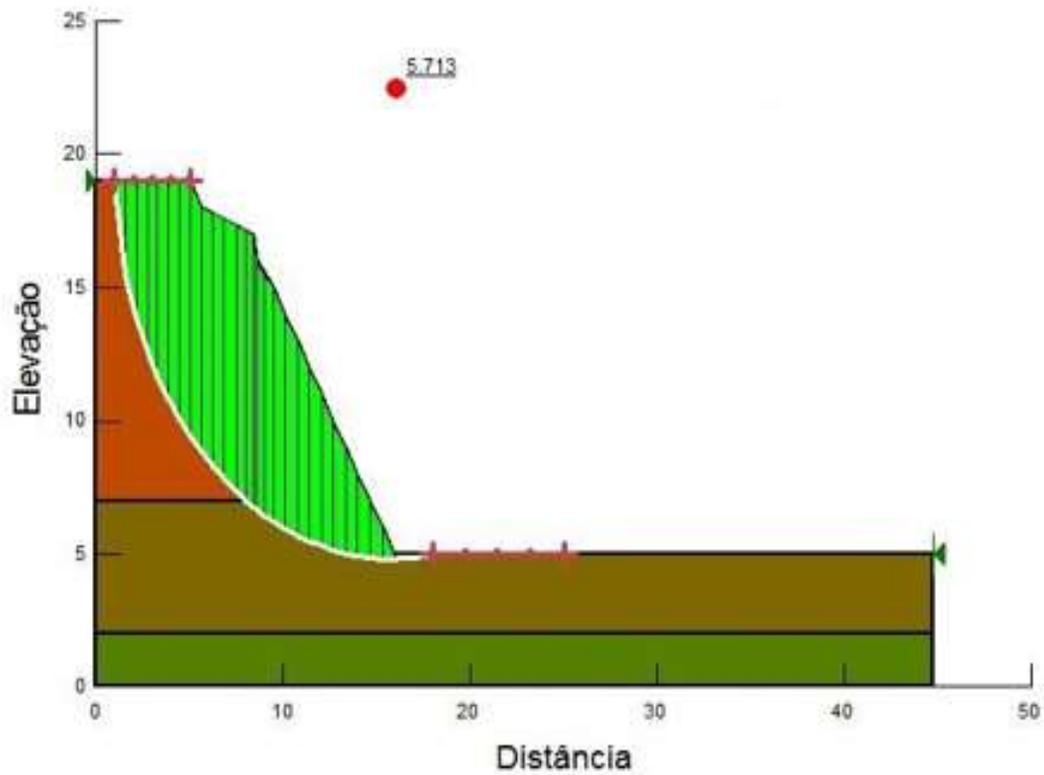
Quadro 5 - Parâmetros e valores do talude

Parâmetros	Valores
Coesão	100 KPa
Peso Específico	19 KN/m ³
Ângulo de atrito	32°

Fonte: Autores, 2019

Após a obtenção dos valores dos parâmetros do solo do talude em estudo, foi utilizado o software GeoStudio 2019, onde foi inserido estes dados, junto com as dimensões do talude e assim o programa calculou o fator de segurança e a superfície de ruptura do mesmo. Figura 21.

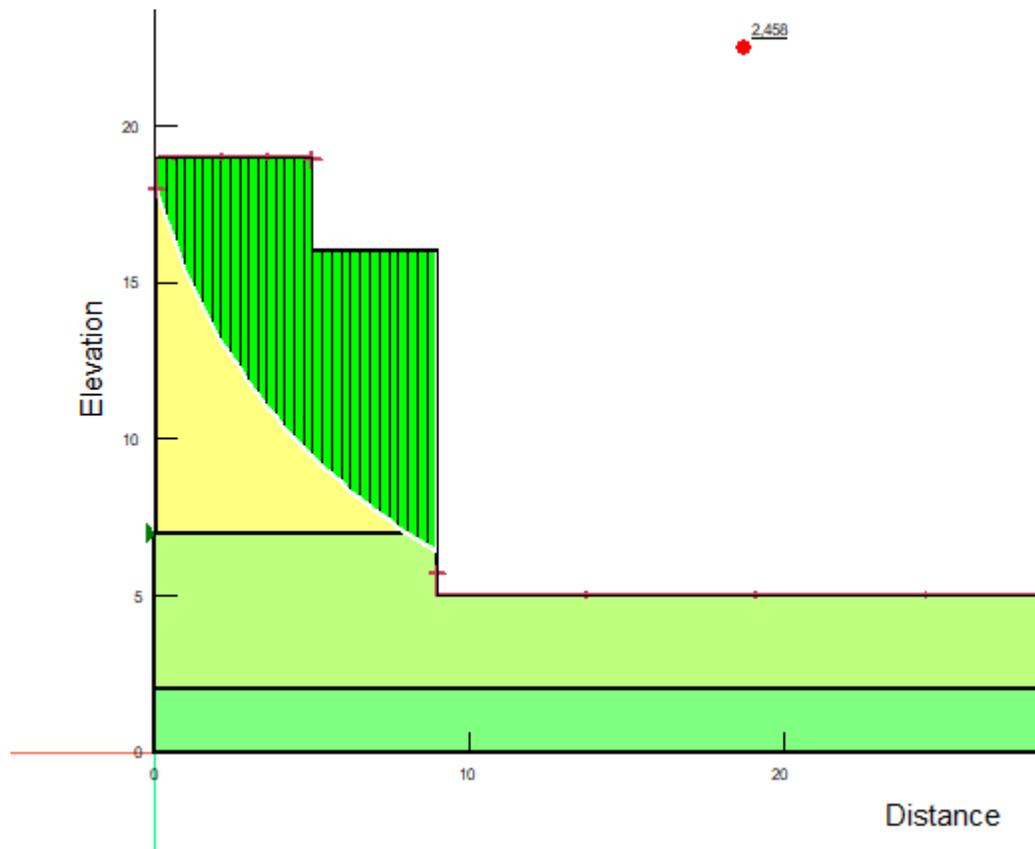
Figura 21 - Superfície de ruptura do talude natural pelo software GeoStudio



Fonte: Autores, 2019

Como o talude tem um fator de segurança muito alto com valor de 5,713, foi feita uma análise de retaludamento para se ter um maior aproveitamento do local. Foi adotado um corte em 90° e assim foi recalculado o fator de segurança através do programa como mostra a Figura 22.

Figura 22 - Área de ruptura após retaludamento pelo Software GeoStudio 2019



Fonte: Autores, 2019

Como mostrado pelo programa GeoStudio, o fator de segurança calculado por ele é de $FS = 2,458$, demonstrando que o talude está estável, o que permite a adoção de várias técnicas de contenção com segurança, entre elas a cortina atirantada e o solo grampeado, objetos de comparação neste trabalho.

4.2 Parâmetros de cálculo do solo grampeado

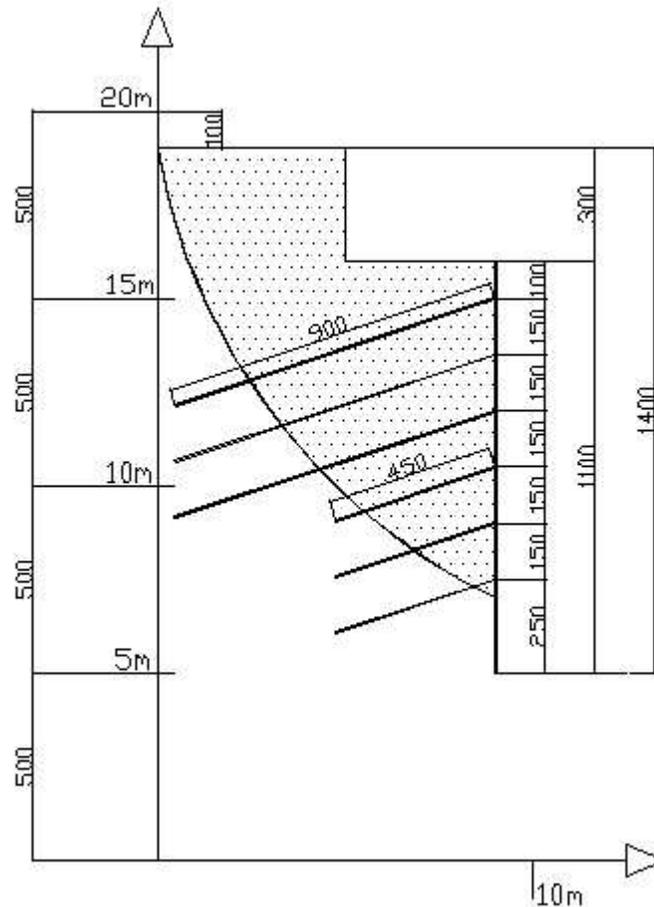
Com o corte em 90° a altura do talude para a execução da contenção com a técnica de solo grampeado é de 11 metros. Foi utilizado os dados obtidos pelo programa GeoStudio, para determinar um comprimento inicial dos grampos para posterior verificação do atendimento dos esforços atuantes nos mesmos.

Sendo assim, como mostrado na revisão bibliográfica, os valores que melhor se adequaram para o talude em estudo foram:

- Distância entre a base e o grampo: 1 metro;
- Distância entre os grampos: 1,50 metros;
- Comprimento dos grampos superiores: 9 metros;
- Comprimento dos grampos inferiores: 4,50 metros;

Abaixo segue a Figura 23 com as dimensões dos grampos de acordo com a área de ruptura encontrado pelo GeoStudio.

Figura 23 - Dimensão dos grampos no talude



Fonte: Autores, 2019

4.3 Valores de arrancamento e grampos

Após obter todos os parâmetros do solo e a análise do talude com o Geostudio, foi feito o procedimento dos cálculos para chegar aos resultados de carga de arrancamento, fator de segurança, comprimento dos grampos, quantidades e diâmetros, através dos cálculos chegou-se ao Quadro 6 como mostrado abaixo.

Quadro 6 - Resultados calculados dos grampos

Chumbador	Ls	Le	U	Z	Tensão Vertical	Rs	Rt	Fs
C1	7,04	2,06	0,3142	5,80	110,20	27,04	44,57	1,65
C2	6,16	2,98	0,3142	7,07	134,00	27,04	78,40	2,90
C3	5,14	4,06	0,3142	8,33	158,00	27,04	125,94	4,66
C4	4,00	0,53	0,3142	6,55	124,45	27,04	12,94	0,48
C5	2,57	2,03	0,3142	7,71	146,49	27,04	58,38	2,15
C6	1,19	3,48	0,3142	8,82	167,58	27,04	114,49	4,23

Fonte: Autores, 2019

De acordo com o Quadro 4 será utilizado o aço CA-50 de seção plena com diâmetro da barra de 16mm e diâmetro do furo igual a 100mm. Conforme a dimensão do talude serão 9 (nove) barras na horizontal e 6 (seis) barras na vertical, totalizando 54 (cinquenta e quatro) barras de aço.

4.4 Comparativo de orçamento

Após os procedimentos de cálculo para se obter tamanho, quantidade e as cargas atuantes nos grampos, foi realizada a análise de orçamento comparativo entre o solo grampeado e cortina atirantada, sendo que os quantitativos desta foi obtido do trabalho “Estudo de caso: Contenção de talude por cortina atirantada” do autor Sâmequi de Paiva para o mesmo talude em estudo.

Os valores apresentados no presente orçamento tiveram como base a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa e Custos e Índices (SINAPI) MG, de maio/2019, abaixo segue o Quadro 7 do orçamento do solo grampeado.

Quadro 7 - Orçamento para obra de solo grampeado

DISCRIMINAÇÃO	UND	QUANT.	PREÇO (R\$)	TOTAL (R\$)
DRENOS RASOS 40MM ÂNGULO	UND	54	R\$ 15,36	R\$ 829,44
TELA TELCON Q61 DE ACO SOLDADA NERVURADA, CA-60, T-196, (2,11 KG/M2), DIAMETRO DO FIO = 5,0 MM, M2 10,42 LARGURA = 2,45 M, ESPACAMENTO DA MALHA = 30 X 10 CM	M ²	189	R\$ 10,42	R\$ 1.969,38
ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	651,2	R\$ 4,42	R\$ 2.878,30
CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	14113,33	R\$ 0,37	R\$ 5.221,93
ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	79,17	R\$ 51,15	R\$ 4.049,55
CAMINHÃO PIPA 6.000 L, PESO BRUTO TOTAL 13.000 KG, POTÊNCIA 189 CV, CAPACIDADE 6 M3 - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	36,8	R\$ 140,57	R\$ 5.172,98
CAMINHÃO PIPA 6.000 L, PESO BRUTO TOTAL 13.000 KG, POTÊNCIA 189 CV, CAPACIDADE 6 M3 - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	43,81	R\$ 32,89	R\$ 1.440,91
TARIFA "A" ENTRE 0 E 20M3 FORNECIMENTO D'AGUA	M3	390,53	R\$ 16,46	R\$ 6.428,12
CENTRALIZADOR DE BARRA DE ACO (CHUMBADOR TIPO CARAMBOLA), PARA ACO ATE 20 MM	UN	145,8	R\$ 1,01	R\$ 147,26
TUBO / MANGUEIRA PRETA EM POLIETILENO, LINHA PESADA OU REFORCADA, TIPO ESPAGUETE, PARA INJECÃO DE CALDA DE CIMENTO, D = 1/2", ESPESSURA 1,5 MM	M	1093,5	R\$ 1,14	R\$ 1.246,59
PINTURA COM TINTA PROTETORA ACABAMENTO GRAFITE ESMALTE SOBRE SUPERFICIE METALICA, 2 DEMAOS	M2	18,34	R\$ 33,17	R\$ 608,34
ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	80,56	R\$ 20,52	R\$ 1.653,09
OPERADOR DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	241,7	R\$ 20,98	R\$ 5.070,87
SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	250	R\$ 14,76	R\$ 3.690,00
PERFURATRIZ MANUAL, TORQUE MÁXIMO 83 N.M, POTÊNCIA 5 CV, COM DIÂMETRO MÁXIMO 4" - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	36,8	R\$ 5,24	R\$ 192,83
MÁXIMA DE 100 LITROS/MINUTO, PRESSÃO MÁXIMA DE 70 BAR - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHP	74,3	R\$ 4,50	R\$ 334,35
SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA ACOMPANHAMENTO DE EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS E ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	H	80,6	R\$ 132,30	R\$ 10.663,38
VALOR TOTAL				R\$ 51.597,32

Fonte: Autores, 2019

Em seguida está o Quadro 8 utilizando os dados quantitativos e qualitativos do trabalho do Sâmequi, para efeito de comparação dos orçamentos abordados neste trabalho.

Quadro 8 - Orçamento para obra de cortina atirantada

DISCRIMINAÇÃO	UND	QUANT.	PREÇO (R\$)	TOTAL (R\$)
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 30 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M ³	56,7	R\$ 262,09	R\$ 14.860,50
FORNEC./INSTALAÇÃO DOS TIRANTES ST /55	M ³	113,4	R\$ 141,67	R\$ 16.065,38
FORNEC./INSTALAÇÃO DE ACESSÓRIOS PARA PROTENSÃO DE TIRANTES	UND	88	R\$ 287,34	R\$ 25.285,92
PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DOS TIRANTES	M ³	113,4	R\$ 3,86	R\$ 437,72
INJEÇÃO DE CALDA DE CIMENTO	SC	76,8	R\$ 46,11	R\$ 3.541,25
PROTENSÃO DE TIRANTES	UND	88	R\$ 169,10	R\$ 14.880,80
PROTEÇÃO PARA CABEÇAS DOS TIRANTES	UND	88	R\$ 37,34	R\$ 3.285,92
DRENOS RASOS, $\phi=40$ MM	UND	88	R\$ 15,36	R\$ 1.351,68
FORMA PLANA	M ²	189	R\$ 62,38	R\$ 11.789,82
PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	186,5	R\$ 20,67	R\$ 3.854,96
SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	559,5	R\$ 14,76	R\$ 8.258,22
CARGA E DESCARGA MECANICA DE SOLO UTILIZANDO CAMINHAO BASCULANTE 6,0M3/16T E PA CARREGADEIRA SOBRE PNEUS 128 HP, CAPACIDADE DA CAÇAMBA 1,7 A 2,8 M3, PESO OPERACIONAL 11632 KG	M3	121,5	R\$ 1,72	R\$ 208,98
PERFURATRIZ HIDRÁULICA SOBRE CAMINHÃO COM TRADO CURTO ACOPLADO, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 20 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 1500 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 137 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 30 KNM - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	15	R\$ 225,42	R\$ 3.381,30
GUINDAUTO HIDRÁULICO, CAPACIDADE MÁXIMA DE CARGA 6500 KG, MOMENTO MÁXIMO DE CARGA 5,8 TM, ALCANCE MÁXIMO HORIZONTAL 7,60 M, INCLUSIVE CAMINHÃO TOCO PBT 9.700 KG, POTÊNCIA DE 160 CV - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	13,5	R\$ 125,39	R\$ 1.692,77
TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M3, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_01/2018	M3XKM	972	R\$ 1,68	R\$ 1.632,96
VALOR TOTAL				R\$ 110.528,17

Fonte: Autores, 2019

Dividindo-se o valor total de cada opção de contenção, pela área de talude contido, o orçamento gerado mostra que o custo para execução de contenção em cortina atirantada é de R\$ 837,33/m², enquanto que para solo grampeado R\$ 390,88/m², dentro

das condicionantes impostas no presente estudo.

Desses valores conclui-se que, o custo para implantação de reforço com solo grampeado é equivalente a aproximadamente 47% do valor para execução de contenção em cortina atirantada, gerando uma economia expressiva no custo de obra.

5 CONCLUSÃO

No presente cenário cada vez mais competitivo da construção civil, cada projeto deve ser otimizado para se conseguir o melhor custo-benefício de cada alternativa aplicável.

O estudo apresentado mostra que duas soluções distintas para um mesmo problema, pode fornecer vantagens por meio de condicionantes diferentes, cabendo ao engenheiro reconhecer quais destas terão maior utilidade dentro da realidade do empreendimento.

Uma avaliação econômica direta indica o solo grampeado como melhor solução para a estabilização do talude em estudo, fornecendo uma economia de 47% em comparação com a obra em cortina atirantada.

Os estudos disponíveis na literatura ressaltam que no solo grampeado as deformações na face são de ordens consideráveis para edificações próximas, a área de influência dessas deformações chega a 15 metros. Entretanto, para a técnica de cortina atirantada este não é um problema condicionante, sendo possível utilizar a área no plano superior do talude de forma quase que sem restrições, desde que previstas as sobrecargas no projeto de contenção. Tal realidade retrata uma desvantagem do solo grampeado, que em situações de altos valores comerciais para terrenos, uma faixa tão larga de restrição resulta em perda financeira pela área inutilizada.

Concluimos que a técnica de solo grampeado para contenção tendo um custo significativamente menor do que ao da cortina atirantada deve ser uma opção a ser considerada no projeto de contenção, em todos os casos onde tecnicamente não haja restrições para mesma, por exemplo em encostas naturais, taludes de rodovias próximas a áreas urbanas e em áreas de menor valorização.

Deve-se ressaltar que a técnica de solo grampeado se mostrou como sendo de melhor custo-benefício para muitas situações, além de apresentar como vantagem importante, ser uma tecnologia menos complexa, que utiliza equipamentos mais simples e de execução mais rápida.

REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. *Recuperação com solo grampeado de um escorregamento plano superficial em talude íngreme de aterro*, IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (Cobrae), Salvador, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 11682: *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. NBR 5629. *Execução de tirantes ancorados no terreno*. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR 9061. *Segurança de escavação a céu aberto*. Rio de Janeiro, 1985.

CAPUTO, H. P. *Mecânica dos solos e suas aplicações. Fundamentos*. 6º ed, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Volume 1, 1988.

CARVALHO, P. A. S. *Manual de geotecnia: Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas*. Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1991.

CINTRA, J. C. A.; TOSHIKI, T. *Instrumentação de Modelos de Estacas com “Strain Gages”*. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003.

CLOUTERRE. *Recommendations Clouterre 1991 – Soil nailing recommendations for designing, calculating, constructing and inspecting earth support systems using soil nailing*. French National Project Clouterre, English Language Translation, 1991.

CODUTO, YEUNG AND KITCH. *Geotechnical Engineering: Principles and Practices*, 2º ed. Prentice Hall, 2011.

DAS, Braja M. *Fundamentos de engenharia geotécnica*. 7º ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

DELL'AVANZI, E.; SAYÃO, A. S. F. J. *Avaliação da probabilidade de ruptura de taludes*. In: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG, volume I, 1998.

FEIJÓ, R. L. *Monitoração de uma escavação experimental grampeada em solo residual gnáissico não saturado*. Tese de doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2007.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicação na estabilidade de taludes*. Curitiba: Editora UFPR, 2009.

FRANCO, B. O. M. *Uso de sistema computacional em projeto de solo grampeado*. Dissertação de Mestrado, UFOP, Ouro Preto, 2010.

GeoStudio. Programa de análise de estabilidade de talude por equilíbrio limite. Versão 2019.

HORST, R. *Avaliação dos métodos para cálculo de estabilidade de taludes em maciço terroso*. Ijuí, Rio Grande do Sul, 2007.

LIMA, A. P. *Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss*. tese de doutorado, departamento de engenharia civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2007.

MACHADO, S. L.; MACHADO, M. F. *Mecânica do solos 2: conceitos introdutórios*. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 1997.

MASSAD, F. *Obras de terra: curso básico de geotecnia*. 2º ed. Oficínica de Textos. São Paulo, 2010.

MOLITERNO, A. *Caderno de Muros de Arrimo*. 2 ed. Edgard Blucher. São Paulo, , 1994.

NUNES, A.L.S.; SAVÃO, A. S. F. J ; SPRINGER, F. O. ; LIMA, A. P. ; SARÉ, A. R. ; DIAS, P.H. V. *Instrumentação e Monitoramento de Taludes em Solo Grampeado*. X Congresso Nacional de Geotecnia de Portugal. Lisboa. Sociedade Portuguesa de Geotecnia - SPG, 2006.

ORTIGÃO, J. A. R.; Sayão, A.S.F.J. *Estabilização de taludes: experiência brasileira em maciços de solos residuais*. Universidade do Porto, Porto, 1993.

PAIVA, S. *Estudo de caso: Contenção de talude por cortina atirantada*. Geotecnia. Faculdades Doctum de Caratinga, Caratinga, 2016.

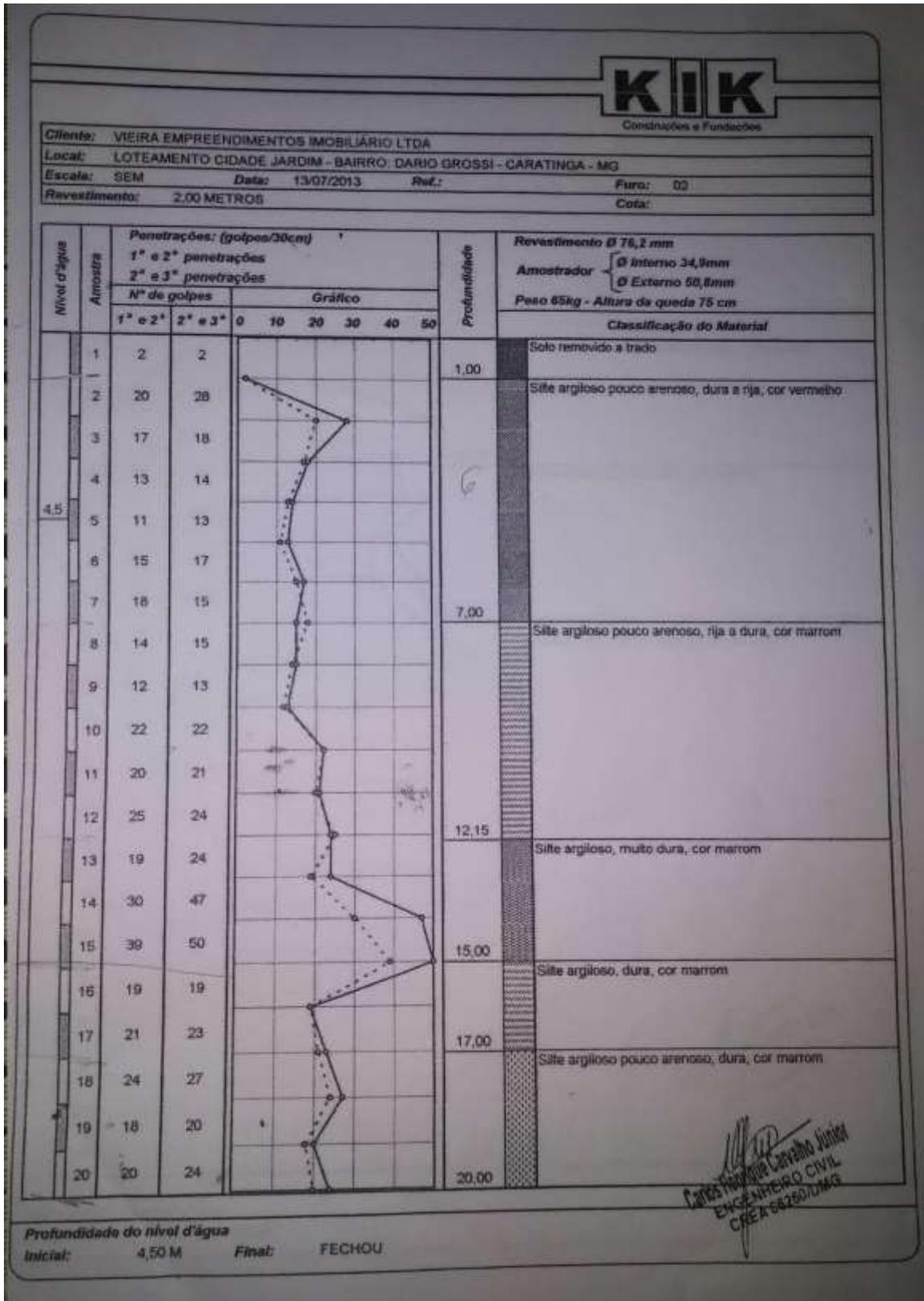
SEO, H.J.; JEONG, K.H.; CHOI, H.; LEE, I.M. *Pullout resistance increase of soil nailing induced by pressurized grouting*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2012.

SILVA, D. P. *Análise de diferentes metodologias executivas de solo pregado a partir de ensaios de arrancamento em campo e laboratório*. Tese de Doutorado em Geotecnia. São Carlos, 2009.

YASSUDA, C. T.; DIAS, P. H. V. *Fundações Teoria e Prática, Capítulo 17 – Tirantes*. 2 º ed. Pini, São Paulo, 1998.

ZIRLIS, A.C. *Solo grampeado – execução*. 3º ed. ABMS. São Paulo, 1999

APÊNDICE A





Construções e Fundações

Cliente: VIEIRA EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIO LTDA
Local: LOTEAMENTO CIDADE JARDIM - BAIRRO: DARIO GROSSI - CARATINGA - MG
Escala: SEM **Data:** 14/07/2013 **Ref.:** **Furo:** CONT. FURO 02
Revestimento: 2,00 METROS **Cota:**

Nível d'água	Amostrador	Penetrações: (golpes/30cm)		Gráfico	Profundidade	Classificação do Material
		1ª e 2ª penetrações				
		2ª e 3ª penetrações				
		Nº de golpes				
		1ª e 2ª	2ª e 3ª	0 10 20 30 40 50		
21		16	19		21,00	Siltite argiloso pouco arenoso, dura, cor marrom
22		30	50			Siltite argiloso pouco arenoso, muito dura, cor marrom
23		41	50		23,20	
24		43	50			Siltite argiloso, muito dura, cor marrom
25		35	38			
26		34	46			
27		45	45/3		27,00	
28						Fim da sondagem à percussão a 27,00 metros. Alta resistência à penetração do amostrador.
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

Carlos Henrique Carvalho Júnior
 ENGENHEIRO CIVIL
 CREA 052480/DMG

Profundidade do nível d'água
Inicial: **Final:**