

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

MAGNO GEOVANI SOUZA MORAES

**ANÁLISE TÉCNICA E DE CUSTO ENTRE CONTENÇÃO EM SOLO GRAMPEADO
E ESTACA JUSTA POSTA – ESTUDO DE CASO DE EXECUÇÃO DE UM
PAVIMENTO GARAGEM**

**Varginha
2016**

**ANÁLISE TÉCNICA E DE CUSTO ENTRE CONTENÇÃO EM SOLO GRAMPEADO
E ESTACA JUSTA POSTA – ESTUDO DE CASO DE EXECUÇÃO DE UM
PAVIMENTO GARAGEM**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS – MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil sob orientação do Prof. M. Armando Belato Pereira.

Varginha

2016

MAGNO GEOVANI SOUZA MORAES

**ANÁLISE TÉCNICA E DE CUSTO ENTRE SOLO GRAMPEADO E ESTACA JUSTA
POSTA BASEADO NO ESTUDO DE CASO**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS – MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil sob orientação do Prof. Me. Armando Belato Pereira.

Aprovado em / /

OBS.:

AGRADECIMENTOS

O salmo 37:4 diz; “Agrade-te do Senhor e Ele satisfará os de desejos do seu coração”, meu primeiro agradecimento é a Jesus, o autor e consumidor da minha fé, Ele me concedeu a oportunidade de trabalhar, estudar e saúde e força pra fazer ambos, a Ele toda glória.

Agradeço aos meu pais, que me ensinaram o caminho da honestidade, tudo que eu não tenho devo a eles, aos meus queridos irmãos, que são meus melhores amigos, que me deram suporte para poder estudar e o fizeram com maestria, a minha filhinha Isabelly, que nasceu enquanto eu fazia uma prova de física 2, sua alegria e inocência me fortalecem a cada dia.

Muito grato a minha querida esposa Aline, que suportou minha ausência com amor e paciência, e todos que contribuíram de maneira direta ou indireta, com palavras de motivação ou crítica, a todos esses, meu muito obrigado!

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho uma análise comparativa das técnicas de contenção conhecidas como solo grampeado e estaca justa posta. Este estudo tem intenção de mostrar as singularidades de cada técnica e seus métodos construtivos, demonstrando suas diferenças de execução e custo. Este trabalho foi realizado utilizando o estudo de caso de uma contenção verticalizada para pavimento garagem do edifício Sebastião Nobre, localizado em Alfenas/MG. Apresenta-se as duas contenções e suas abrangências técnicas, comportamentos frente a sua utilização, metodologias de cálculo, esfera de atuação, bem como um breve histórico de cada uma delas. A técnica proposta (solo grampeado) nos mostra que suas através de suas interações com o solo é possível o dimensionamento da estrutura, e a análise de seu comportamento durante e após seus processos de escavação, comportamento dos grampos e deformação de face, informações que nos permitem o dimensionamento da estrutura. O estudo se inicia com o reconhecimento dos parâmetros de solo através do ensaio de SPT, que nos mostra a camada de solo existente. Com essas informações reunidas, o solo foi sujeito à análise de estabilidade através o programa computacional GEOSTUIDO 2007, que realizou os diagnósticos necessários, que possibilitaram o dimensionamento da contenção. Com o projeto estrutural concluído, inicia-se a etapa de orçamento, que neste trabalho utilizamos de varias fontes de pesquisa para demonstrar um custo mais fidedigno. As duas formas de contenção foram estimadas e demonstradas em forma de tabelas, após a conclusão fez-se então um comparativo de custo, que demonstrou a viabilidade da técnica de contenção proposta.

Palavras chave: solo grampeado; estaca justa posta; contenção de talude; comparativo de custo

ABSTRACT

This paper presents a comparative analysis of the containment techniques known as soil nail and stake stake. This study intends to show the singularities of each technique and its constructive methods, demonstrating its differences in execution and cost. This work was carried out using the case study of a vertical containment for garage pavement of the Sebastião Nobre building, located in Alfenas / MG. It presents the two contentions and their technical scope, behavior against their use, methodologies of calculation, sphere of action, as well as a brief history of each of them. The proposed technique (soil nail) shows that its through its interactions with the soil it is possible to dimension the structure, and the analysis of its behavior during and after its excavation processes, staple behavior and face deformation, information that Allow the design of the structure. The study starts with the recognition of soil parameters through the SPT test, which shows us the existing soil layer. With this information collected, the soil was subjected to stability analysis through the computer program GEOSTUIDO 2007, which performed the necessary diagnoses, which made possible the dimensioning of the containment. With the structural project completed, the budget stage begins, which in this work we use from several sources of research to demonstrate a more reliable cost. The two forms of contention were estimated and demonstrated in the form of tables, after which a cost comparison was made, which demonstrated the feasibility of the proposed containment technique.

Keywords: 1 soil nail; 2 soil stapled; 3 safety factor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.2: Contra empuxo no método de Blum	15
Figura 2.3: Método de Blum com ficha maior que a mínima	16
Figura 2.4: Diagrama de pressão para cortina em solo com coesão e atrito	17
Figura 2.5: Obra de contenção em solo grampeado	20
Figura 2.6: Mobilização das zonas ativa e passiva num maciço de solo grampeado	20
Figura 2.7: Etapas construtivas de muros de solo grampeado.....	21
Figura 2.8: custos relativos das técnicas de contenção.....	23
Figura 9: Condições de estabilidade.....	25
Figura 2.10: Similaridades das estruturas: solo grampeado X muro de gravidade	26
Figura 2.11: Modelo simples de centralizador	26
Figura 2.12: Modelos de acabamento aplicado à cabeça do grampo	27
Figura 2.13: Valores de FS x inclinação do grampo – $\beta = 75^\circ$	28
Figura 2.14: Injeção da calda de cimento	28
Figura 15: Resistência a compressão do concreto projetado (28 dias).....	30
Figura 2.16: Telas metálicas eletro soldadas	30
Figura 2.17: Critério de resistência de Mohr-Coulomb.....	31
Figura 3.1 :Otimização de comprimento dos grampos: (a) projetos baseados na experiência com cortinas ancoradas; (b) solução típica para taludes com H8m.....	33
Figura 3.2 : Método de Morgenstern e Price - forças aplicadas a uma fatia de solo.....	36
Figura 3.3: Configuração básica para aplicação do método de Morgenstern-Price	37
Figura 3.4: Definição das zonas ativa e passiva em solos grampeados.....	38
Figura 3.5: Mecanismos de ruptura externa da massa reforçada.....	39
Figura 3.6: Princípios de comportamento do solo grampeado: a) definição de zona ativa e resistente; b) mobilização do grampo na zona potencial de ruptura.....	39
Figura 3.7: Mecanismos de ruptura interna por tração e por arrancamento dos reforços	40
Figura 3.8: Superfície de ruptura em solo grampeado em comparação ao plano de ruptura de Rankine.....	42
Figura 3.9: Situação em que os grampos são submetidos em um muro experimental de solo grampeado	43
Figura 3.10: Resistência mobilizada nos grampos	43
Figura 3.11: Arranjo geral de ensaio de arrancamento	44
Figura 3.12: Ensaio de arrancamento em curso.....	45
Figura 3.13: Superfície crítica de ruptura e de valores máximos dos esforços de tração.....	47
Figura 3.14: Domínio de influência e deslocamentos máximos.....	48
Figura 3.15: Regime plástico do material.....	49
Figura 3.16: Modelo idealizado para o regime plástico perfeito	50
Figura 3.17: Comportamento tensão-deformação-tempo para modelo plástico.....	50
Figura 3.18: Curva tensão X deformação para modelo elasto-plástico	51
Figura 4.1: Início das escavações com máquinas	52
Figura 4.2: Planta de locação dos furos para ensaio SPT	53
Figura 4.3: Tipos de solo identificados no local em estudo.....	54
Figura 4.4: Ângulo de cisalhamento em função no NSPT	55
Figura 4.5: Superfície de ruptura de fator de segurança do estudo de caso:	59

Figura 4.6: Altura média dos grampos em relação ao topo do talude	60
Figura 4.4: Força de arrancamento para cada grampo.....	60
Figura 4.7: Interface de entrada de dados do grampo no software GEOSTUDIO 2007 módulo Slope W	61
Figura 4.8: Resultado obtido após o grampeamento do solo.....	61
Figura 5.1: Esquema das deformações em taludes grampeados.....	63
Figura 5.2: Deslocamentos na face de muros instrumentados.....	64
Figura 5.3: Níveis de escavação, Sigma/W – Geostudio 2007.....	66
Figura 5.4: Projeção dos deslocamentos da face e base do talude, fator de escala aumentado 20 vezes, Sigma/W – Geostudio 2007	68
Figura 5.5: Zonas de Plastificação do estudo de caso, Sigma/W – Geostudio 2007.....	68
Figura 5.6: Gráfico de tração máxima nos grampos, Sigma/W – Geostudio 2007	71
Figura 5.7: Vista frontal do projeto de solo grampeado	73
Figura 5.8: Corte no projeto em solo grampeado	74
Figura 5.9: Fator de segurança aumentado após o grampeamento, Slope/W – GeoStudio 2007	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Parâmetros de Projeto para o pré-dimensionamento	34
Tabela 3.2: Valores do parâmetros q_s	46
Tabela 3.3: Valores do parâmetro q_s	46
Tabela 3.4: Estimativa dos valores e da influência dos deslocamentos.....	48
Tabela 4.1 Parâmetros médios de solo.....	56
Tabela 4.2: Coeficientes de ponderação das resistências	57
Tabela 4.3: Resultados dos parâmetros minorados pelos coeficientes de ponderação	58
Tabela 5.1: Valores típicos de κ , de deslocamentos verticais e horizontais máximos, baseado em resultados empíricos	64
Tabela 5.2: Calculo de deslocamento máximo para estudo de caso	67
Tabela 5.3: Fator de segurança ao arrancamento de cada grampo e sua média	69
Tabela 5.4: Valores das cargas de escoamento das barras de vergalhão.....	70
Tabela 5.5: Fator de segurança à ruptura de cada grampo e sua média.....	70
Tabela 5.6: Fator de segurança à ruptura de cada grampo e sua média.....	71
Tabela 5.7: Dimensionamento final da contenção em solo grampeado	72
Tabela 5.8: Planilha de orçamento para estacas justa postas	76
Tabela 5.9: Material e serviço para viga de travamento utilizada para solidarizar a "cabeça" de todas as estacas	77
Tabela 5.10: Material e serviços para o sistema de escoramento e formas para viga de fundação.....	77
Tabela 5.11: Planilha de orçamento para solo grampeado	78
Tabela 5.12: dimensionamento final de custo	78

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 OBJETIVO GERAL	12
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	13
2.1 CONTENÇÃO.....	13
2.2 MOVIMENTOS DE MASSA.....	13
2.3 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM BALANÇO	14
2.3.1 MÉTODO DE BLUM.....	14
2.3.2 MÉTODO DE BOWLES.....	16
2.4 METODOLOGIA CONSTRUTIVA DAS ESTACAS JUSTA POSTA.....	17
2.5 CRITÉRIOS DE PRÉ-PROJETO DA ESTACA JUSTA POSTA	18
2.7 SOLO GRAMPEADO.....	19
2.7.1 PRINCÍPIOS GERAIS.....	19
2.7.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	23
2.7.4 ANALOGIA SOLO GRAMPEADO E MURO DE GRAVIDADE.....	25
2.7.5 COMPONENTES BÁSICOS DO SISTEMA ESTRUTURAL (SOLO GRAMPEADO).....	26
2.7.5.1 GRAMPO.....	26
2.7.5.3 SOLOS <i>IN SITU</i>	29
2.7.5.4 TELAS METÁLICAS E CONCRETO PROJETADO	29
2.8 CRITÉRIOS DE RUPTURA DO SOLO	31
3.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTOS DA ESTRUTURA DE SOLO GRAMPEADO	33
3.1 ANÁLISES DE ESTABILIDADE DE TALUDES	35
3.2 DEFINIÇÃO DA ZONA ATIVA E ZONA PASSIVA	38
3.3 ANÁLISES DE ESTABILIDADE EXTERNA.....	38
3.7 ANÁLISE DE ESTABILIDADE INTERNA.....	39
3.4 ARRANCAMENTO DOS GRAMPOS.....	41
3.9 ANÁLISES TENSÃO X DEFORMAÇÃO.....	47
3.9.1 MODELO ELÁSTICO	49
3.9.2 MODELO PLÁSTICO	50
3.9.3 MODELO ELASTO-PLÁSTICO.....	51
4. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE CONTAÇÃO EM SOLO GRAMPEADO PARA O ESTUDO DE CASO	52
4.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTOS DA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO EM SOLO GRAMPEADO	52
4.2 APRESENTAÇÕES DOS ENSAIOS	53

4.3 ROTEIRO DE CÁLCULO DA SUPERFÍCIE DE RUPTURA	57
4.3.1 COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO DE RESISTÊNCIA	57
4.4 ENTRADAS DE DADOS NO SOFTWARE	58
5 . ESTUDO TENSÃO DEFORMAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO EM SOLO GRAMPEADO	63
5.1 - ANÁLISE DE DESLOCAMENTOS.....	63
5.2 ANÁLISE DO FATOR DE SEGURANÇA AO ARRANCAMENTO	69
5.3 ANALISE DO FATOR DE SEGURANÇA Á RUPTURA POR TRAÇÃO	69
5.4 ORÇAMENTO	75
5.5 COMPARATIVO DE CUSTOS E RESULTADOS FINAIS.....	79
6. CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	82
ANEXO A - ENSAIO SPT	87
ANEXO B - PROJETO SOLO GRAMPEADO.....	87

1. INTRODUÇÃO

Na engenharia, em especial, nas grandes obras, é muito comum o uso de estruturas de contenção, sendo utilizadas em uma grande variedade de projetos, como: pontes, rodovias, ferrovias, usinas e prédios em geral. Basicamente essas estruturas, suportam um empuxo de terra, garantindo a segurança a um talude, e permitindo o uso do espaço à sua frente ou do terrapleno superior (EHRlich & BECKER, 2009).

O presente trabalho tem como objetivo uma comparação técnica, que envolve duas formas distintas de contenção de solo; o método de solo grampeado e o método de estacas justam posta. A proposição envolve uma comparação técnica visando método de produção, técnica de execução, tempo necessário para execução e custo final que envolve essas contenções. Para tanto, será utilizada uma análise comparativa de uma contenção realizada na cidade de Alfenas, no qual foi feito com estaca justa posta, trata-se de uma contenção verticalizada da ordem doze (12) metros de altura.

Apresenta como proposta uma técnica de execução objetivando a economia de tempo e custo, oferecendo a facilidade e utilidade. Técnica esta que vem ganhando espaço na engenharia geotécnica, o solo grampeado é uma solução para contenções em há necessidade de aproveitamento de espaço em subsolos.

1.1 Justificativa

Nas últimas décadas, as áreas urbanas instaladas em regiões montanhosas, ou até mesmo nas cidades; em terrenos irregulares, com grande inclinação, ou desvio, têm sido mais afetadas por movimentos de massa ao longo de encostas, que apesar de, ser uma causa natural, são acelerados pela ação humana (DIAS & HERRMANN, 2006).

Isso motivou cada vez mais, o estudo de taludes (superfícies inclinadas delimitadoras de terreno), buscando formas para estabilizar o solo melhorando a qualidade do terreno (aumento de carga que o mesmo pode suportar, sem deformar ou arrastar o solo), podendo assim, viabilizar obras em terrenos irregulares. (DYMINSKI, 2007)

Contenção de encostas é um problema recorrente em muitos lugares. Também a necessidade que grandes centros em de espaço para estacionamento de seus edifícios, leva a construção destes pavimentos no subsolo. Como se trata em sua maioria de cortes verticalizados passa a requerer algum tipo de contenção para os mesmos. O estudo de caso

apresentado é uma contenção verticalizada no subsolo, que será utilizada como pavimento garagem.

Na engenharia existem inúmeras soluções para o mesmo problema, em se tratando de contenções poderiam ser utilizados diversos métodos, como por exemplo, cortina atirantada, estaca justa posta, solo grampeado, muro de arrimo, entre outros. Foi proposto neste estudo de caso uma contenção em solo grampeado em comparação com a utilizada realmente pelos proprietários do empreendimento que foi estaca justa posta. Então será feito um estudo comparativo entre esses dois métodos de contenção, suas técnicas e custos, buscando demonstrar a distância entre as técnicas no que tange custo, tempo de execução, dificuldade de execução e tempo de execução.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo de caso sobre métodos de contenção e reforço de solo, em especial, solo grampeado e estaca justa posta, fazendo um comparativo técnico e de custo entre os dois métodos de contenção, demonstrando a viabilidade da técnica em solo grampeado em detrimento da técnica de estacas justa posta, utilizada pelos proprietários do empreendimento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar análise do perfil de sondagem
- Definir os parâmetros de resistência do solo
- Verificar a resistência do grampo ao arrancamento
- Apresentar a metodologia construtiva
- Verificar o comportamento da contenção (deslocamentos)
- Desenvolver um projeto de contenção
- Estabelecer um comparativo de custo

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Contenção

Quando o equilíbrio de um solo é alterado por meio de uma escavação, corte ou aterro; os elementos ou estruturas destinadas a contrapor os empuxos e tensões geradas em um maciço de solo são chamados de contenção (HACHICH *et al.*, 2007).

Contenções são comuns em obras de Engenharia Civil, a ocupação urbana, gera a necessidade de execução de obras também subterrâneas. As escavações provocam a movimentação da massa de solos tangentes às mesmas, devido à perda de material, deformação quanto ao seu estado inicial de tensões, rebaixamento do lençol freático, com possível adensamento dos solos saturados. Para tanto se faz necessário o estudo da resistência ao cisalhamento do maciço, verificação do empuxo perpendicular ao corte e determinação da superfície de ruptura. (PEREIRA, 2016)

2.2 Movimentos de massa

Problemas com movimentação de massa são aleatórios, ocasionados muitas vezes por fenômenos naturais, porém com atividade humana são intensificados os deslizamentos de terra e rupturas de encostas. Caracteriza-se como movimento de terra quando rochas ou sedimentos se deslocam de uma superfície inclinada e se depositam em outro ponto.

Segundo Gerscovich (2012), movimento de massa é qualquer deslocamento de um determinado volume de solo, no qual diz ainda que na literatura geral, estes movimentos de massa são tratados como processos associados a problemas de instabilidade de encostas. E estes movimentos de massa são agrupados por quedas ou tombamentos, escorregamentos, escoamentos e erosões.

O estudo das contenções nasce da necessidade de se impedir ou até certo ponto controlar esses movimentos de massa, existe inúmeros métodos de contenção, neste trabalho abordaremos a contenção em balanço conhecida como estaca justaposta e a contenção em solo grampeado.

2.3 Estruturas de contenção em balanço

A construção de contenções através de estacas de concreto moldadas *in loco* justas postas é uma solução bastante simples e econômica (MOTA, 2009). Numa estrutura de contenção em balanço, é necessário existir uma ficha mínima para obter o equilíbrio da parede; é definida como sendo o comprimento mínimo de embutimento no solo abaixo no fundo da escavação que garante o equilíbrio com uma margem de segurança adequada resistindo ao empuxo devido ao seu engastamento no solo (MEDEIROS, 2005).

Serão apresentadas algumas metodologias de cálculo de estruturas de contenção em balanço preconizadas na literatura.

2.3.1 Método de Blum

O método de Blum é um dos métodos mais utilizados na determinação da ficha mínima, em cortinas de contenção em balanço (BOWLES, 1996). Nele o empuxo ativo mobiliza-se acima da cota de escavação. As tensões horizontais crescem linearmente com a profundidade. O empuxo ativo acontece acima do fundo da escavação, assim como o empuxo passivo, o qual deverá ser utilizado na determinação da menor ficha limpa possível (GURGEL, 2012).

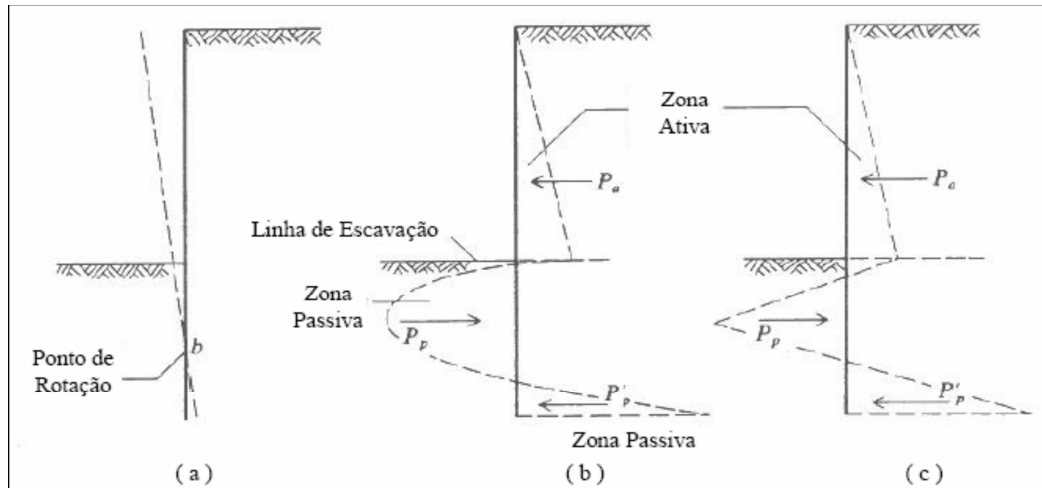
O diagrama de tensões em toda a altura da parede é o correspondente ao empuxo ativo, aonde o trecho é escavado; nele sempre admitimos que em qualquer caso haja deslocamento o suficiente para mobilizá-lo (MEDEIROS, 2005; ABMS/ABEF, 1998).

Considerando-se que o movimento é de rotação em torno de um ponto situado abaixo do fundo de escavação, a distribuição destas tensões deve ser a convencional (MEDEIROS, 2005). Sendo assim, a tensão efetiva normal é igual à força passiva, onde o momento é nulo. Logo o comprimento da ficha é determinado pelo equilíbrio de momentos e das forças horizontais das duas partes da cortina (GODINHO, 2009).

Abaixo do fundo de escavação considera-se, além do empuxo ativo, a existência do empuxo passivo, que deverá ser integralmente mobilizado, pois se trata de utilizar a menor ficha possível. A figura 2.1 mostra que a cortina está sujeita, no lado do solo, a uma pressão ativa. Abaixo da influência da pressão ativa o muro tende a girar, desenvolvendo pressões passivas na frente da cortina e pressões ativas atrás da cortina. No ponto de rotação (Figura 2.1 (a)), o solo atrás da cortina muda de pressão ativa para pressão passiva, com pressão ativa

na frente da cortina para o restante da ficha até o final da cortina (MARIZONNA *et al.*, 1998).

Figura 2.1: Cortina em balanço; (a) Deformada da parede; (b) distribuição das pressões obtidas pelas teorias da elasticidade e plasticidade; (c) diagrama simplificado

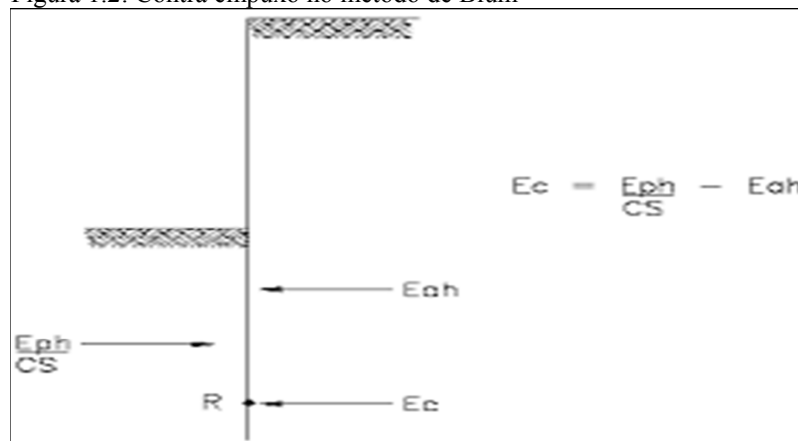


Fonte: (Marzionna *et al.* (1998).

É importante lembrar que a tensão (σ_a) deve completar um empuxo devido ao solo, a sobrecarga e todas as demais ações que influenciam o empuxo ativo. O momento atuante é nulo em relação ao ponto R.

Para o equilíbrio das forças horizontais, admite-se a existência de um contra empuxo E_c que equilibre o sistema (figura 2.2).

Figura 1.2: Contra empuxo no método de Blum



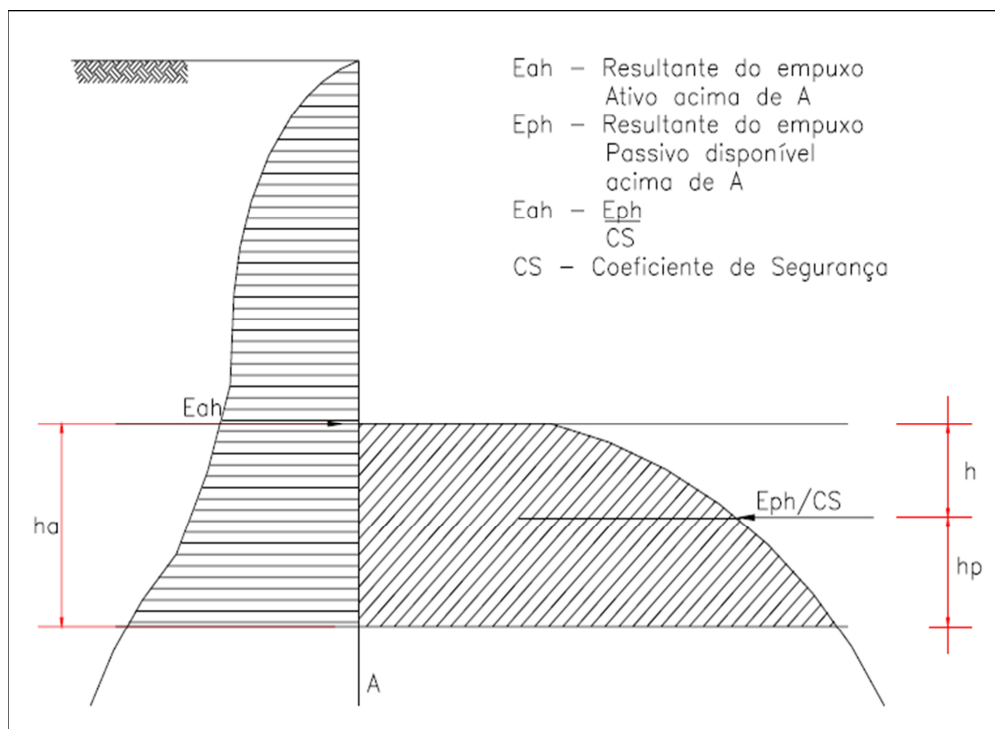
Fonte: (Medeiros, 2005)

O contra empuxo atua no centro da rotação, assim propõe o método, e este não interfere no equilíbrio dos momentos. Admite-se ainda um comprimento adicional de ficha igual a $0,2 f$ (f = profundidade do centro de rotação em relação ao ponto de tensão nula).

Este comprimento adicional geralmente é suficiente para garantir a existência de contra empuxo. Em se tratando de obras permanentes, é recomendável executar um piso estrutural no fundo da escavação, a fim de evitar deformação por influência ou redução da rigidez no solo e eventual colapso por perda de resistência ou até mesmo erosão do solo. O coeficiente de segurança tem a função de assegurar a estabilidade da parede. A ficha adicional de $0,2 f$ tem a finalidade de garantir o equilíbrio das componentes horizontais das forças do sistema, no caso do empuxo passivo disponível real seja menor que o calculado (MOTA, 2009).

A partir do diagrama de empuxo ativo e passivo disponível, com os mesmos coeficientes de segurança de segurança indicados determina-se o ponto “A” abaixo da ficha, que corresponde ao valor nulo da força cortante, conforme figura 2.3 (MEDEIROS, 2005).

Figura 2.2: Método de Blum com ficha maior que a mínima



Fonte: Medeiros, 2005

2.3.2 Método de Bowles

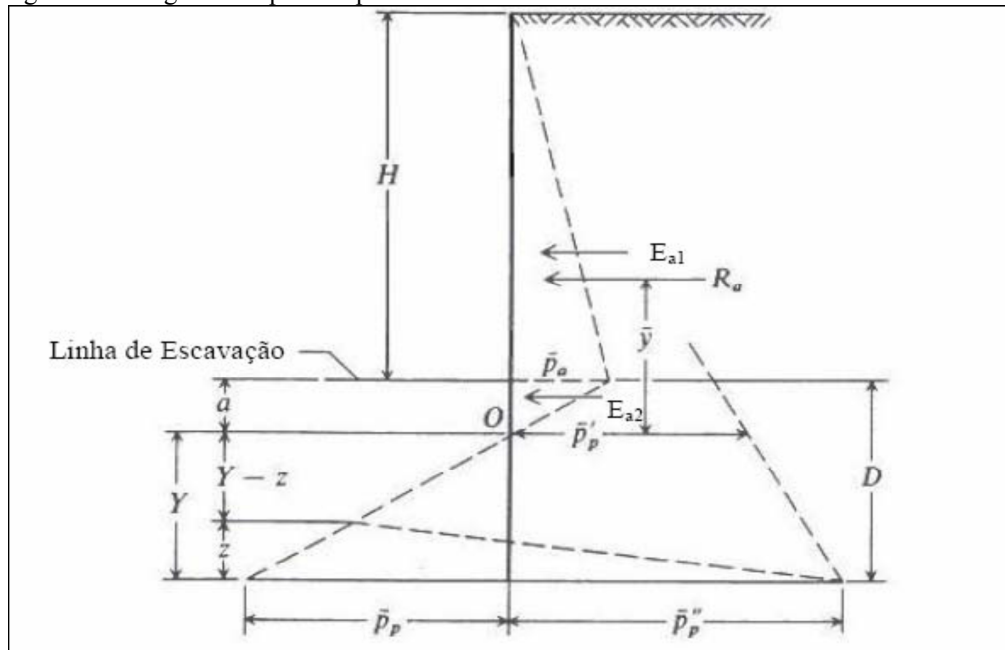
No método de Bowles (1988) o perfil de assentamento se assemelha a uma parábola, sendo assim, é um método de previsão do tipo “*spandrel*”, no qual o assentamento máximo ocorre imediatamente atrás do suporte de escavação (DA SILVA, 2015).

Para a aplicação deste método é necessário à estimativa de duas grandezas. A deformação lateral da parede, no qual, utilizamos o cálculo do volume do solo deslocado que “acompanha” a estrutura; e a estimativa da largura à superfície afetada pela deformação do suporte (BOWLES, 1996).

O método de Bowles é usado comumente nos Estados Unidos para o dimensionamento de uma cortina em balanço (MEDEIROS, 2005).

Nele a resultante do empuxo ativo é realizada através da soma do empuxo ativo acima da linha de escavação e o empuxo ativo abaixo da linha de escavação (Figura 2.4) (BOWLES, 1968).

Figura 2.3: Diagrama de pressão para cortina em solo com coesão e atrito



Fonte: (Magalhães, 2003.)

Sendo assim, ocorre um equilíbrio entre os empuxos ativo e passivo onde a pressão da cortina é nula (Bowles, 1968).

2.4 Metodologia Construtiva das Estacas Justa posta

Estruturas de contenção do tipo cortina de estacas trabalham predominantemente por flexão. Desta forma, deve-se dimensionar para resistir ao momento máximo que estará sujeita. O momento máximo não ocorre no pé da escavação, mas onde o esforço cortante for nulo. Trata-se então da escavação e concretagem de estacas, com uma armadura determinada, justa

posta ou com algum espaçamento entre eixos. Após determinada resistência do concreto, faz-se a escavação ou corte do terreno.

Este tipo de contenção trata-se de uma estrutura em balanço, que resiste ao empuxo devido ao seu engastamento no solo, e sendo assim, é necessário existir uma “ficha” mínima para se obter o equilíbrio da parede. Esta “ficha” é definida como sendo o comprimento mínimo de embutimento no solo abaixo do fundo da escavação que garante o equilíbrio com uma margem de segurança adequada (MEDEIROS, 2005).

O espaçamento entre as estacas não deve ser muito grande, pois pode comprometer a formação de pequenos arcos de contenção entre as estacas. Após a escavação o espaço entre as estacas é preenchido com alvenaria, cuja finalidade é a vedação.

O cálculo de cortinas de estacas moldadas no local é dividido em três fases. Primeiramente determina-se a profundidade F , denominada ficha, em que a estaca deve ser engastada para que ela permaneça em equilíbrio. Esta profundidade depende da altura de escavação H , e das características do solo: coesão c , ângulo de atrito, e do peso específico do solo γ .

Em seguida determina-se o valor do máximo momento e o local onde ocorre que dependem também da altura de escavação H , e das características do solo: coesão c , ângulo de atrito, e do peso específico do solo γ . Por fim dimensiona-se a seção da estaca.

2.5 Critérios de Pré-Projeto da Estaca Justa posta

Segundo Moliterno (1994), chama-se empuxo de terra o esforço exercido pela terra contra uma estrutura. O empuxo de terra pode ser ativo ou passivo. É considerado passivo quando atuar da estrutura contra a terra, comum nos casos de escoramentos de valas e galerias. Já o empuxo ativo, designa-se pela resultante da pressão da terra contra a estrutura. O empuxo ativo é causado principalmente por cortes no terreno e aterros. Sendo que a intensidade do empuxo de terra é o dado fundamental para a elaboração de estruturas de contenção.

Segundo Pereira (1984), a coesão atua sempre no sentido de diminuir as tensões ativas e aumentar as tensões passivas. Como as tensões ativas significam ações e as passivas significam resistências, a influência da coesão será sempre favorável, pois diminui as ações e aumenta as resistências.

2.6 Vantagens e desvantagens da técnica estacas justaposta

Podemos enumerar algumas vantagens da técnica no que tange a produtividade e uso de maquinário:

- 1) Maior versatilidade devido as menores dimensões de cada segmento executado, podendo ser utilizada em escavações com interferência.
- 2) Uso de equipamento de menor porte.
- 3) Maior facilidade de cravação e recuperação.
- 4) Maior regularidade.
- 5) Melhor estanqueidade, assim como, grandes comprimentos (emenda) (Peck, 1969).
- 6) Grande linearidade.
- 7) Pode ser usada perto de divisas.

Acerca das desvantagens podemos observar que quanto a sua altura, tempo de execução e superfície de acabamento, não se mostraram muito satisfatórios.

- 1) Quando a altura de escavação ultrapassa cinco metros, a estrutura de contenção em balanço passa a ter uma ficha relativamente grande, tornando-se assim, economicamente inviável (Medeiros, 2005) este método simples de ser executado, uma vez que se marca o local da perfuração, em seguida ocorre à furação, coloca-se a ferragem e é feita a concretagem, isto sem a necessidade de formas outro tipo de estrutura moldante. Logo após a secagem realizam-se os cortes e desterros.
- 2) Execução mais lenta.
- 3) Baixa qualidade da superfície da parede obtida.
- 4) Não escava rocha.

2.7 Solo Grampeado

2.7.1 Princípios Gerais

O solo grampeado (figura 2.5) consiste no reforço do terreno natural. Os reforços comumente são de barras de aço protegidas por argamassa em furos pré-abertos. A argamassa é injetada por gravidade, aderida à barra ao longo de todo o comprimento e o grampo não é protendido, atuando passivamente. Em obras provisórias as barras podem ser simplesmente

cravadas sem a proteção de argamassa. Em geral, a execução de escavações se processa em etapas, vertical e horizontalmente, minimizando os movimentos, que normalmente apresentam-se inferiores a 0,2 % a 0,3 % da altura de escavação (EHLICH, 2003).

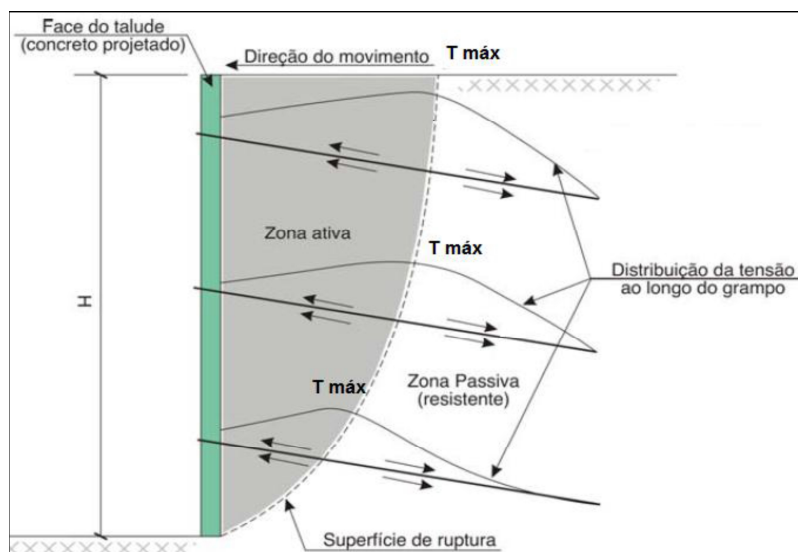
Figura 2.4: Obra de contenção em solo grampeado



Fonte: (Silva & Ehlich, 2010.)

Os grampos são elementos estruturais de reforço em solo. O conceito fundamental do solo grampeado é reforçar o terreno com inclusões passivas pouco espaçadas com a finalidade de introduzir resistência à tração e ao cisalhamento do solo (figura 2.6). Portanto, após ser feito o reforço o solo contido, esse age como um solo com propriedades mecânicas reforçadas, suportando esforços de tração (CAMPOS, 2015).

Figura 2.5: Mobilização das zonas ativa e passiva num maciço de solo grampeado



Fonte: (Feijó, 2007.)

A técnica do solo grampeado consiste na utilização de reforço constituído por barras metálicas ou sintéticas, denominadas de grampos. O solo grampeado é uma técnica bastante prática e comprovadamente eficiente para estabilização de taludes através do reforço do solo *in situ*. A contenção do solo grampeado está principalmente constituída pelos elementos de reforço e faceamento.

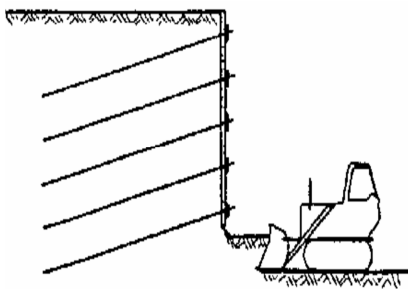
2.7.2 Metodologia Construtiva

Muros em solo grampeado têm sido empregados tanto em taludes naturais quando em escavados, nos quais as condições de estabilidade não são satisfatórias, quanto em escavações. O grampeamento é feito à medida que a escavação é executada, em geral 2 a 3 metros de profundidade (situação de escavação quando a coesão do solo permite essas alturas), obtendo uma zona de solo reforçado que funcionará como suporte do material posterior sem reforço.

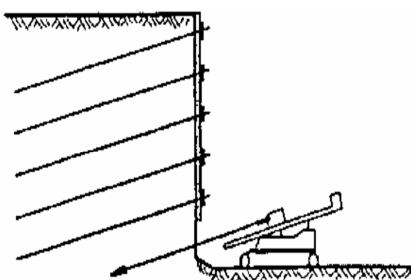
Neste caso, o grampeamento é feito na massa de solo à medida que a escavação é executada em etapas (Figura 2.7), em geral com 2 a 3 m de profundidade, obtendo-se uma zona de solo reforçado que funcionará como suporte do material posterior sem reforço.

Figura 2.6: Etapas construtivas de muros de solo grampeado

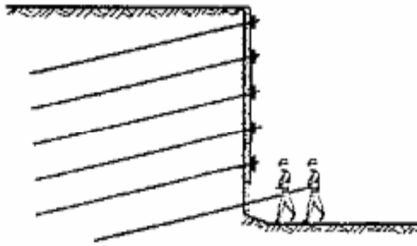
1º passo – escavação da camada



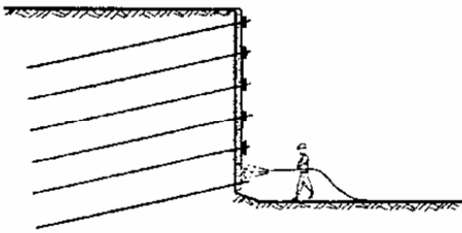
2º passo – perfuração do solo



3º passo – introdução do elemento resistente



4º proteção da superfície



Fonte: (Clouterre, 1991)

A altura de escavação está diretamente ligada ao tipo de solo e à verticalização do talude, sendo que esta altura deve se manter rígida durante o processo de aplicação dos grampos e injeção do concreto, para posterior escavação da nova etapa. Faz-se então por etapas, escava-se uma altura e executa-se todo o processo de grampeamento, posteriormente uma nova etapa de escavação e grampeamento.

O material a ser escavado deve apresentar uma resistência aparente não drenada ao Cisalhamento mínima de 10 kPa (GeoRIO, 2000). Podemos perceber a resistência contida nos solos argilosos, para os arenosos, aqueles com areia húmida também a resistência graças ao efeito da capilaridade. Não é recomendado, porém, para areia secas e sem nenhuma cimentação entre os grãos e argilas muito moles.

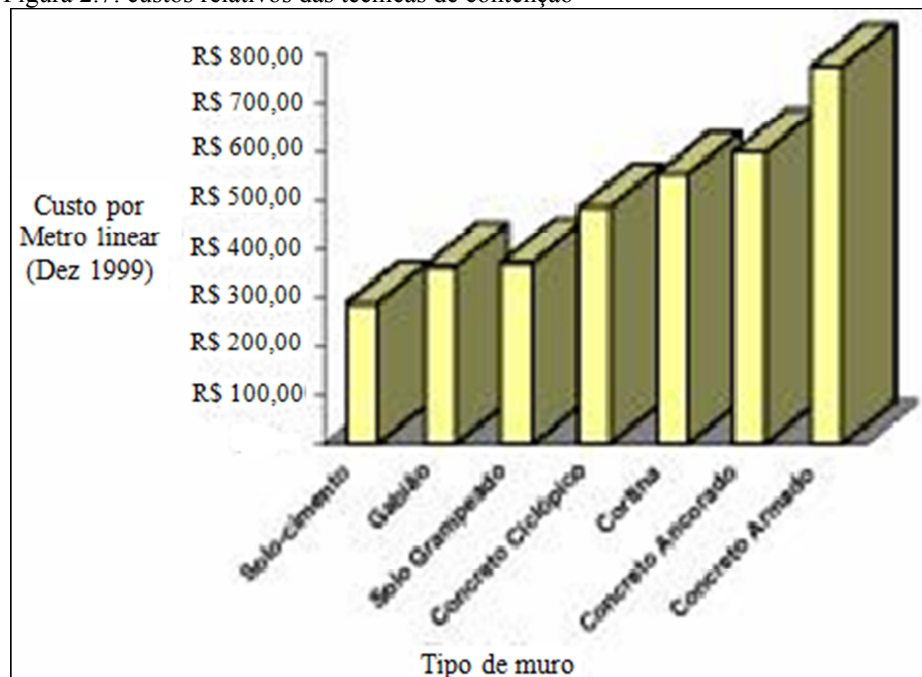
Logo após a escavação instalam-se os grampos por percussão, ou por perfuração e injeção sem pressão. A técnica mais comum é semelhante à execução de ancoragens de barra: perfura-se o terreno com diâmetro entre 70 a 120 mm, introduz-se uma barra de aço com diâmetro entre 25 e 32 mm, e aplica-se injeção de nata de cimento com pressões baixas, inferiores a 100 kPa. Com este processo, o atrito lateral unitário obtido em solos compactos ou rijos é razoavelmente elevado (MEDEIROS, 2005).

2.7.3 Vantagens e Desvantagens

Dentre as vantagens podemos enumerar:

- 1) Economia: Diferentemente das Cortinas Atirantadas, no Solo Grampeado os únicos elementos estruturais são os grampos, já que o concreto projetado não trabalha como elemento estrutural; o grampo tem baixo custo e a cobertura de concreto projetado não é espessa, podendo também ser substituída por cobertura vegetal ou elementos pré-fabricados de baixo custo. Aliado a isso temos uma velocidade de execução, maquinário de pequeno porte e não necessidade de fundação (ORTIGÃO,1995). Tozatto (2000), baseado em seu estudo sobre variados tipos de estruturas de contenção apresenta o seguinte quadro (figura 2.8) com os custos relativos das técnicas de contenção abordadas em seu trabalho.

Figura 2.7: custos relativos das técnicas de contenção



Fonte: (Tozatto, 2000.)

- 2) Produção: Como na técnica em questão se utiliza o concreto projetado e não com função estrutural como é o caso da Cortina Atirantada, a velocidade de execução se torna mais acelerada, com uma menor utilização de mão de obra. Como os trabalhos de escavação, perfuração e injeção dos grampos, podem ser executados

simultaneamente em diferentes frentes de trabalho, não sendo necessário esperar o tempo de cura do concreto para continuação dos trabalhos. Vantagem que possibilita um avanço contínuo no desenvolvimento da obra.

- 3) Equipamento: Os equipamentos são leves e de fácil manuseio, os revestimentos são aplicados manualmente ou com bomba de projeção de concreto, para os furos se utiliza sondas rotativas de pequeno porte, e a injeção da calda do cimento geralmente escoar por gravidade. O ruído gerado por esses equipamentos são relativamente baixo, e a mobilidade também é uma vantagem importante desses equipamentos, permitindo o acesso a lugares mais restritos e de presença controlada, centros urbanos e lugares com fluxo alto de pessoas.
- 4) Flexibilidade: O processo executivo do solo grampeado permite uma grande flexibilidade de adaptação do projeto às condições geométricas do talude, inclinação da face e distribuição e dimensionamento dos grampos nos diversos estágios da construção. (Medeiros, 2005). A flexibilidade das estruturas grampeadas permite a adaptação da mesma a diferentes geometrias o que reduz o volume de solo escavado. Por serem mais flexíveis estas estruturas aceitam melhor os recalques diferenciais e deformações, aumentando a estabilidade da obra e, conseqüentemente sua segurança.

Das desvantagens podemos observar que:

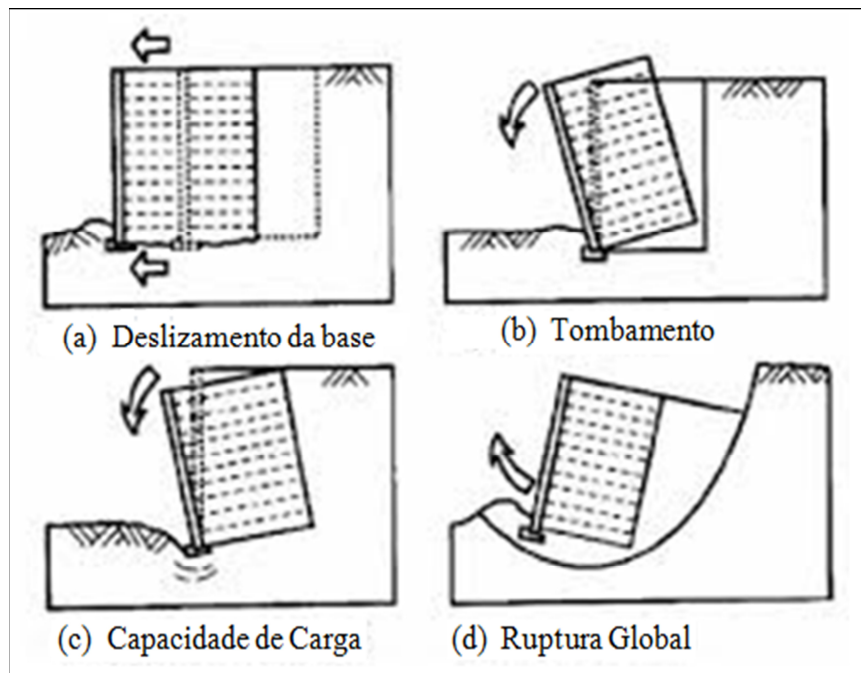
- 1) Influência da presença de água: escavações abaixo do nível d'água podem dificultar a execução do revestimento da face e ainda causar instabilidades localizadas. Portanto, recomendam-se escavações em solos acima do nível d'água ou mediante o seu prévio rebaixamento.
- 2) Deformação: Magnitude das deformações: a utilização do solo grampeado não é apropriada para aplicação em obras onde um rigoroso controle de deformações torna-se necessário. O sistema envolve a mobilização de deformações para a sua atuação; a pretensão de chumbadores pode resolver estes problemas, com conseqüente elevação do custo da obra (RIBEIRO, 2011); por outro lado, a influência da inclinação do talude é significativa na magnitude dos deslocamentos horizontais. A execução de escavações com taludes ligeiramente inclinados tende a reduzir significativamente a magnitude dos deslocamentos no topo da estrutura.

- 3) Tipos de solo: Influência do tipo dos solos: a técnica tende a se tornar inviável em presença de areias puras e secas, solos com alto teor de finos, argilas moles e solos susceptíveis a processos de congelamento. Estes solos podem não oferecer condições de estabilidade suficiente após uma fase de escavação, para instalação dos grampos.

2.7.4 Analogia Solo Grampeado e Muro de Gravidade

Os muros de gravidade por assim chamados funcionam através do seu peso, isto é o peso total da estrutura, por essa razão é muito comum vermos esses muros feitos de concreto que tem seu peso específico elevado (24kN/m^3). São exigidas quatro condições para que essa estrutura funcione ou para se garantir seu pleno funcionamento, a saber, resistência a esses fatores, que são deslizamento de base, tombamento, capacidade de carga e ruptura global, como mostra a figura 2.9.

Figura 8: Condições de estabilidade



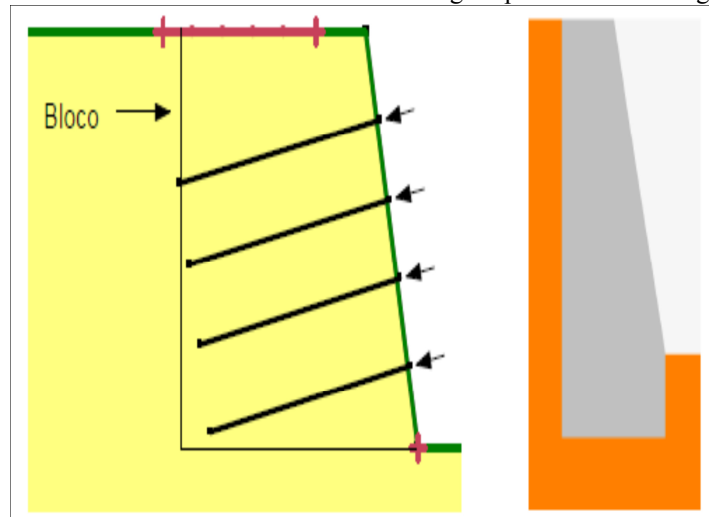
Fonte: Avasani e Bueno, 2009

A obra final em solo grampeado funciona como um muro de gravidade e deve ser analisada pelos mesmos mecanismos de estabilidade avaliados para um muro de arrimo.

Com efeito, deslocamentos mobilizados na zona ativa do maciço tendem a induzir deslocamentos axiais e laterais dos reforços em relação ao solo adjacente. Devido a estes deslocamentos, forças de reação são geradas nos grampos, tendendo a inibir potenciais

movimentações da zona ativa e a mobilização de zonas de plastificação no maciço. As forças máximas de tração mobilizadas nos reforços ou as tensões cisalhantes máximas mobilizadas nas interfaces solo/grampo definirão o arranjo do conjunto, massa de solo reforçado (bloco reforçado) que representa o conjunto solo-grampos e trabalha como uma estrutura similar à do muro de gravidade (PERREIRA, 2016).

Figura 2.9: Similaridades das estruturas: solo grampeado X muro de gravidade



Fonte: (Ribeiro, 2011)

2.7.5 Componentes Básicos do Sistema Estrutural (Solo Grampeado)

2.7.5.1 Grampo

Para técnica de grampos injetados foram utilizadas barras de aço posicionadas no solo após ser feita a abertura que varia entre 70mm a 120mm. Em seguida é lançada a calda de cimento que escoar por gravidade por toda extensão do furo, para garantir que o cobrimento seja respeitado, é inserido ao longo das barras, os centralizadores, estes são distribuídos a cada 2m ou 3m, impedindo o contato das barras com o solo (figura 2.11).

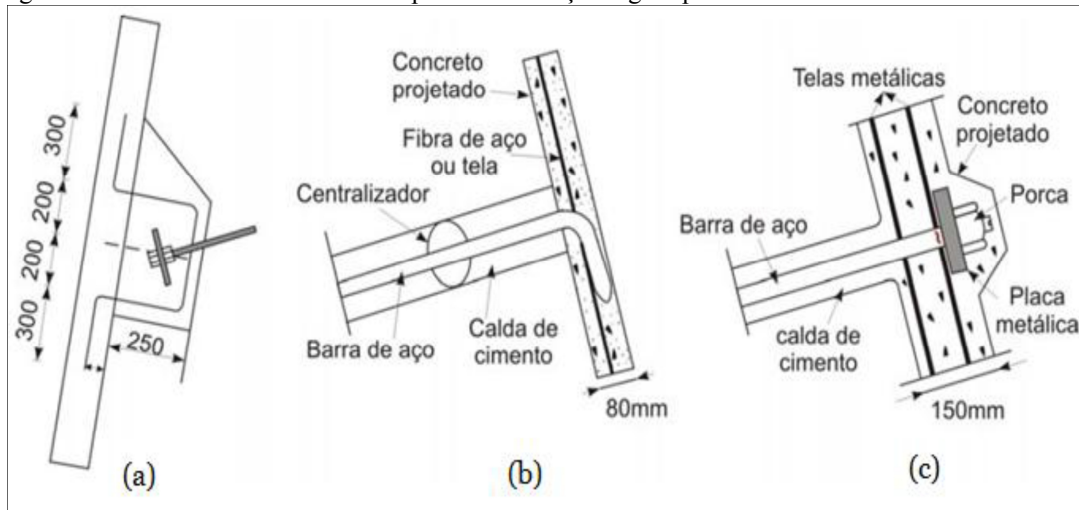
Figura 2.10: Modelo simples de centralizador



Fonte: (FHWA, 2006.)

O processo final protege a cabeça do grampo, este acabamento pode ser feito de três maneiras distintas: a cabeça do grampo inserida em nicho no maciço como mostra a figura 2.12 (a); a cabeça do grampo dobrada com fechamento em concreto projetado como mostra a figura 2.12 (b); na cabeça do grampo vai uma rosca, placa metálica e porca, finalizados em nicho como mostra a figura 2.12 (c).

Figura 2.11: Modelos de acabamento aplicado à cabeça do grampo

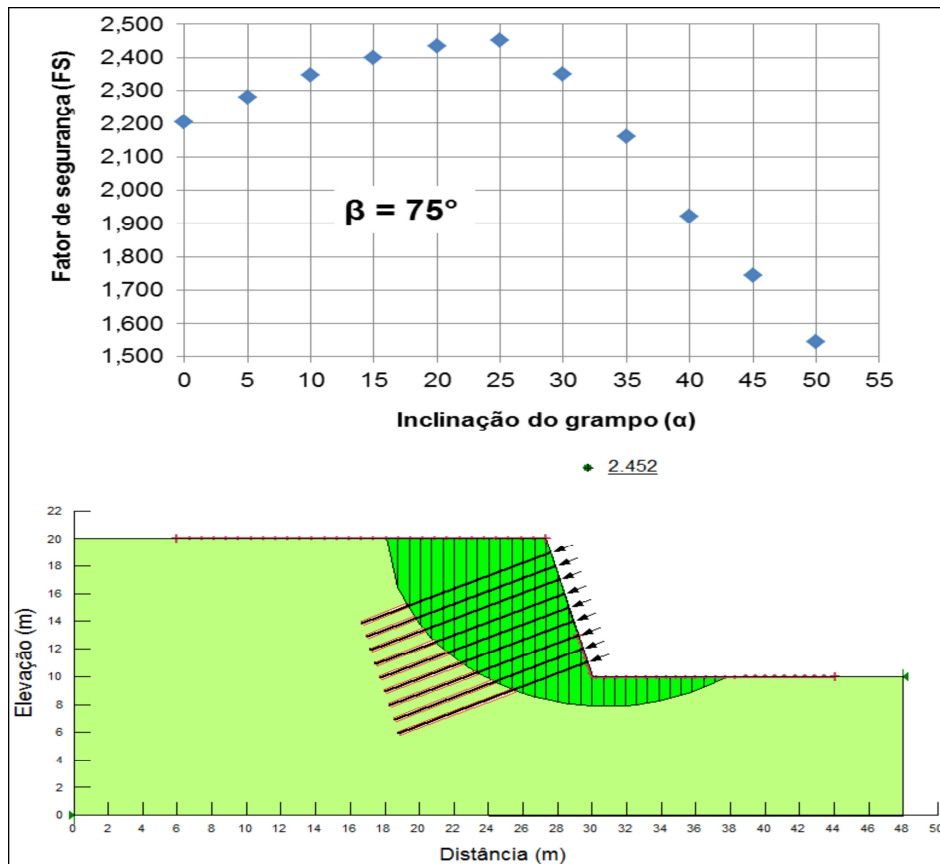


Fonte: Georgio, 1999 *apud* Silva, 2009

Em escavações ou taludes, os grampos devem ser instalados com pequena inclinação com a horizontal, para que apresentem um melhor comportamento quando tracionados, sendo que a eficiência máxima dos grampos se dá quando sua inclinação coincidir com a direção principal maior de deformação da massa reforçada (SPRINGER, 2006; SILVA, 2010). Estas condições tendem a ocorrer quando o ângulo formado entre o grampo e a normal à superfície de ruptura é da ordem de 30°. (JEWELL, 1980)

Pereira (2016), por meio de análises de estabilidade de um talude idealizado por equilíbrio limite, correlacionou os valores de FS encontrados para diferentes inclinações dos elementos de reforço (Figura 2.13). O autor concluiu que a inclinação ótima do grampo, para os diversos casos de inclinação dos taludes estudados, variou entre 5° e 35°, valores que tendem a favorecer os processos de injeção de calda de cimento. Quanto mais verticalizado o talude (β mais próximo de 90°), menor deverá ser a inclinação do grampo (α mais próximo de 5°), sendo que reforços horizontais tendem a propiciar a melhor condição de estabilidade.

Figura 2.12: Valores de FS x inclinação do grampo – $\beta = 75^\circ$



Fonte: (Pereira, 2016.)

2.7.5.2 Calda de cimento

A calda escoam pela extensão do furo por gravidade ou através de válvulas tipo manchete, a inclinação do furo contribui para a inserção da calda e por intermédio de uma tubulação acessória (figura 2.14).

Figura 2.13: Injeção da calda de cimento



Fonte: Sayão, 2007 *apud* Franco, 2010

Zirlis e Pita (2000) recomendam a adoção de caldas de cimento com fator água/cimento igual 0,5 em peso, homogeneizada em misturador mecânico de alta rotação.

2.7.5.3 Solos *in situ*

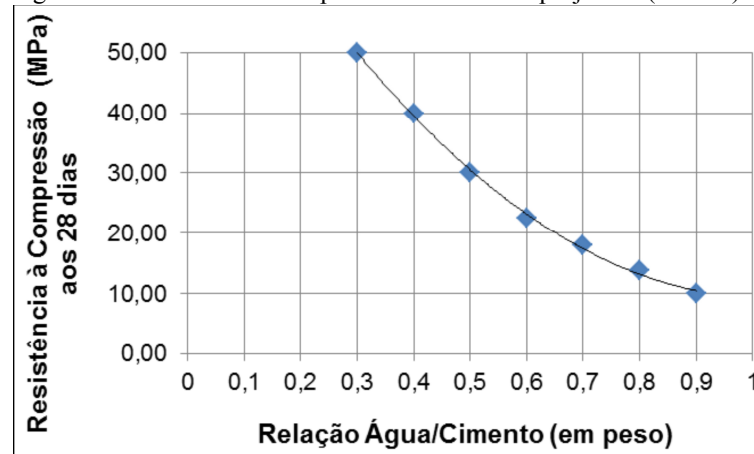
A estrutura em solo grampeado deve ajustar-se às condições pré-existentes do solo local. A abrangência e o porte da investigação de campo e laboratório dos materiais *in situ* vão depender da complexidade geológica da área. Para uma avaliação preliminar, em obras verticais ou muito íngremes, o perfil transversal de estudo deve ter uma extensão em profundidade da ordem de 1,5 a 3 vezes a altura vertical da obra, para condições de topo horizontal e inclinado, respectivamente (CLOUTERRE, 1991).

Os principais parâmetros geotécnicos dos solos *in situ* para o projeto de uma estrutura em solo grampeado são os parâmetros de resistência, condutividade hidráulica e compressibilidade. A presença de água subterrânea é fator de grande relevância, particularmente quando incorpora íons livres, pelo que sua consideração constitui premissa básica destes projetos (NGS, 2004; Ribeiro, 2011).

2.7.5.4 Telas metálicas e concreto projetado

Este processo tem início com a fixação da tela metálica na face do talude, distribuída em toda extensão do muro, em seguida é projetado o concreto sobre a tela, concreto esta que é composto de cimento, areia, brita e água, a uma condição que permita ser bombeado. O sistema para a proteção da face do talude em solo grampeado mais utilizado é a projeção de concreto. O princípio básico do sistema é a projeção sob pressão de mistura de areia, cimento e pedriscos. Normalmente a espessura do concreto projetado situa-se entre 5 e 15cm. De acordo com os critérios da *Federal Highway Administration* (FHWA, 2006), o concreto projetado deve prover à estrutura grampeada alta resistência e estabilidade, sendo recomendados valores entre 0,45 e 0,60 para o fator de água-cimento, correspondentes a valores de f_{ck} entre 34,5 e 22,5 MPa, respectivamente, aos 28 dias (Figura 2.15).

Figura 14: Resistência a compressão do concreto projetado (28 dias)



Fonte: (FHWA, 2006.)

Lima (2007) salienta que a face, embora não apresente uma contribuição maior na estabilidade global de estruturas grampeadas, exerce papel importante na estabilidade local no que diz respeito ao confinamento do solo entre os grampos, à medida que se processa a escavação, além de exercer a função de proteger a face do talude contra a erosão e possíveis deslocamentos do solo superficial.

Em condições de equilíbrio, a parede deverá suportar os empuxos de terra atuantes e as forças aplicadas (em geral só consideradas as forças de tração na face da escavação). Para o correto dimensionamento da face, é necessário conhecer os valores destes dois parâmetros. No entanto, é prática comum no meio técnico nacional desconsiderar os efeitos do puncionamento e dos momentos fletores induzidos no paramento (que é considerado, então, como uma membrana), adotando-se normalmente revestimentos de concreto projetado com espessuras entre 75 mm e 150mm. (PEREIRA, 2016)

As telas comumente usadas são telas metálicas eletro soldadas (figura 2.16), com taxas variando entre 10 e 60 kg/m³ (kg de aço/m³ de concreto).

Figura 2.15: Telas metálicas eletro soldadas



Fonte: (Gerdau, 2014)

2.8 Critérios de ruptura do solo

Conforme Pinto (2000), a ruptura dos solos é quase um fenômeno de cisalhamento, que acontece, por exemplo, quando uma sapata de fundação é carregada até a ruptura ou quando ocorre o escorregamento de um talude. Só em condições especiais ocorrem rupturas por tensões de tração. A resistência ao cisalhamento de um solo define-se como a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer rupturas, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura ocorrer.

De acordo com Caputo (1988), o solo para suportar as cargas e conservar a sua estabilidade, depende da resistência de cisalhamento do solo; toda massa de solo é rompida se exceder o solo. Conforme o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, a resistência ao cisalhamento sofre acréscimo, como o acréscimo das tensões normais no plano de ruptura, conforme mostra equação 2.1.

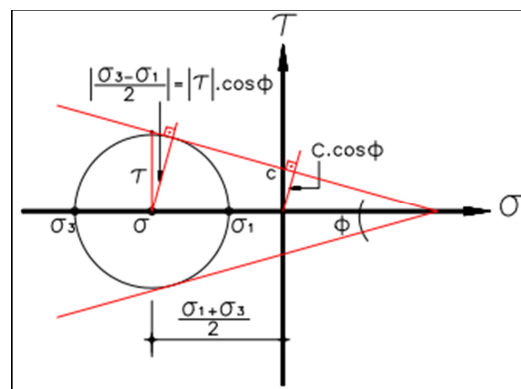
$$\tau = c + \sigma_{tan}\phi$$

Onde:

- τ : Resistência ao cisalhamento no plano de ruptura;
- c : Resistência coesiva;
- ϕ : Ângulo de atrito;
- σ : Tensão normal ao plano de ruptura;

O critério de Mohr-Coulomb é apresentado graficamente conforme a Figura 2.17. O círculo de Mohr pode ser usado para expressar o critério em termos das tesões principais.

Figura 2.16: Critério de resistência de Mohr-Coulomb



Fonte: (Olivera, 1997)

Fatores preponderantes na questão dos critérios de resistência do solo são o ângulo de atrito e a coesão entre as partículas.

Atrito é definido como forças tangenciais necessárias para promover o deslizamento de um plano. O ângulo que vai se obter entre a força normal e a resultante das forças, tangencial e normal, é reconhecido como ângulo de atrito ϕ . Com este ângulo tem-se a maior inclinação que a força de cisalhamento pode ter para que não haja um deslizamento (SOARES, 2015).

O ângulo de atrito pode ser entendido, também, como o ângulo máximo que a força transmitida pelo corpo à superfície pode fazer com a normal ao plano de contato sem que ocorra deslizamento. Atingido este ângulo, a componente tangencial é maior do que a resistência ao deslizamento, que depende da componente normal.

Coesão é à força de atração entre os grãos do solo, a resistência ao cisalhamento dos solos é essencialmente devida ao atrito entre as partículas. Entretanto, a atração química entre estas partículas pode provocar uma resistência independente da tensão normal atuante no plano e que constitui uma coesão real, como se uma cola tivesse sido aplicada entre os dois corpos. De acordo com Pinto (1988), o solo para suportar as cargas e conservar a sua estabilidade vai depender da resistência de cisalhamento do solo e toda massa de solo é rompida se ceder o solo.

3. CONCEPÇÃO GERAL DE ESTRUTURAS EM SOLO GRAMPEADO E PARÂMETROS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO

3.1 Pré-dimensionamentos da Estrutura de Solo Grampeado

Uma obra de solo-grampeado tem com premissa básica a utilização de alguns componentes indispensáveis que envolvem a escolha do comprimento do grampo (L), ângulo de instalação do grampo (α), espaçamento entre os grampos (s_v e s_h) e resistência dos grampos que possibilita e estabilidade interna e externa.

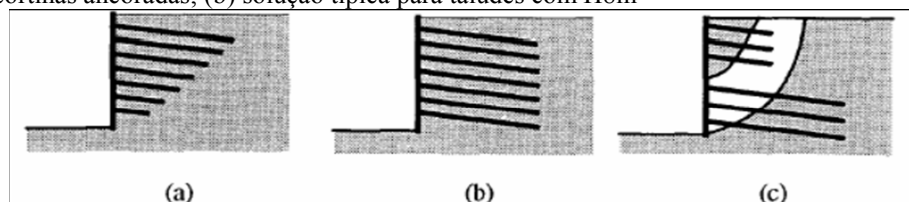
Pereira (2016) diz que o colapso da estrutura de solo grampeado pode ocorrer por problemas decorrentes a:

- 1) Estabilidade do talude;
- 2) Resistência ao arrancamento do grampo;
- 3) Por deficiência na capacidade de carga do solo de fundação;
- 4) Falha do grampo devido aos esforços de cisalhamento, tração e flexão;

Os parâmetros preponderantes são a altura da parede (H), ângulo de inclinação do talude (β), o tipo de grampo utilizado (cravado ou injetado), a natureza de superfície do grampo (medida pelo atrito lateral unitário solo-grampo (q_s)).

Ortigão *ET al.* (1993) relatam que, no final da década de 70 e início da década de 80 no Brasil, a definição dos comprimentos dos grampos era baseada na experiência com cortinas ancoradas, procurando-se ancorar todo o reforço além da superfície de ruptura (Figura 3.1 a). Com o desenvolvimento da técnica, a concepção de taludes em solo grampeado passou a se assemelhar a dimensionamento de muros de peso, com grampos curtos (Figura 3.1 b), para obras de pequena e média altura (até 8m). Para alturas maiores, o projeto pode e deve ser otimizado, analisando-se a obra para as sucessivas fases de execução e adotando-se o reforço mínimo necessário (Figura 3.1 c).

Figura 3.1: Otimização de comprimento dos grampos: (a) projetos baseados na experiência com cortinas ancoradas; (b) solução típica para taludes com H8m



Fonte: Ortigão *et al.*, 1993.

Os critérios de projeto são baseados na estimativa e na densidade (grampo/m²) dos grampos (NGS, 2004). Bruce *et al.*, 1986 *apud* NGS, 2004 apresentaram algumas correlações empíricas que permitem estabelecer os seguintes parâmetros adimensionais de projeto.

- razão entre o comprimento e a altura do talude: L/H ;
- avaliação da área lateral onde o atrito pode ser mobilizado: $C.L/S_h.S_v$;
- resistência do grampo relativa à área do trecho reforçado: $A_g / S_h.S_v$.

Sendo que:

L – comprimento do grampo;

H – altura reforçada efetiva;

C – circunferência característica do furo no qual será inserido o grampo e a calda de cimento;

S_v e S_h – espaçamentos vertical e horizontal dos grampos respectivamente;

A_g – área da seção transversal do grampo cravado ou injetado.

Tabela 3.1: Parâmetros de Projeto para o pré-dimensionamento

Parâmetro	Grampo injetado	Grampo cravado
L/H	0,5 a 0,8	0,5 a 0,6
$C.L/S_v.S_h$	0,3 a 0,6	0,6 a 1,1
$A_g/S_v.S_h$	(0,4 a 0,8) x 10 ⁻³	(1,3 a 1,9) x 10 ⁻³

Fonte: Bruce *et al.*, 1986 *apud* NGS, 2004.

Na França, esses grampos são divididos da seguinte forma: grampos pequenos e pouco espaçados e grampos maiores com mais espaço entre eles. Para o primeiro grupo o comprimento do grampo é em torno de 0,5 a 0,7 vezes a altura do talude (H) e, para o segundo grupo, esta variação estaria na ordem de 0,8 a 1,2 (NGS, 2004).

Segundo Pereira (2016), a força mobilizada no grampo depende do ângulo de inclinação. Ângulos entre 10 e 20° com a horizontal são normalmente usados, pois permitem a injeção por gravidade e, ao mesmo tempo, asseguram que a tração seja desenvolvida rapidamente quando a cunha ativa iniciar o movimento descendente.

Ribeiro (2011) enfatiza que os métodos de cálculo para estabilidade bidimensional assumem uma largura unitária de solo e, assim, os espaçamentos horizontais entre os grampos necessitam ser determinados, sendo que seus valores dependem do tipo de paramento

adotado. Maiores distâncias requerem paramentos mais rígidos. Como regra geral, a distância máxima sugerida deve ser de 2 metros. (NGS, 2004)

A densidade do grampo (d), é outro fator de suma importância para o pré-dimensionamento, segundo mostra a equação 3.1:

$$d = \frac{\pi \cdot \phi_{\text{grampo}} \cdot q_s}{\gamma \cdot S_v \cdot S_h} \quad (3.1)$$

Onde:

ϕ_{grampo} – diâmetro do grampo; q_s – o atrito unitário; γ – peso específico do solo; S_v e S_h – espaçamentos vertical e horizontal dos grampos, respectivamente e H - altura da escavação.

Estes parâmetros foram lançados em ábacos, para diferentes valores da relação L/H que define a geometria geral da estrutura (CLOUTERRE, 1991). Por questões executivas (método de instalação, tipo de solo, etc.), os grampos são levemente inclinados para baixo (5° a 15° com a horizontal), embora os grampos sejam mais eficientes na redução dos deslocamentos quando instalados horizontalmente (CLOUTERRE, 1991, GÜLER e BOZKURT, 2004).

Gerscovich (2002) mostra que a inclinação do grampo pouco afeta os deslocamentos máximos no topo da escavação, para ângulos inferiores a 15°. Estes resultados são particularmente interessantes do ponto de vista de execução, pois inclinações da ordem de 10° facilitam os procedimentos de injeção de calda de cimento no furo. Para inclinações iguais a 30°, os deslocamentos são significativamente mais elevados, assim como as cargas transmitidas aos grampos.

3.1 Análises de Estabilidade de Taludes

Na execução dos taludes necessita-se do conhecimento do local e estudos do solo. Respeitando a inclinação necessária para a melhor estabilidade do talude, sendo de suma importância à correta inclinação para os cortes e o devido índice de compactação para os aterros. (GERSCOVICH, 2012).

A estabilidade de taludes quanto a sua análise pode ser feita de duas formas: a primeira uma relação de tensão-deformação do material e a segunda é um conceito de equilíbrio limite.

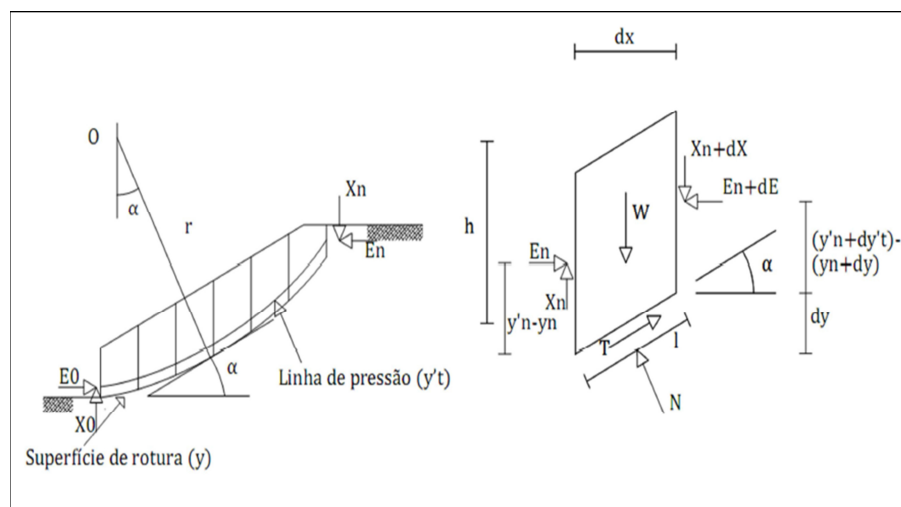
A primeira técnica tem suas limitações quanto à estabilidade de taludes naturais, ele se comporta melhor em meios onde o material é controlado, outro ponto importante que diz respeito ao fator de segurança, quanto à análise de tensão-deformação feita no interior do maciço, que é considerada de maneira total ou do material como sendo uniforme, fator que não traduz a realidade visto que não há uma uniformidade do material analisado.

Existem várias formas de superfícies de rotura dos taludes, e tal ajuda na distinção dos métodos de análise da sua estabilidade:

- Superfície de rotura plana (taludes infinitos, estabilização por blocos);
- Superfície de rotura circular, utilizada por Fellenius (1936), por Bishop (1955) e por Spencer (1967) nos seus métodos de análise de estabilidade de taludes;
- Superfícies de rotura de qualquer tipo, sendo que os métodos que prevêm este tipo de Superfície são o de Janbu (1954), o de Morgenstern e Price (1965) e o de Rui Correia (1988).

Neste trabalho será adotado o método de equilíbrio limite de Morgenstern e Price como mostra a figura 3.2. Proposto em 1965, o método contempla todas as condições de equilíbrio e de fronteira, assume também que a superfície de ruptura poderá assumir qualquer forma, utiliza do método de fatias para seus cálculos, por essa razão devido ao alto número de iterações faz-se necessário o uso computacional como ferramenta de cálculo, que nesta para este trabalho utilizaremos o programa computacional GeoStudio 2007, disponível no mercado e que contempla entre outros aspectos a necessidade deste trabalho.

Figura 3.2: Método de Morgenstern e Price - forças aplicadas a uma fatia de solo



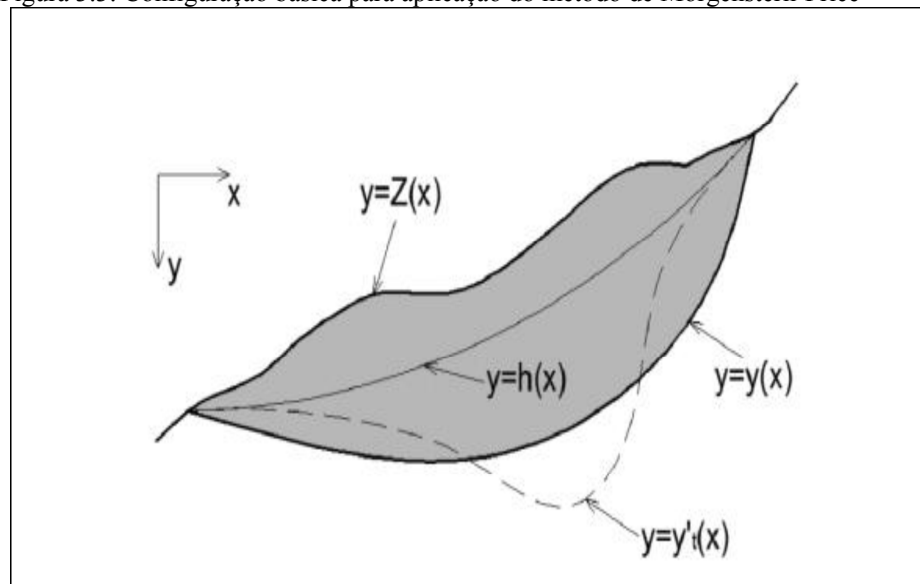
Fonte: (Freitas,2011)

A largura de fatia tem um valor infinitesimal, implica dizer que os acréscimos de forças também são infinitesimais. Então as parcelas que multiplicam acréscimos por acréscimos serão infinitesimalmente pequenas, não contando, portanto, pela sua insignificância.

O método determina o fator de segurança por meio da soma das forças tangenciais e normais atuantes na base da fatia e ao somatório de momentos em torno do centro da base de cada fatia, sendo as equações formuladas para fatias de largura infinitesimal. As equações de equilíbrio de forças e de momentos são combinadas e uma modificação da técnica numérica de Newton-Raphson é utilizada para se obter o fator de segurança, sendo atendidos ambos os equilíbrios, tanto em termos de forças como de momentos.

O método foi desenvolvido tendo por base o talude esquemático apresentado na figura 3.3, com base nas condições de equilíbrio da massa de solo delimitada pela superfície do terreno - descrita pela equação $Y = Z(x)$ - e pela superfície de ruptura curva adotada - expressa pela relação $Y = y(x)$. Duas linhas complementares na figura expressam as condições iniciais do problema não conhecidas a princípio: lei de variação das tensões efetivas - expressa pela relação $Y = y'(x)$ e a lei de variação das pressões intersticiais - expressa pela relação $Y = h(x)$. (PEREIRA, 2016)

Figura 3.3: Configuração básica para aplicação do método de Morgenstern-Price



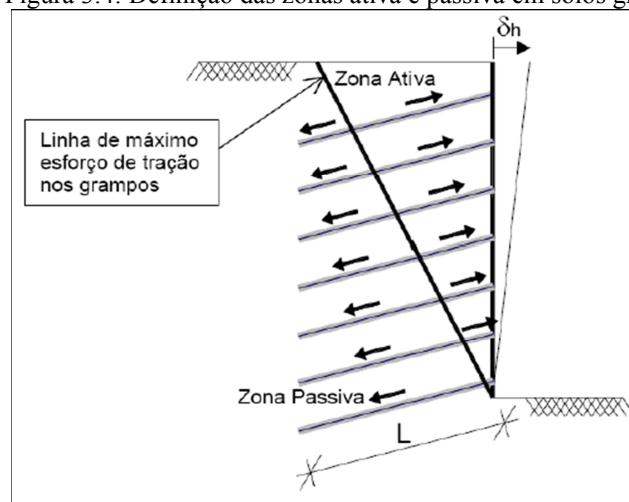
Fonte: Silva, 2011.

3.2 Definição da Zona Ativa e Zona Passiva

A inserção dos grampos tem como função estabilizar essas duas zonas de atividade, a zona ativa é a região de instabilidade no maciço, é a região que está sujeita ao deslizamento. A zona passiva também é conhecida como zona resistente, já que é esta zona de atividade que interage como o grampo para criar a componente de resistência da contenção. Estas zonas são delimitadas pelo que é conhecido como superfície de ruptura, que como mostra a figura 3.4, faz a separação entre essas zonas, define Também o ponto de maior tração do grampo, ponto convergente da zona de passiva e ativa.

O atrito mobilizado ao longo dos grampos possui sentidos opostos nas zonas ativas e passivas. Na zona ativa, as tensões devido o atrito lateral nos grampos são direcionadas para fora do maciço em direção opostos aos deslocamentos laterais da região ativa. Este mecanismo de ruptura com o desenvolvimento das regiões ativas e passiva ocorre somente quando os grampos são livres em relação à face do talude (CLOUTERRE, 1991).

Figura 3.4: Definição das zonas ativa e passiva em solos grampeados

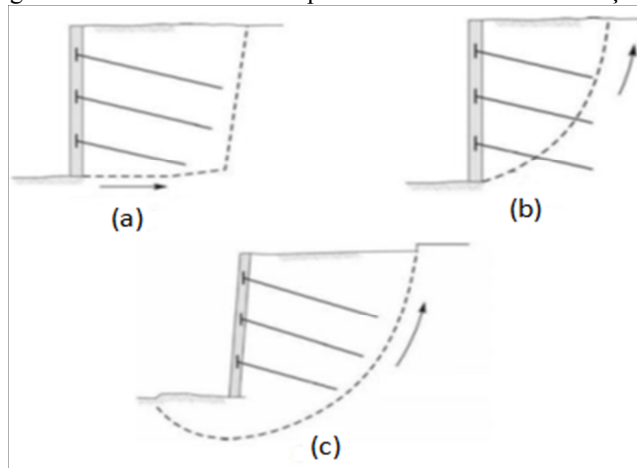


Fonte: Springer, 2001

3.3 Análises de Estabilidade Externa

Dentre as várias análises feitas pela técnica, destacamos aqui a avaliação de comportamento da massa de solo reforçada (conjunto solo – grampos), isto em detrimento ao mecanismo clássico de ruptura. Duas hipóteses de projeto são consideradas em se tratando de mecanismo de ruptura global, a ruptura interna afetando os grampos ou parte dos grampos, ou externa afetando toda massa reforçada, situações representadas na figura 3.5.

Figura 3.5: Mecanismos de ruptura externa da massa reforçada

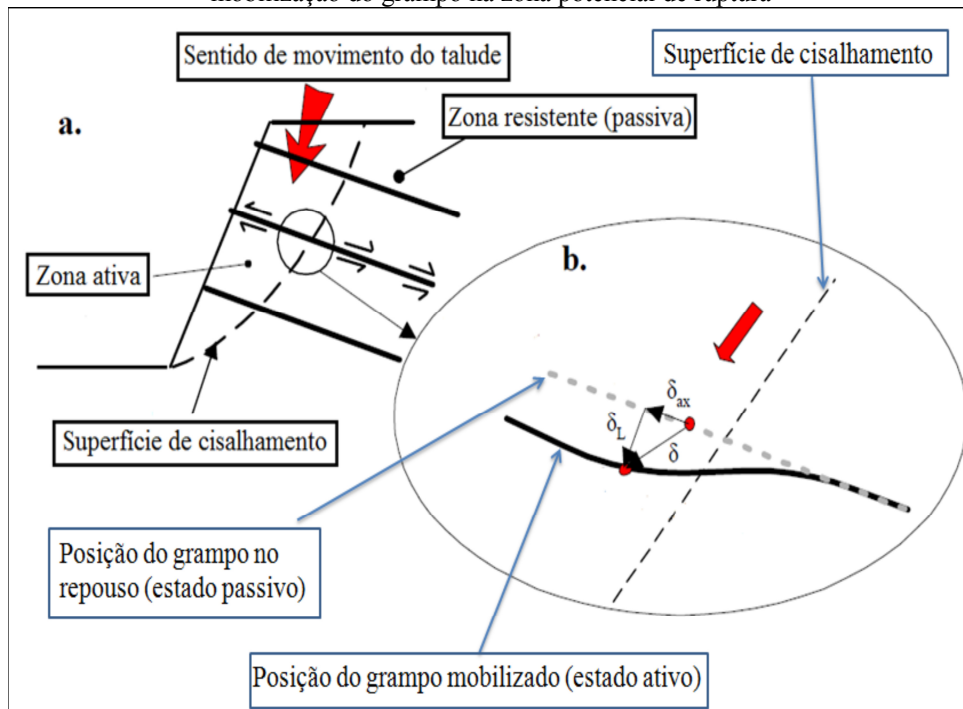


Fonte: Pereira, 2016

3.7 Análise de Estabilidade Interna

Um pequeno movimento da cunha ativa é suficiente para mobilizar esforços de tração, cisalhamento e flexão nos grampos de forma a atuar como mecanismos de restrição a novos movimentos do talude. (Pereira, 2016). A Figura 3.6 mostra o comportamento do grampo quando este é submetido ao esforço de tração.

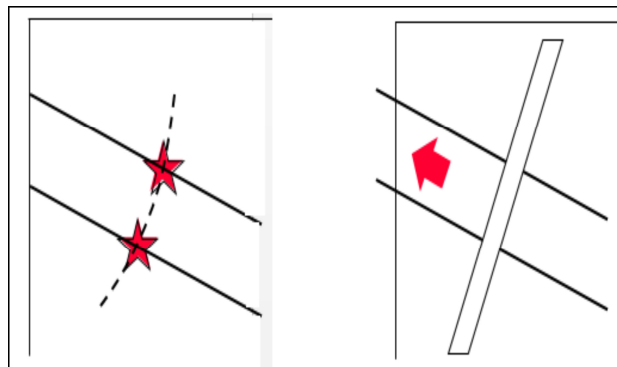
Figura 3.6: Princípios de comportamento do solo grampeado: a) definição de zona ativa e resistente; b) mobilização do grampo na zona potencial de ruptura



Fonte: NGS, 2004.

Dada à complexidade das iterações solo-grampo, os métodos de cálculos disponíveis nos permitem abordagem mais complexas e abordagens mais simplificadas, variando a mesma de acordo com os métodos utilizados. Métodos mais generalistas (cinemático, multicritério ou de Cardiff, por exemplo), consideram a esforços de tração, flexão e cisalhamento dos grampos, porém métodos mais simplificados apresentam apenas esforços de tração nos grampos, (método alemão ou de Davis, por exemplo), a este último método o esforço admitido é o de tração axial unitário (q_s), conforme figura 3.7.

Figura 3.7: Mecanismos de ruptura interna por tração e por arrancamento dos reforços



Fonte: Pereira, 2016.

Sendo T_G a resistência à tração do grampo, a força de tração mobilizada a ser adota em projeto (T_S) será dada pela equação 3.2:

$$T_d = \frac{T_G}{S_H \cdot F_{S_T}} \quad (3.2)$$

Sendo S_H o espaçamento horizontal entre os grampos e F_{S_T} o coeficiente de segurança adotado contra a ruptura dos grampos.

Quanto ao mecanismo de arrancamento, sendo q_s a resistência ao cisalhamento unitária mobilizada ao longo do comprimento do grampo ao longo da zona passiva (L_b), resulta uma resistência axial de tração (T_{max}) dada por:

$$T_{max} = q_s \cdot A_s = \pi \cdot D \cdot q_s \cdot L_b \quad (3.3)$$

Para projetos utiliza-se, portanto (sendo FS_{anc} o coeficiente de segurança de ancoragem):

$$T_s = \frac{T_{max}}{S_H \cdot FS_{anc}} \quad (3.4)$$

O arrancamento é um evento mais comum que o rompimento do grampo, e ocorre por deficiência no ancoramento do grampo na zona passiva ou por falhas construtivas, o que antecede o rompimento é uma grande deformação na superfície do maciço.

3.4 Arrancamento dos Grampos

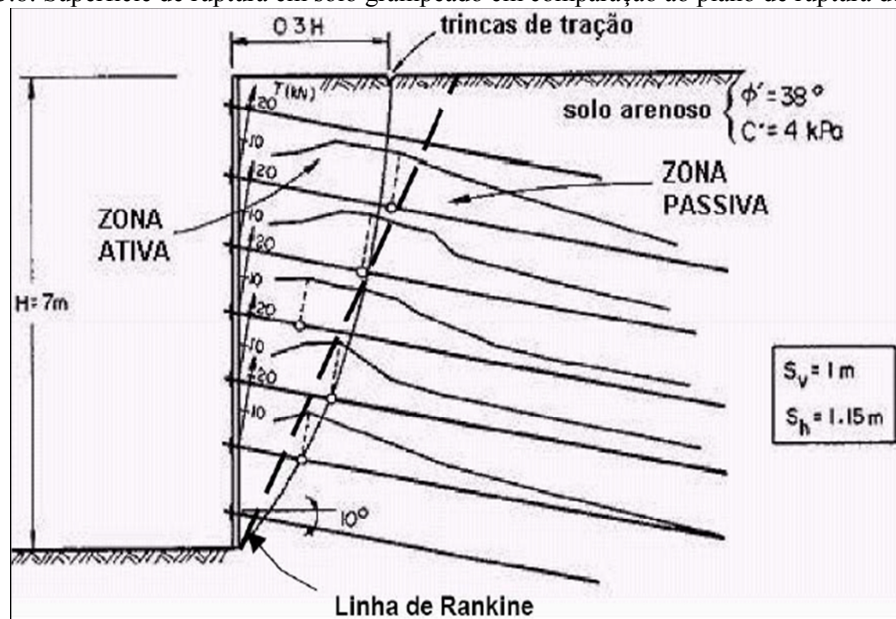
Os dimensionamentos dessas estruturas são determinados pela divisão entre a zona ativa e a zona passiva que se separam por uma superfície de ruptura. O comprimento dos grampos assegura a estabilidade do talude, significa dizer que a resistência à tração ao longo do grampo na zona passiva ou resistente.

Essa resistência solo-grampo (q_s) é um dos fatores preponderantes em obras de contenção em solo grampeado, sua determinação é feita através de correlações empíricas ou por ensaio de arrancamento.

Esta resistência depende das condições das interfaces, pressões de injeção, número de injeções, comprimento do grampo, técnica construtiva, tipo de solo e das condições da piezometria local, sendo de muito difícil previsão. (PEREIRA, 2016)

As inserções são mais solicitadas pelos esforços de tração, nas extremidades dos grampos as tensões são insignificantes e vão crescendo o aumentando até o ponto de maior tração que está localizado no interior do maciço na linha da superfície de ruptura com foi comentado anteriormente. Por meio de resultados experimentais, Clouterre (1991), concluiu que a linha máxima de tração se localiza a $0,3 H$, sendo H a altura da contenção (figura 3.8). Byrne et. al (1998) defende que a mesma encontra-se a $0,3 H$ a $0,35$. Lima (2002) defende que esta posição pode variar com a inclinação do talude. O autor ressalta ainda que a distância do topo da escavação até a superfície de ruptura varia ainda com o tipo de solo e grampos existentes.

Figura 3.8: Superfície de ruptura em solo grampeado em comparação ao plano de ruptura de Rankine



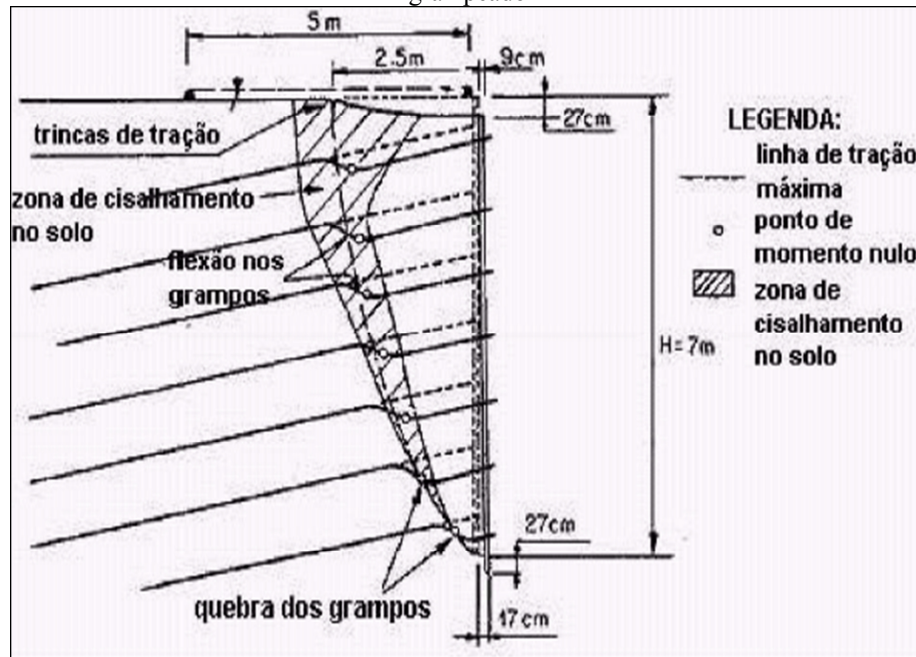
Fonte: Clouterre, 1991

Springer (2001), com o auxílio de métodos numéricos, conclui que os pontos de tração máxima variam em função da forma de fixação dos grampos à face do talude nos grampos fixos, a tração máxima ocorre junto à face, enquanto nos grampos livres este ponto ocorre no interior do maciço.

O grampeamento dos solos através de esta técnica tem como função elevar a resistência do solo quanto a sua capacidade de suportar o cisalhamento, isto é, o reforça o maciço contra o cisalhamento, por esta razão os grampos atuam sobre tensão. Essas inserções de grampos são passivas (sem protensão).

Clouterre (1991) também cita que na zona de cisalhamento dos solos grampeados, os grampos são solicitados por esforços cisalhantes e momentos fletores. O autor ilustra estas solicitações em um muro experimental de solo grampeado (Figura 3.9).

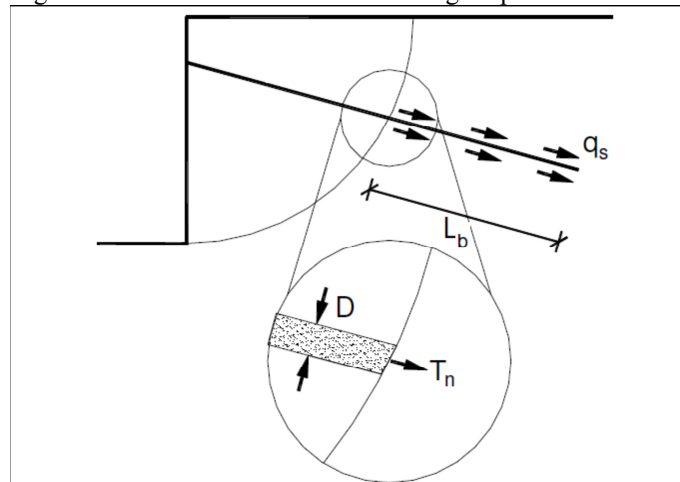
Figura 3.9: Situação em que os grampos são submetidos em um muro experimental de solo grampeado



Fonte: Clouterre, 1991

A figura 3.10 exemplifica a divisão das zonas passivas e ativas indicando onde ocorre o ponto de tração do grampo assim como sua componente de trabalho tracionado, observa-se também do o (L_b) corresponde ao atrito lateral atuante no grampo em sua porção inserida na zona passiva.

Figura 3.10: Resistência mobilizada nos grampos



Fonte: Ortigão, 1997

Consideramos então (q_s), como sendo a resistência ao cisalhamento unitário do grampo na zona passiva (L_b), esta corresponde a resistência axial de tração (T_s) dada por:

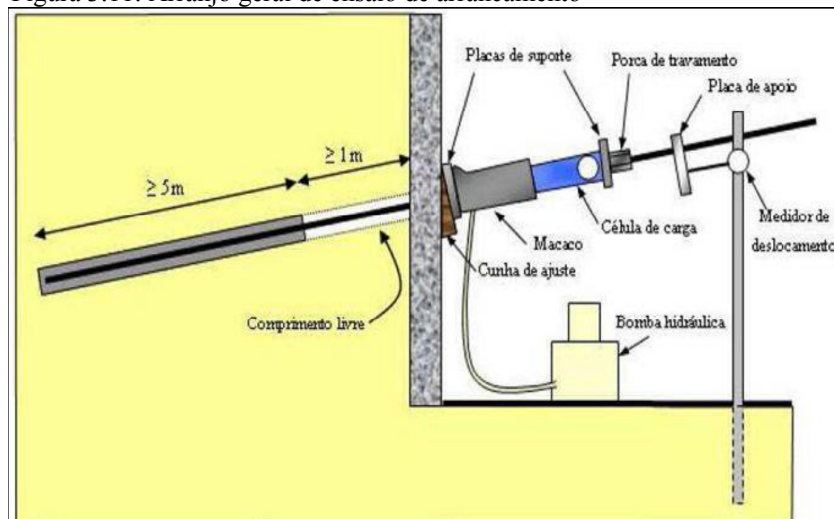
$$T_s = \pi \cdot D \cdot q_s \cdot L_b \quad (3.5)$$

Segundo a equação clássica de Mor-Coulomb podemos estimar o q_s por meio da expressão abaixo observando que δ' representa o ângulo de resistência ao cisalhamento efetivo. Ribeiro (2011) sugere que δ' seja igual ao ângulo de resistência ao cisalhamento efetivo do solo, ϕ' .

$$q_s = c' + \sigma_{\text{média}} \cdot \text{tg}\delta' = c' + 0,75 \cdot \sigma'_v \cdot \text{tg}\phi' \quad (3.6)$$

O ensaio de arracamento do grampo feito por um macaco hidráulico determina com precisão o parâmetro q_s , conforme representado na figura 3.11.

Figura 3.11: Arranjo geral de ensaio de arracamento



Fonte: Ribeiro, 2011

Para realização do ensaio, um macaco hidráulico é instalado no grampo, com a função de aplicar uma força de tração no mesmo, e sendo medido o deslocamento do grampo, obtém-se então a curva de tensão x deslocamento do grampo e o T_{max} atuante no grampo de (diâmetro D). A resistência ao arrancamento, portanto q_s é obtida através da expressão (3.7).

$$q_s = \frac{T_{\text{max}}}{\pi \cdot D \cdot L_{\text{ancorado}}} \quad (3.7)$$

Abaixo podemos ver na figura 3.12 um ensaio de arrancamento do grampo, o resultado deste ensaio representa na prática o que foi demonstrado pela equação 3.3. O procedimento de instalação de grampos destinados aos ensaios de arrancamento (inclinação, perfuração, introdução no furo e injeção) deve ser exatamente o mesmo dos grampos de trabalho (permanentes) da construção, conforme recomendado por Clouterre (1991).

Baseado em resultados de pesquisa e estudos administrados pelo Projeto CLOUTERRE (French National Project CLOUTERRE, de junho de 1988 e de dezembro de 1989), os padrões utilizados para os ensaios de arrancamento podem ser executados com deslocamento controlado (velocidade constante) ou com força controlada.

Figura 3.12: Ensaio de arrancamento em curso



Fonte: *B & Y Drilling Inc*

Esta sistemática, porém, não constitui procedimento convencional nas obras práticas, demandando, assim, a necessidade de adoção de valores de q_s previamente à obra, com base em correlações e experiência de obras similares (Tabelas 2 e 3). (PEREIRA, 2016)

Tabela 3.2: Valores do parâmetros q_s

Material	Método Construtivo	Tipo de Solo	q_s (kPa)
Solos Arenosos	Rotativa Grampos Injetados	areia/pedregulho	100-180
		areia siltosa	100-150
		silte	60-75
		colúvio	75-150
	Grampos Cravados	areia/pedregulho (raso)	190-240
		areia/pedregulho (profundo)	280-430
		colúvio	100-180
	Trado	aterro de areia siltosa	20-40
		areia fina siltosa	55-90
		areia silto-argilosa	60-140
Jet grouting	areia	380	
	areia/pedregulho	700	
Solo Finos	Grampos Injetados	argila siltosa	35-50
	Grampos Cravados	silte argiloso	90-140
	Trado	loess	25-75
		argila mole	20-30
		argila rija	40-60
		silte argiloso rijo	40-60
		argila arenosa (calcária)	90-140

Fonte: (Elias & Juran, 1991 *apud* FHWA, 2003.)

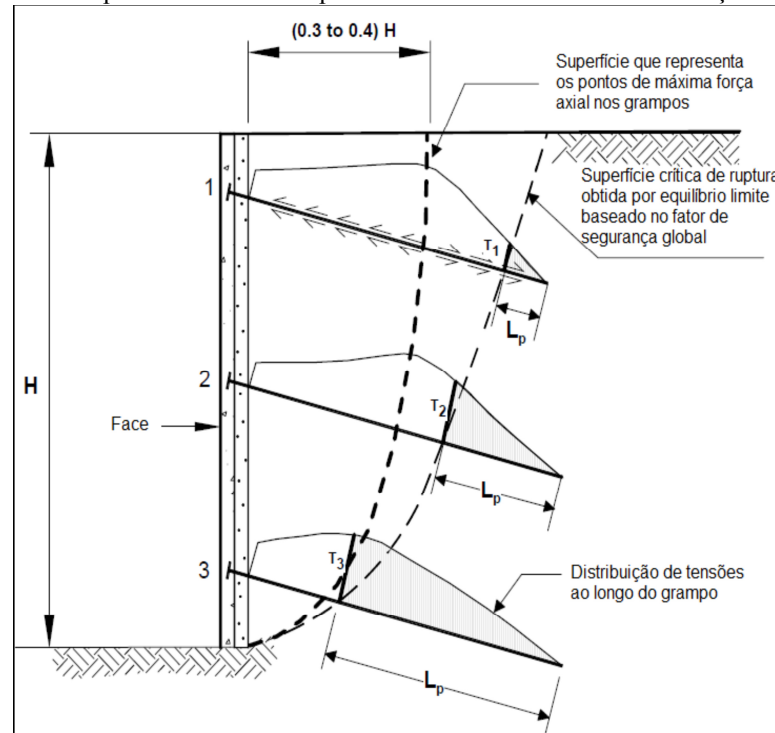
Tabela 3.3: Valores do parâmetro q_s

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

Fonte: Lazarte *et al*, 2003 *apud* Franco, 2010.

Estudos realizados pela *Federal Highway Administration* (FHWA, 2003) mostram que as tensões máximas de tração mobilizadas nos grampos não estão localizadas ao longo da superfície potencial de ruptura (Figura 3.13). Os maiores esforços de tração tendem a ser mobilizados nos grampos a uma distância do paramento da ordem de 30% a 40% da altura do muro.

Figura 3.13: Superfície crítica de ruptura e de valores máximos dos esforços de tração



Fonte: Byrne *et al*, 1998, *apud* FHWA, 2003

3.9 Análises Tensão X Deformação

Importante lembrar que os métodos de equilíbrio limite acima citados analisam apenas a estrutura em sua eminente ruptura, porém os maciços de solo grampeado apresentam deformação também durante e após o processo de construção da obra, esta condição não é preservada e o conceito de colapso não evidencia um mecanismo de ruptura física real.

Como efeito do processo de escavação, o que ocorre é um alívio das tensões no solo, provocando o que chamamos de deslocamento lateral. Para se minimizar o efeito da movimentação frontal da estrutura, pode conceber-se, por exemplo, o paramento inclinado para trás. (PEREIRA, 2016).

A zona de influência dos deslocamentos fica definida pela distância S (Figura 3.14), dada pela seguinte relação empírica (CLOUTERRE, 1991):

$$S = H(1 - \text{Tg}\Psi)\kappa \quad (3.8)$$

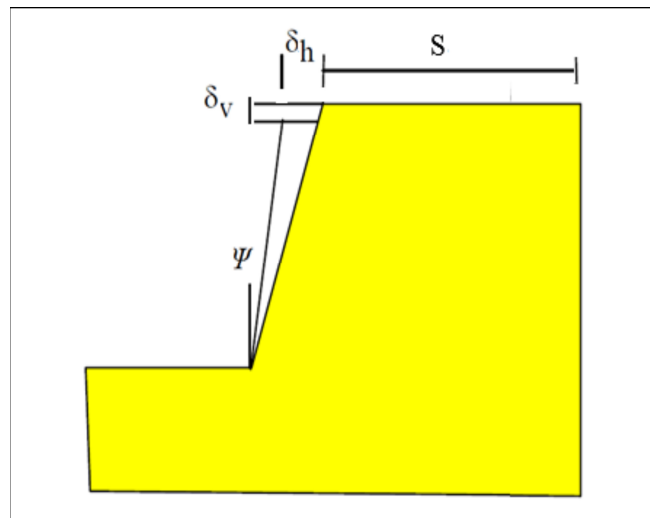
Sendo:

H – altura do muro;

Tg- ângulo de inclinação do muro em relação à vertical

K - coeficiente que depende da natureza do solo do maciço reforçado.

Figura 3.14: Domínio de influência e deslocamentos máximos



Fonte: Clouterre, 1991

Segundo Pereira (2016), estes deslocamentos mobilizam uma redistribuição dos esforços internos atuantes ao longo das interfaces solo-reforço que tendem a minimizar potenciais movimentações adicionais da massa de solo grampeado (tabela 3.4). Se analisarmos essas estruturas pela ótica da tensão-deformação, temos um cenário mais autêntico, e mais fiel à realidade para a aplicação em projetos reais. Considerando que os grampos estão encorados na zona passiva, somente quando ocorre o deslocamento da zona ativa que acontece de fato a tensão no grampo, é o movimento da massa de solo na zona passiva que mobiliza o trabalho do grampo.

Tabela 3.4: Estimativa dos valores e da influência dos deslocamentos

	Solo intermediário (rochas)	Areia	Argila
$\delta_v = \delta_h$	H/1000	2H/1000	44/1000
K	0,8	1,75	1,5

Fonte: Clouterre, 1991

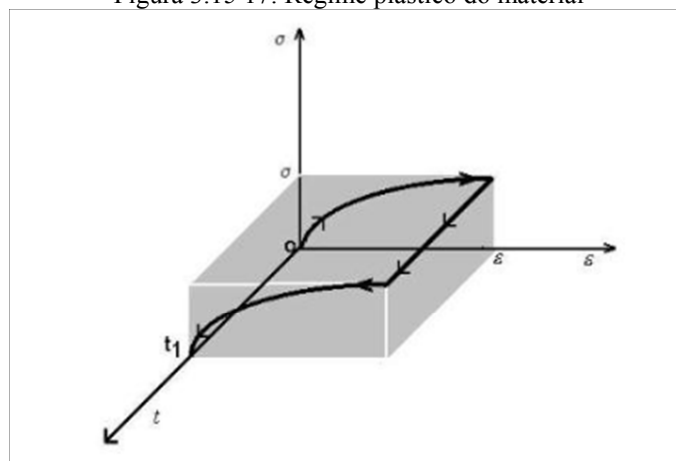
Segundo Maragon (2013), a resistência ao cisalhamento (τ - tensão cisalhante máxima) desenvolvida no interior das massas de solos é a responsável pela capacidade que os solos tem de suportar as tensões decorrentes das solicitações internas (seu peso próprio) e solicitações externas (cargas aplicadas), conservando sua estabilidade. Caso contrário as tensões desenvolvidas nas massas de solo pode levar a uma condição de desequilíbrio e conseqüentemente à sua ruptura. Neste caso o nível de tensões supera o regime de deformação elástica passando para o regime plástico de deformação. Os modelos básicos são aqueles que admitem que a tensão é linearmente dependente da deformação, constante com a deformação e linearmente dependente da velocidade de deformação. (PEREIRA, 2016)

Os modelos que estudados neste trabalho serão, o plástico, o elástico e elastoplástico.

3.9.1 Modelo Elástico

Em um diagrama de tensão deformação, o regime elástico é aquele que se deforma imediatamente, as suas deformações não variam com o tempo, ainda segundo Pockszevnicki (2004), quando após cessada a carga o corpo não apresenta deformações residuais. As deformações que ocorrem são reversíveis e a nível atômico. Os efeitos dessa deformação são observáveis numa escala macroscópica, resultantes da interação do espaço interatômico para balancear as cargas externas, e também dos movimentos reversíveis de deslocamento, segundo a curva de deslocamento representado na figura 3.15.

Figura 3.15 17: Regime plástico do material

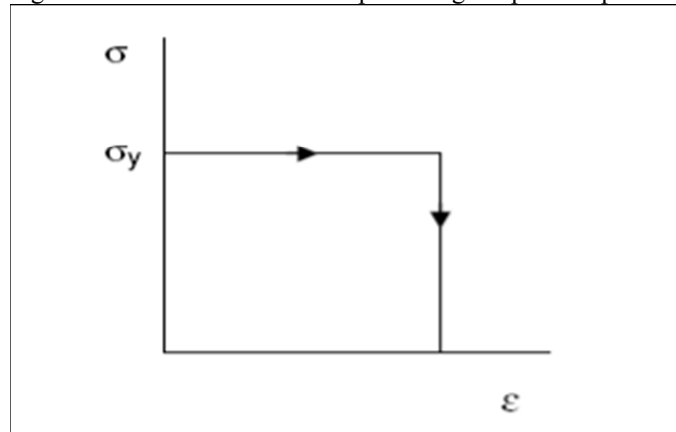


Fonte: Pereira, 2016

3.9.2 Modelo plástico

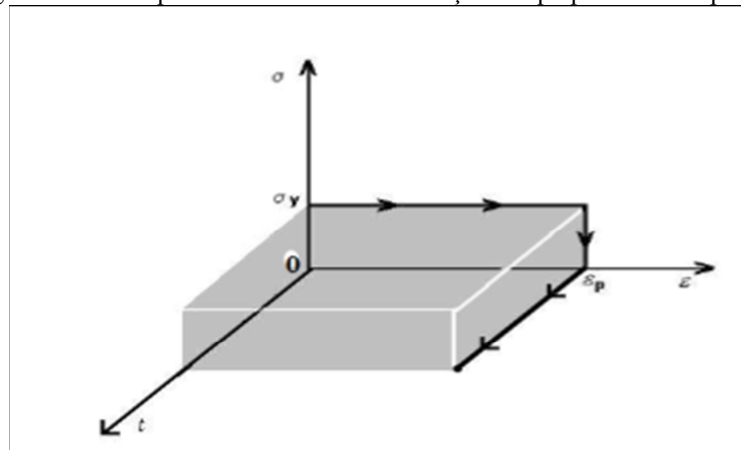
Para o regime plástico segundo Pockszevnicki (2004), quando após cessado o carregamento a seção não se desfaz sendo irreversível ou permanente. Essas deformações irreversíveis podem ser plásticas ou viscosas, ocorrem a nível cristalino em adição a parcela de deformação elástica. Correspodem ao relativo deslocamento atônico após a remoção da carga. Conforme Porto (2012), no modelo plástico, ao se aplicar um esforço externo em um corpo, este não sofrerá deformação até um determinado limite de tensão caracterizado pela tensão de escoamento σ_y , a partir do qual o corpo sofrerá de formações plásticas ou permanentes, conforme indicado nas figuras 3.16 e 3.17.

Figura 3. 16: Modelo idealizado para o regime plástico perfeito



Fonte: Porto, 2011

Figura 3.17: Comportamento tensão-deformação-tempo para modelo plástico

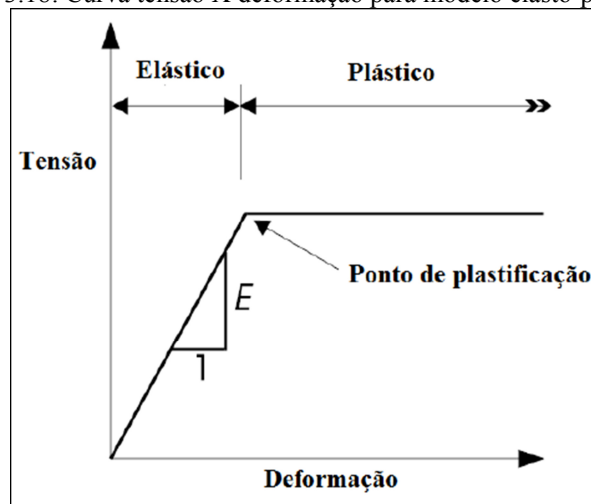


Fonte: Reis, 2000

3.9.3 Modelo Elasto-Plástico

O modelo elasto-plástico o qual utilizaremos para modelar os materiais via programa computacional GeoStudio 2007 módulo Sigma/W é baseado na curva de tensão deformação representada na figura 3.18. Ao analisarmos a curva observamos que a mesma descreve um modelo elástico em que o aumento de tensões é proporcional ao aumento de deformação e o módulo de elasticidade de Young (E) é constante até que seja atingido o ponto de plastificação, a partir desse momento inicia-se o processo de plastificação de uma região do maciço em que há aumento de deformação no mesmo sem o aumento de tensão, região da curva conhecida como zona de plastificação, (PEREIRA, 2016).

Figura 3.18: Curva tensão X deformação para modelo elasto-plástico



Fonte: GEO – SLOPE International Ltd, 2008

4. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO EM SOLO GRAMPEADO PARA O ESTUDO DE CASO

A análise comparativa que envolve o estudo de caso é uma obra localizada na cidade de Alfenas. Trata-se de uma contenção verticalizada com altura de 12,5 metros toda realizada em estacas justas postas e o objetivo é propor um novo sistema de contenção: técnica de solo grampeado. A frente do terreno tem 20,15 metros e suas laterais tem 34,45 metros. O volume de escavação foi da ordem de 8.677 metros cúbicos. Trata-se de um edifício residencial com três pavimentos no subsolo que serão utilizados como garagem.

Localizada no centro de Alfenas na Rua Francisco Mariano, nº 154, sua destinação será exclusivamente residencial, contado com 13 andares, sendo quatro apartamentos por andar. A contenção foi realizada para que os pavimentos garagem pudessem ser construídos. Na Figura 4.2 Máquinas escavando a aproximadamente 8,00 metros de profundidade.

Figura 4.1: Início das escavações com máquinas



Fonte: O autor

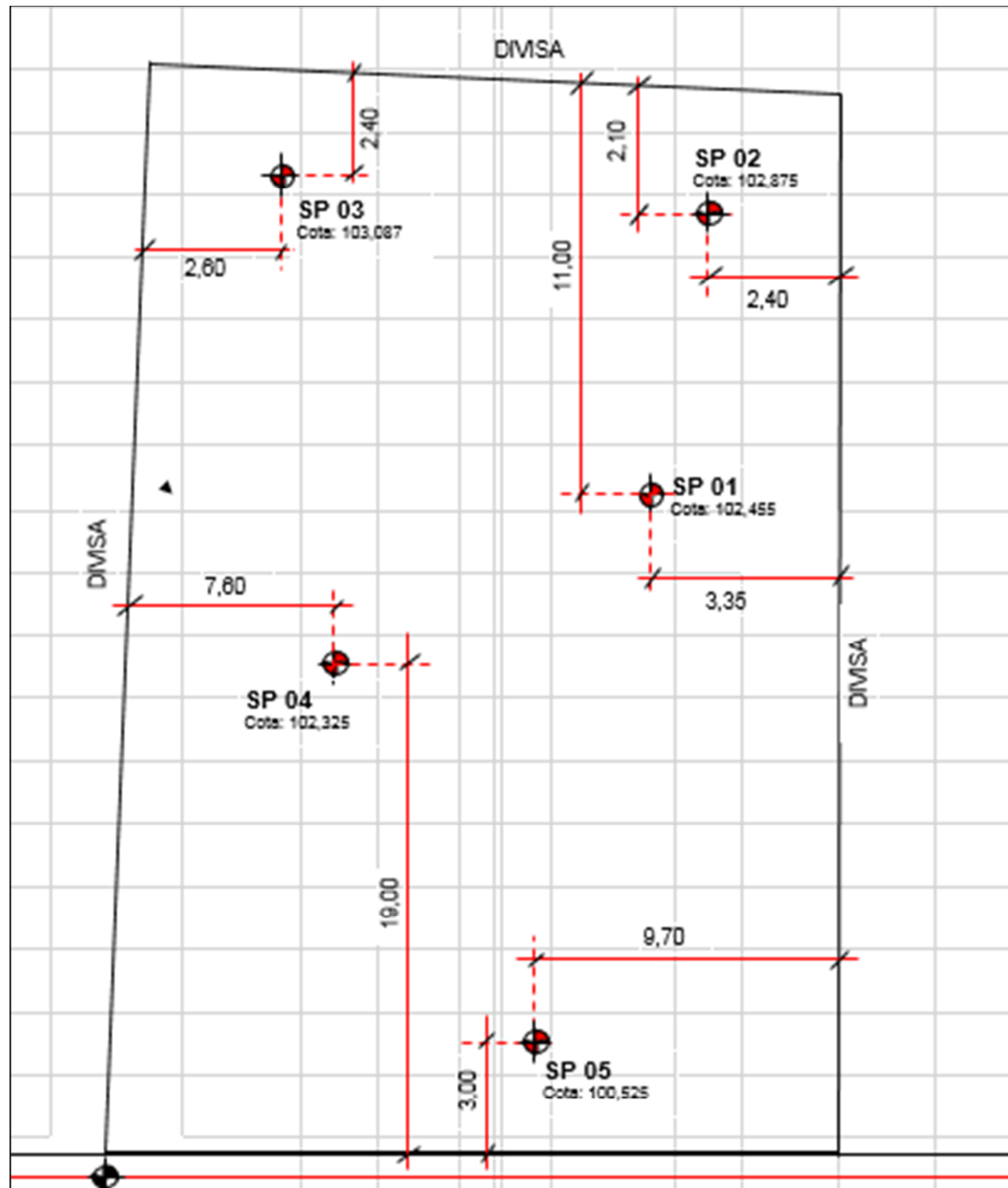
4.1 Pré-dimensionamentos da Estrutura de Contenção em solo grampeado

Com base nos ensaios realizados no solo, e com o uso de ferramenta computacional GEOSTUDIO 2007, será analisada a questão da tensão deformação, e também será realizada a verificação da superfície de ruptura, para que então seja determinado o comprimento de ancoragem do grampo e todo dimensionamento que esta forma de contenção envolve como já foi citado.

4.2 Apresentações dos Ensaios

O ensaio realizado foi o SPT, este para identificar os tipo de solo presente no local, foram feitos 5 furos que estão distribuídos estrategicamente ao longo da obra, como mostra planta de locação dos furos, na figura 4.2.

Figura 4.2: Planta de locação dos furos para ensaio SPT



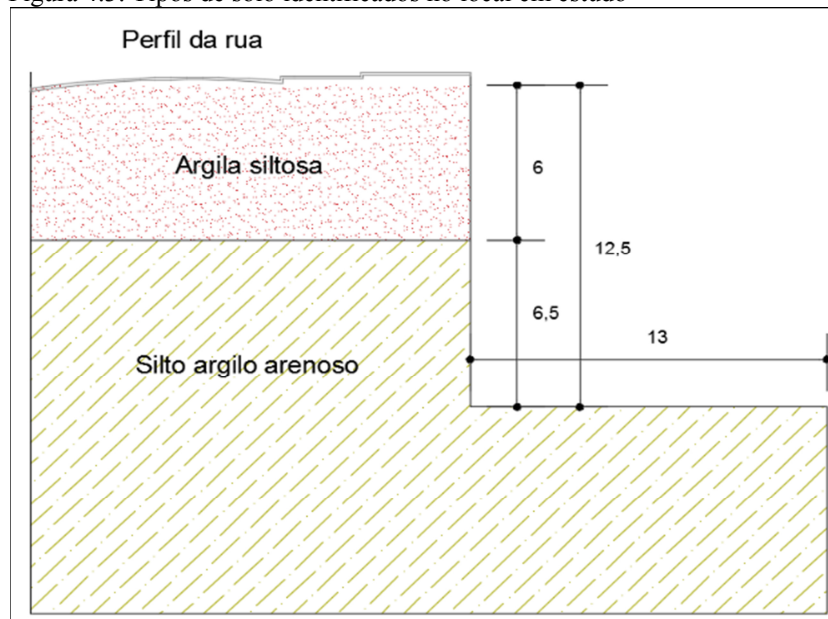
Fonte: O autor

O resultado do ensaio SPT revelou as camadas de solo existentes no terreno, conforme Anexo A. Com as informações obtidas no ensaio é possível determinar os parâmetros do solo.

Para o dimensionamento será utilizado o furo nº 5, que se localiza próximo da rua, onde foi identificada a condição de maior esforço da contenção, por se tratar da localização ao lado do leito carroçável, onde há grande fluxo de veículos tanto carros quanto caminhões, fator que causa uma considerável sobrecarga na estrutura.

O solo encontrado nos seis primeiros metros, isto é do nível zero até 6 metros de escavação, foi uma argila siltosa de coloração marrom claro de consistência mole e rija os outros 6,5 (seis metros e meio) restantes é composto de um silte argilo arenoso, de coloração rosa e amarelo de consistência média dura (figura 4.3).

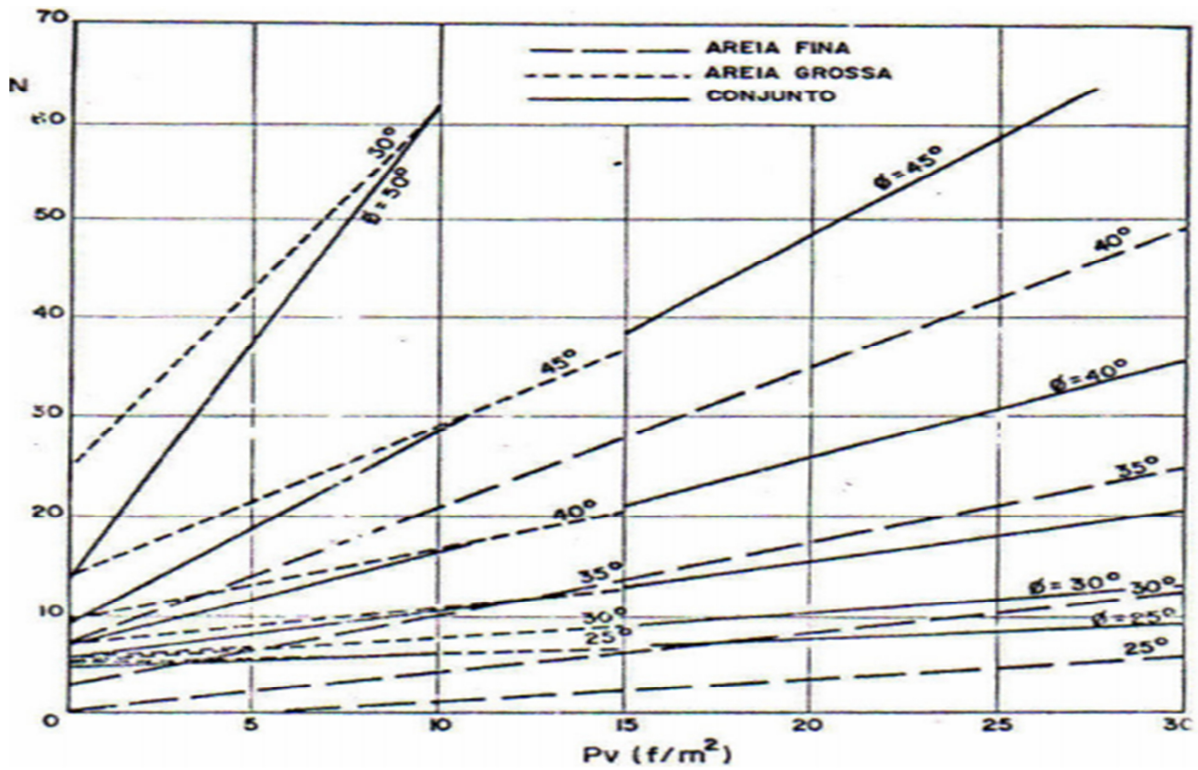
Figura 4.3: Tipos de solo identificados no local em estudo



Fonte: O autor

Para a adoção do ângulo de atrito interno da areia, pode-se utilizar o ábaco proposto por Mello (1967) que mostra correlações estatísticas entre os pares de valores (σ_v , N) e os prováveis valores de ϕ , em que σ_v é a tensão vertical efetiva à cota de obtenção de N (figura 4.4).

Figura 4.4: Ângulo de cisalhamento em função no NSPT



Fonte: de Mello, 1997

Para estimar os parâmetros como peso específico (γ), ângulo de atrito (ϕ) e coesão (c), foi utilizada a tabela proposta por Joppert (2007) que demonstra através do número de golpes realizados no ensaio de SPT, quais valores devem ser adotados para posteriores cálculos (tabela 4.1).

Tabela 4.1: Parâmetros médios de solo

Tipo de solo	Faixa de STP	Módulo de elasticidade (t/m ²)	Peso específico (g)		Ângulo atrito efetivo (f)	Coesão efetiva (tf/m ²)
			Natural (t/m ³)	Saturado (t/m ³)		
Areia pouco siltosa / pouco argilosa	0 - 4	2000 - 5000	1,7	1,8	25°	-
	5 - 8	4000 - 8000	1,8	1,9	30°	-
	9 - 18	5000 - 10000	1,9	2,0	32°	-
	19 - 41	8000 - 15000	2,0	2,1	35°	-
	≥ 41	16000 - 20000	2,0	2,1	38°	-
Areia média e fina muito argilosa	0 - 4	2000	1,7	1,8	25°	0
	5 - 8	4000	1,8	1,9	28°	0,5
	9 - 18	5000	1,9	2,0	30°	0,75
	19 - 41	10000	2,0	2,1	32°	1,0
Argila porosa vermelha e amarela	0 - 2	200 - 500	1,5	1,7	20°	0,75
	3 - 5	500 - 1000	1,6	1,7	23°	1,5
	6 - 10	1000 - 2000	1,7	1,8	25°	3,0
	≥ 10	2000 - 3000	1,8	1,9	25°	3,0 a 7,0
Argila siltosa pouco arenosa (terciário)	0 - 2	100	1,7	1,8	20°	0,75
	3 - 5	100 - 250	1,8	1,9	23°	1,5
	6 - 10	250 - 500	1,9	1,9	24°	2,0
	11 - 19	500 - 1000	1,9	1,9	24°	3,0
	20 - 30	3000 - 10000	2,0	2,0	25°	4,0
	≥ 30	10000 - 15000	2,0	2,0	25°	5,0
Argila arenosa pouco siltosa	0 - 2	500	1,5	1,7	15°	1,0
	3 - 5	500 - 1500	1,7	1,8	15°	2,0
	6 - 10	1500 - 2000	1,8	1,9	18°	3,5
	11 - 19	2000 - 3500	1,9	1,9	20°	5,0
	≥ 20	3500 - 5000	2,0	2,0	25°	6,5
Turfa / argila orgânica (quaternário)	0 - 1	40 - 100	1,1	1,1	15°	0,5
	2 - 5	100 - 150	1,2	1,2	15°	1,0
Silt arenoso pouco argiloso (residual)	5 - 8	8000	1,8	1,9	25°	1,5
	9 - 18	1000	1,9	2,0	26°	2,0
	19 - 41	15000	2,0	2,0	27°	3,0
	≥ 41	20000	2,1	2,1	28°	5,0

Fonte: Joppert Junior, 2007

De acordo com a tabela 4.1, para o solo argila siltosa temos os seguintes dados de acordo com o N_{spt} :

- Peso específico 19 kN/m³

Para argila silte argilo arenoso obtemos:

- Peso específico 20 kN/m³

Para fins de pré-dimensionamento foram adotados os valores propostos por Joppert (2007).

4.3 Roteiro de cálculo da superfície de ruptura

Para efeito de cálculo e entrada de dados no programa computacional GEOSTUDIO 2007, são utilizadas quatro camadas de solo com N_{SPT} médio para cada camada. O peso específico foi determinado com base na tabela de Joppert (2007).

4.3.1 Coeficiente de ponderação de resistência

Segundo a NBR (6122 / 1996) os valores de cálculo das ações na estrutura no estado limite ultimo são comparados a valores de calculo de resistência do solo ou de elementos de fundação. Os valores de cálculo da resistência do solo são determinados dividindo os valores característicos dos parâmetros de resistência da coesão C e do ângulo de atrito pelos coeficientes de ponderação da tabela 4.2.

Tabela 4.2: Coeficientes de ponderação das resistências

Parâmetro	<i>In situ</i> ^(A)	Laboratório	Correlações ^(B)
Tangente do ângulo de atrito interno	1,2	1,3	1,4
Coesão (estabilidade e empuxo de terra)	1,3	1,4	1,5
Coesão (capacidade de carga de fundações)	1,4	1,5	1,6

^(A) Ensaios CPT, Palheta (Vane, Pressiômetro, conforme a NBR 10905).
^(B) Ensaios SPT, Dilatômetro.

Fonte: NBR 6122/1996

Para calcular o ângulo de atrito será utilizado o parâmetro: tangente do ângulo de atrito, e a correlação de 1,4 e para a coesão, utilizaremos a correlação de 1,5. O solo foi dividido em quatro camadas com N_{spt} s médio e foram obtidos os seguintes resultados conforme a tabela 4.3.

Tabela 4.3: Resultados dos parâmetros minorados pelos coeficientes de ponderação

Camada	Tipo de solo	N_{spt} médio	Peso específico	Coesão	Ângulo de atrito	Profundidade da camada
1ª	Argila siltosa	5,66	19 KN/m ³	10,66 Kpa	17,64°	0 a (-3) metros
2ª	Argila siltosa	12,33	19 KN/m ³	19,33 Kpa	27,99°	(-3) a (-6) metros
3ª	Silte argilo-arenoso	11,66	20 KN/m ³	13,33 Kpa	21,59°	(-6) a (-9,25_ metros
4ª	Silte argilo-arenoso	29,66	20 KN/m ³	25,33 Kpa	25,72°	(-9,25) a (-12,50) metros

Fonte: O autor

4.4 Entradas de Dados no Software

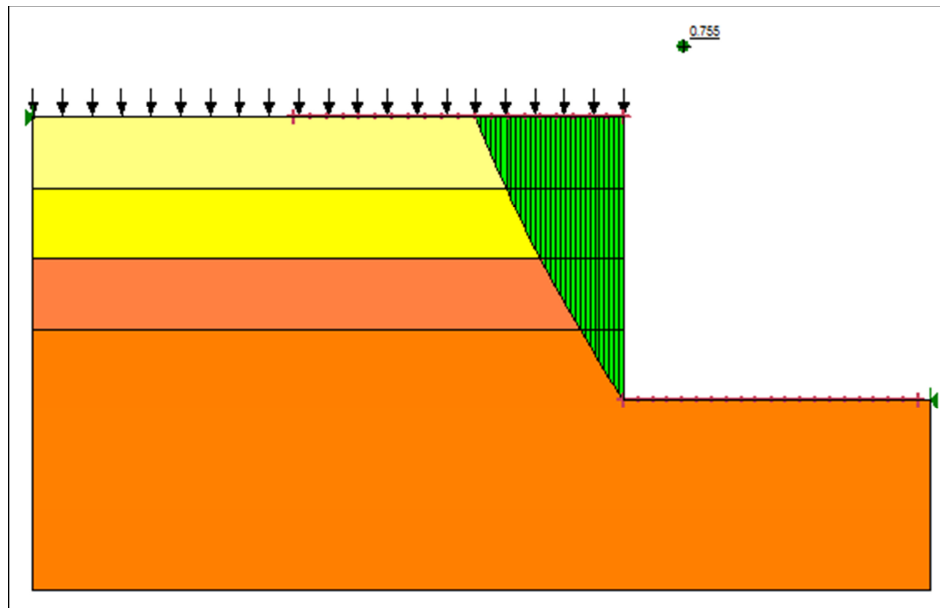
Para analisar a superfície de ruptura utilizou-se o software GEOSTUDIO 2007, ferramenta de análise de estabilidade de taludes.

O SLOPE/W (pasta do GEOSTUDIO 2007) utiliza como teoria o, Equilíbrio-Limite para calcular o fator de segurança do talude constituído de solo ou rocha. Para entrada de dados o software é necessário as seguintes informações iniciais:

- N_{spt} médio
- Ângulo de atrito
- Coesão entre as partículas
- Peso específico das argilas

Após a entrada de dados no software GEOSTUDIO 2007, com o talude representado graficamente e seus materiais aplicados obtemos um fator de segurança e o delineamento da superfície de ruptura (figura 4.5).

Figura 4.5 Superfície de ruptura de fator de segurança do estudo de caso:



Fonte: Autor

Pode-se observar através de figura 4.5, que quando sujeito a uma simulação de ruptura o talude se comporta mostrando uma superfície planar de ruptura que se inicia no topo da contenção até a base do corte, verifica-se também que o fator de segurança abaixo de 1,00, o que indica uma possível deslizamento da zona passiva, o fator de segurança aceitável esta entre 1,20 a 1,50 m. Para tanto se faz necessário algum método de contenção, neste estudo em especial será utilizado o método de solo grampeado. Será feita a inserção dos grampos para observar o como se comporta este talude e o valor do fator de segurança. Para o pré-dimensionamento serão utilizados os seguintes parâmetros:

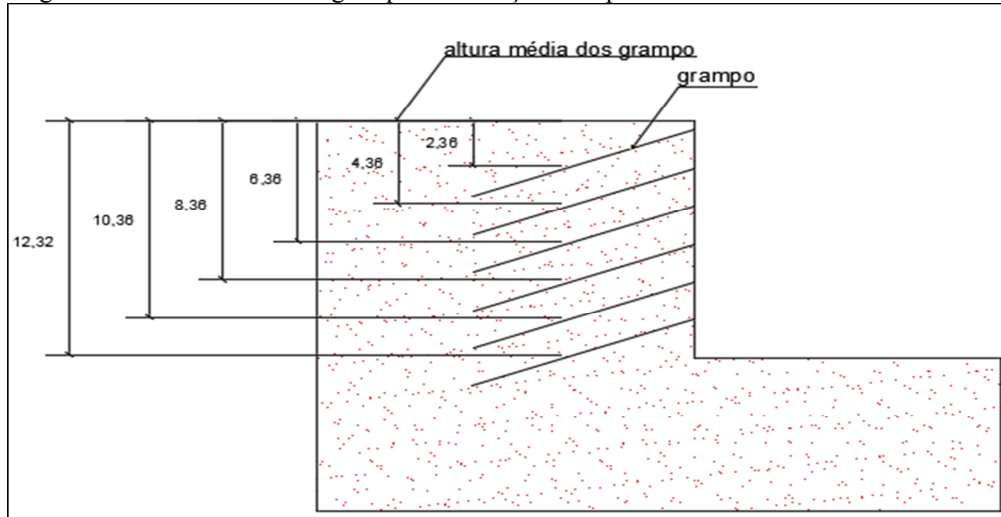
- Diâmetro do grampo = 100 mm
- Espaçamento vertical dos grampos = 2,00 metros
- Espaçamento horizontal dos grampos = 2,00 metros
- Espessura da camada de concreto projetado na face no talude = 100 mm
- Comprimento inicial do grampo = 12,00 metros

Outro fator preponderante a ser utilizado é a força de arrancamento do grampo (conforme citado no capítulo 3), determinado pela seguinte equação:

$$q_s = c' + \sigma_{\text{média}} \cdot \text{tg}\delta' = c' + 0,75 \cdot \sigma'_v \cdot \text{tg}\phi'$$

Sabe-se que a tensão vertical é uma razão entre o peso específico e a altura média do grampo em relação ao topo do talude, a figura 4.6 a figura mostra a altura média do grampo.

Figura 4.6: Altura média dos grampos em relação ao topo do talude



Fonte: O autor

Aplicando a equação clássica de Mor-Coulomb (demonstrada no capítulo 3), para determinar o arrancamento dos grampos, utiliza-se a altura média de cada grampo, seu respectivo ângulo de atrito e peso específico, obtendo então a força de tração no grampo, conforme apresentado na tabela 4.4:

Figura 4.4: Força de arrancamento para cada grampo

Altura média do grampo	Peso específico	Coesão	Ângulo de atrito	Força de tração no grampo
Grampo (- 2,36m)	19 KN/m ³	10,66 Kpa	17,64°	21,35 KPa
Grampo (- 4,36m)	19 KN/m ³	10,66 Kpa	17,64°	30,41 KPa
Grampo (- 6,36m)	19 KN/m ³	13,33 Kpa	21,59°	49,19 KPa
Grampo (- 8,36m)	20 KN/m ³	13,33 Kpa	21,59°	62,95 KPa
Grampo (- 10,36m)	20 KN/m ³	25,33 Kpa	25,72°	100,18 KPa
Grampo (- 12,36m)	20 KN/m ³	25,33 Kpa	25,72°	114,63 KPa

Fonte: O autor

Com o resultado do (q_s) para cada grampo, faz-se então a entrada de dados no software GEOSTUDIO 2007/SLOPE W. Para o campo nomeado de “Bar Capacity” que significa capacidade da barra a tração, foi utilizada resistência de 10000 kN que está superdimensionada, porém foi feito desta maneira para que quando sujeito aos esforços de cálculo, não ocorresse a ruptura na barra, para que pudesse ser evidenciada a superfície de

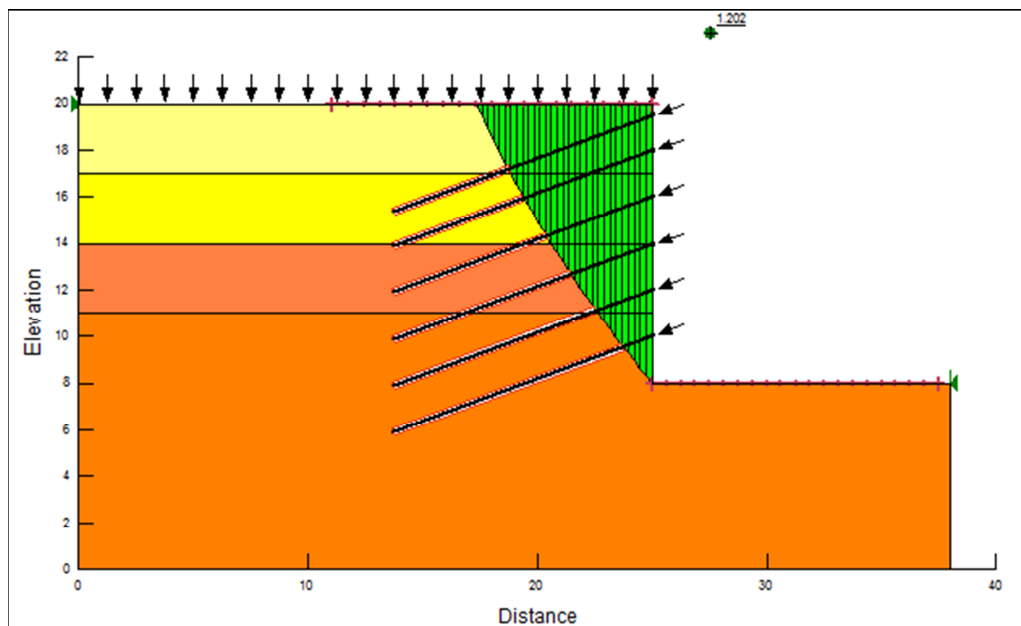
ruptura. Os demais dados citados acima foram inseridos no GEOSTUDIO 2007/SLOPE W (figura 4.7).

Figura 4.7: Interface de entrada de dados do grampo no software GEOSTUDIO 2007 módulo Slope W

Fonte: O autor

O resultado obtido pelos cálculos que o software realizou está demonstrado, na Figura 4.8. A figura indica a superfície de ruptura, a porção dos grampos que estão na zona ativa, a porção dos grampos que trabalham na zona passiva e o fator de segurança, que em razão da inserção dos grampos teve seu valor aumentado em relação ao demonstrado na Figura 4.5.

Figura 4.8: Resultado obtido após o grampeamento do solo



Fonte: O autor

Observa-se um acréscimo de 59% no valor do fator de segurança, que antes do grampeamento era da ordem de $0,755_{FS}$ e após a inserção dos grampos elevou-se para $1,202_{FS}$, reforçando o maciço.

5 . ESTUDO TENSÃO DEFORMAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO EM SOLO GRAMPEADO

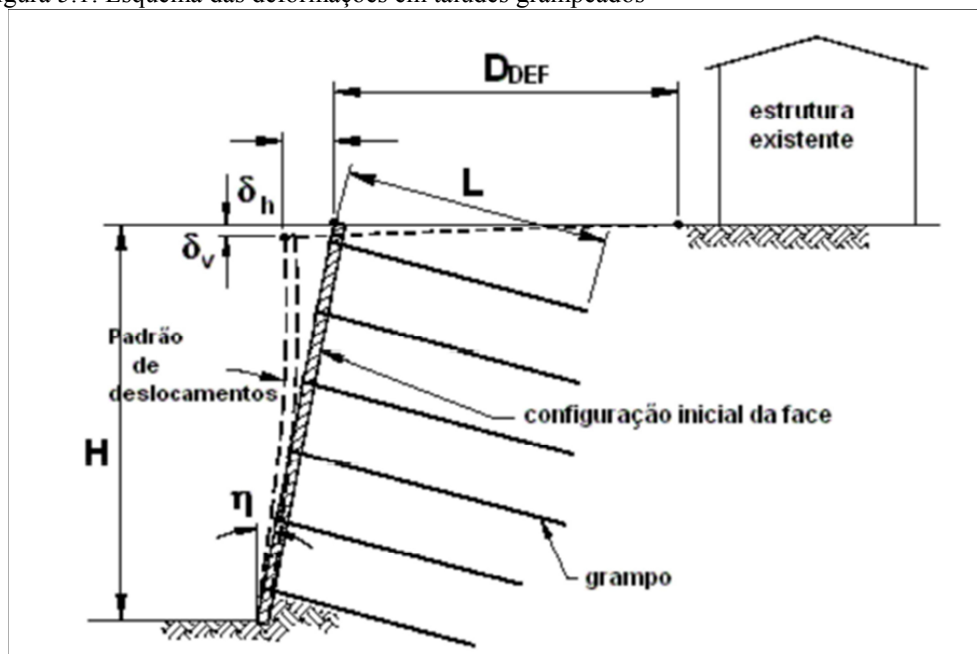
5.1 - Análise de deslocamentos

A ocorrência de deslocamento da face do talude em maciços de solo grampeado é usual durante o processo de escavação como também após a construção, que são provocados pela descompressão lateral que sofre o maciço de solo. Os máximos deslocamentos horizontais e verticais ocorrem na crista do talude e são geralmente da mesma magnitude. (CLOUTERRE, 1991).

À medida que escavações são executadas, o solo contido sofre desconfinamento. Ao final da construção, o muro apresenta uma leve inclinação na face. Os deslocamentos no solo são inevitáveis e necessários, uma vez que a mobilização do atrito e da adesão entre o solo e o grampo requer alguma deformação por parte do solo (GUILLOUX e SCHOLSSER, 1982).

O deslocamento horizontal máximo (figura 5.1) encontra-se comumente entre 0,1 e 0,4% da altura de contenção (CARTIER E GIGAN, 1983; CLOUTERRE, 1991). Estes valores são suficientes para ativar o solo, pois deslocamentos horizontais da ordem de 0,1% da altura de anteparo são suficientes para levar o maciço do solo ao estado ativo. (França, 2007).

Figura 5.1: Esquema das deformações em taludes grampeados



Fonte: Lima, 2007.

A tabela 5.1 fornece valores típicos κ , além dos valores máximos de deslocamentos verticais e horizontais máximos, baseado em resultados empíricos (Schlosser, 1992). Conforme indica a figura 5.1, em todos os casos instrumentados, os valores de δ_h no topo da face de escavação se aproximam dos deslocamentos verticais δ_v . Segundo as observações de campo, no estágio final da construção, estes deslocamentos variam entre 0,10%H e 0,30%H (figura 5.1) sendo reduzidos á medida que se distanciam da face. Variação de 0,07%H a 3,00%H forma observados em obras nos Estados Unidos e entre 0,25%H a 3,00%H na Alemanha (Schlosser, 1992).

Tabela 5.1 Valores típicos de κ , de deslocamentos verticais e horizontais máximos, baseado em resultados empíricos

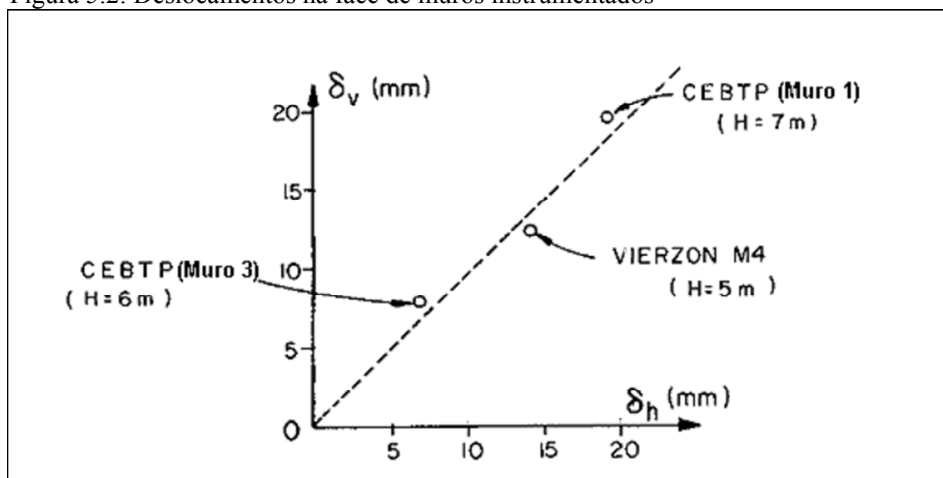
parâmetro	tipo de solo		
	alteração de rocha	solos arenosos	solos argilosos
$\delta_h = \delta_v$	0,10%H	0,20%H	0,30%H
coeficiente κ	0,8	1,25	1,5

onde: $D_{DEF} = \kappa (1 - \tan \eta) \cdot H$

Fonte: França, 2007

Estes deslocamentos mobilizam uma redistribuição de esforços internos atuantes ao longo das interfaces solo-reforço que tendem a minimizar potenciais movimentações adicionais da massa de solo-grampeado, (PEREIRA, 2016). Sob este ponto de vista, uma análise de tensão x deformação, apresenta de maneira real, podendo ser utilizada em projetos reais e não somente em experimentos (figura 5.2).

Figura 5.2: Deslocamentos na face de muros instrumentados



Fonte: Clouterre, 1991

Os deslocamentos no topo da face de escavação dependem dos seguintes parâmetros:

- velocidade da construção da estrutura;
- altura dos incrementos de escavações e espaçamento entre grampos;
- comprimento dos grampos;
- fator de segurança da parede de solo grampeado (quando os valores são baixos, os deslocamentos horizontais e verticais tendem a ser altos);
- relação L/H;
- inclinação e rigidez à flexão dos grampos;
- capacidade de suporte do solo da fundação da estrutura de solo grampeado;
- inclinação da parede (a inclinação reduzida da parede reduz os deslocamentos no topo, aumentando a estabilidade da estrutura segundo Lima et al., 2002).

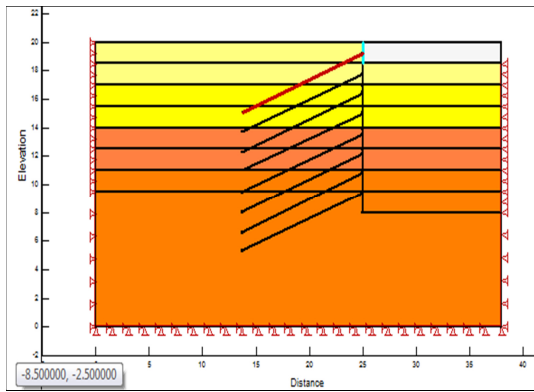
Para este estudo de caso será utilizada a ferramenta computacional GEOSTUDIO, que possui uma unidade de trabalho para cálculos de elementos finitos, chamada Sigma W, nesta unidade simula-se todo processo de escavação, inserção de grampos e paramento de face, bem como o processamento da estrutura, para posterior análise de deslocamentos de face do talude e tração nos grampos, a configuração teve intenção de elevar o fator de segurança de 1,202 apresentado no capítulo quatro para 1,50 que é mais satisfatório em termos de segurança e economia.

O novo dimensionamento foi constituído de oito linhas de grampos com espaçamento horizontal e vertical iguais, de 1,40 metros. O diâmetro do bulbo foi de 80 mm, com comprimento do grampo de 12 metros a uma inclinação de 20°. As barras aplicadas foram de CA 50 com 25 mm de diâmetro, espessura escolhida em função do fator de segurança devido a ruptura por tração no grampo. Considerando que o concreto absorve pouco o esforço de tração e que este valor não é significativo, a resistência à tração unitária na barra se torna fator preponderante. A tração máxima no grampo é da ordem de 136,44 kN, a barra de 20mm de diâmetro suporta uma tração máxima de 97,56 kN e a barra de 25mm de diâmetro suporta tração máxima de 152,45 kN. Por esta razão foi escolhida a barra de 25 mm já que sua resistência à tração é maior que a tração máxima no grampo.

A espessura do paramento é da ordem de 100 mm, de concreto projetado. Os parâmetros utilizados para o solo foram os mesmos para todas as modelagens. A figura 5.3 mostra a simulação do processo de escavação, inserção de grampos e paramento de face.

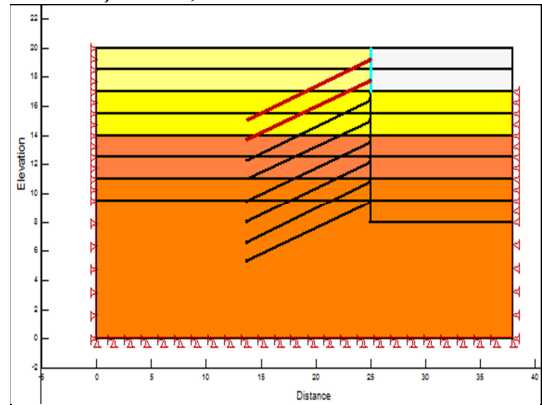
Figura 5.3: Níveis de escavação, Sigma/W – Geostudio 2007

Escavação de 1,50 mts.



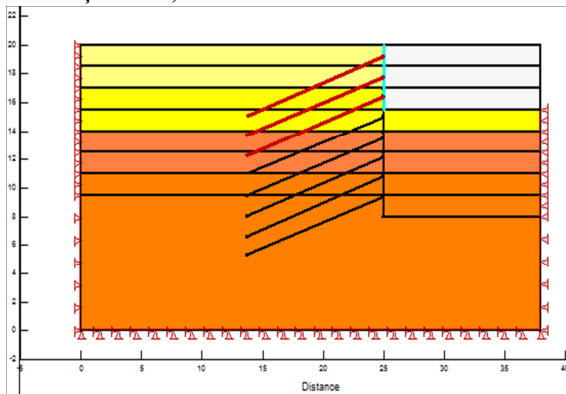
Fonte: Autor

Escavação de 3,00 mts.



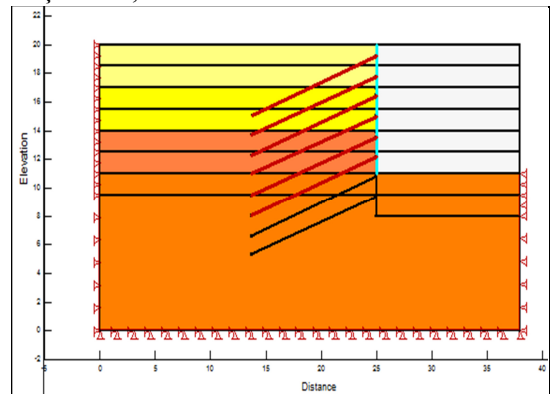
Fonte: Autor

Escavação de 4,50 mts.



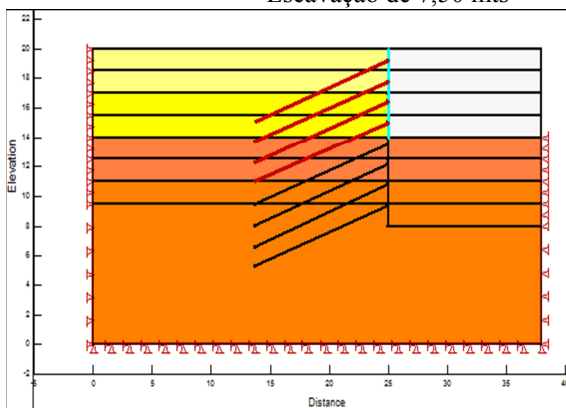
Fonte: Autor

Escavação de 6,00 mts.



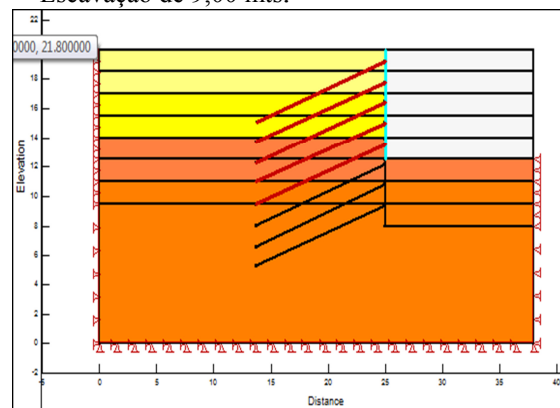
Fonte: Autor

Escavação de 7,50 mts



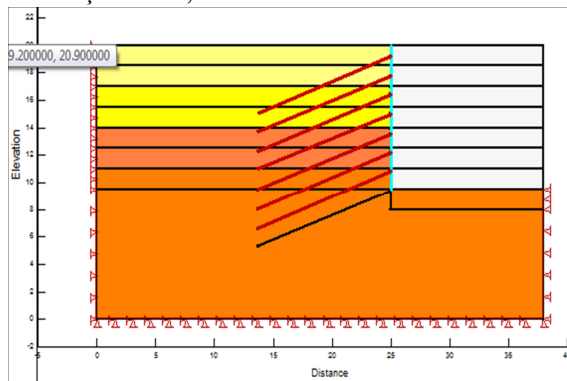
Fonte: Autor

Escavação de 9,00 mts.



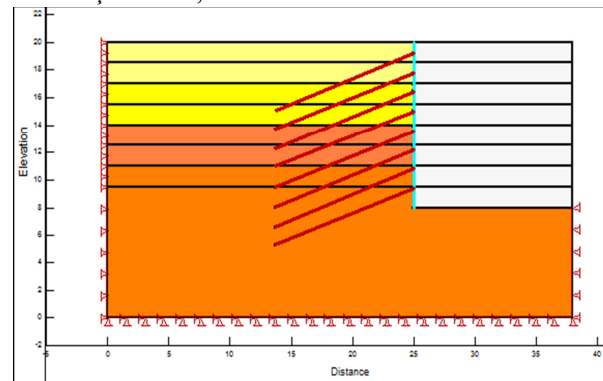
Fonte: Autor

Escavação de 10,5 mts.



Fonte: Autor

Escavação de 12,5 mts.



Fonte: Autor

A figura 5.4 mostra o deslocamento do estudo de caso com as linhas em vermelho representando os deslocamentos da face do talude e da sua base. Comparando o deslocamento deste estudo de caso com a tabela de valores típicos de κ para solos argilosos, verifica-se que o deslocamento máximo da face do talude poderia ser de 3,75 cm demonstrado da tabela 5.2 em contra partida do deslocamento apresentado que foi da ordem de 2,8cm.

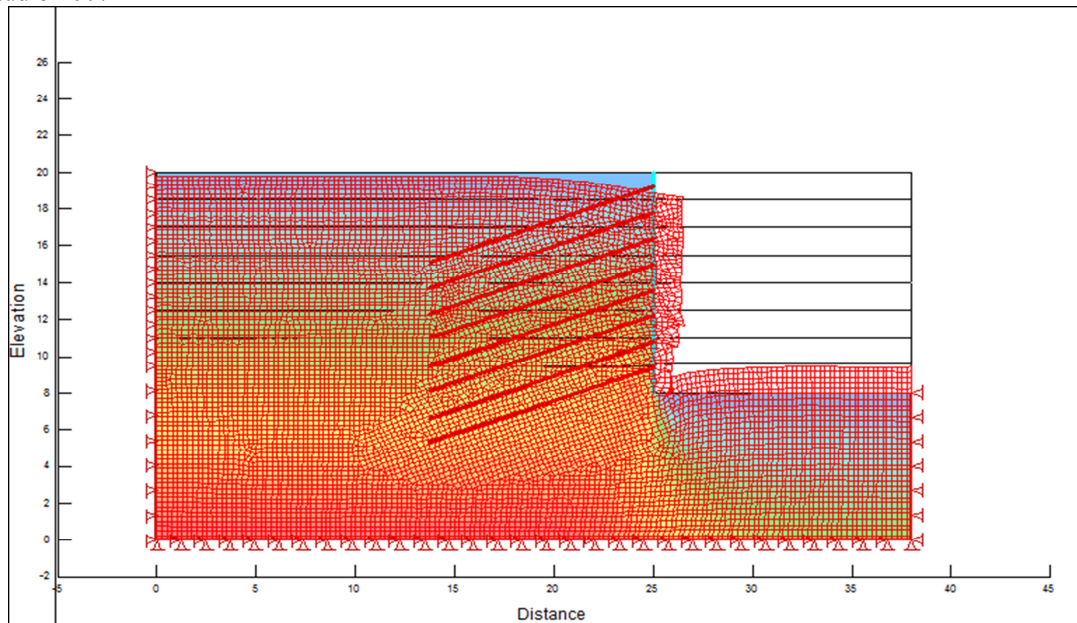
Tabela 5.2: Calculo de deslocamento máximo para estudo de caso

Deslocamento máximo permitido pela tabela 5.1		
Altura de escavação (m)	Deslocamento máximo δ_h	Resultado (cm)
12,50	12,50 x 3%	3,75

Fonte: O autor

Os grampos estão inseridos de maneira passiva no maciço, quando ocorre o deslocamento da face, os grampos sofrem tração e são ativados, é comum deslocamentos em contenções de solo grampeado durante a após o processo de escavação, a figura 5.4 a projeção do maciço deslocado.

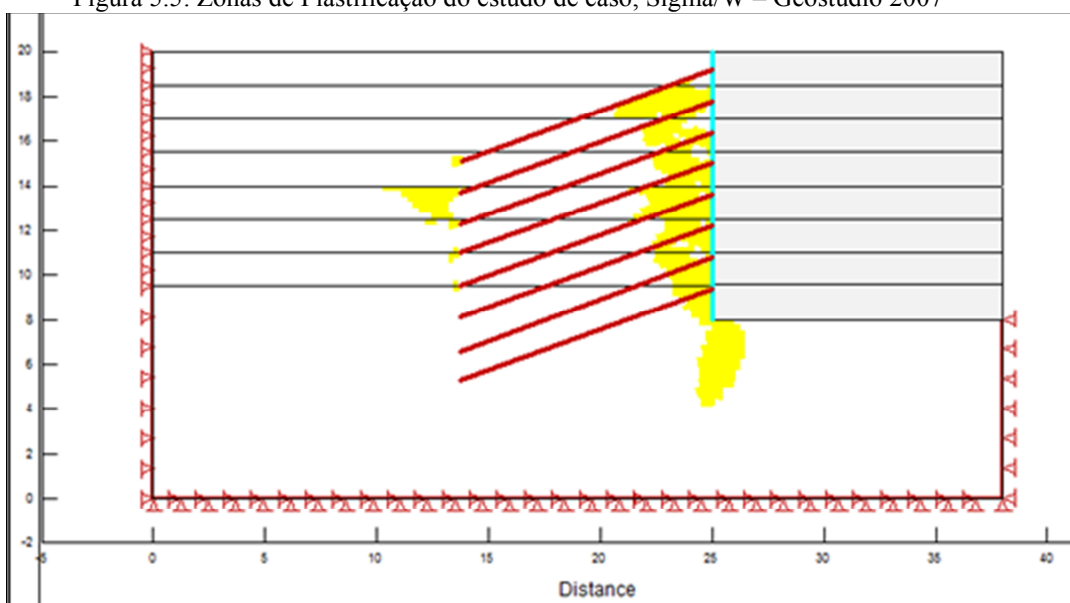
Figura 5.4: Projeção dos deslocamentos da face e base do talude, fator de escala aumentado 20 vezes, Sigma/W – Geostudio 2007



Fonte: O autor

A figura 5.5 mostra as regiões plastificadas ou zonas de plastificação (representadas pela cor amarela), para esta configuração de grampos. Note que a plastificação está concentrada próximo da face do talude nos primeiros metros dos grampos, também na base da contenção, reforçando o conceito de que a contenção em solo grampeado trabalha de maneira muito similar ao muro de gravidade, e também no final de todos os grampos ocorre a plastificação.

Figura 5.5: Zonas de Plastificação do estudo de caso, Sigma/W – Geostudio 2007



Fonte: O autor

5.2 Análise do fator de segurança ao arrancamento

Baseado nos estudos de tensão-deformação é possível determinar os esforços máximos de tração nos grampos ($T_{m\acute{a}x}$). A resistência ao arrancamento da região ancorada (R_{anc}) é dada pelo produto entre as resistências do bulbo (definida com base no fator de arrancamento dos grampos – q_s) e os correspondentes comprimentos de ancoragem. O fator de segurança ao arrancamento ($FS_{arrancamento}$) será dado pela razão entre a resistência ao arrancamento e a tração máxima, tal que:

$$FS_{arrancamento} = \frac{R_{anc}}{T_{m\acute{a}x}}$$

A tabela abaixo mostra os resultados obtidos para FS de cada grampos e a média, os comprimentos de ancoragem variam como também os q_s para cada barra.

Tabela 5.3: Fator de segurança ao arrancamento de cada grampo e sua média

FS de arrancamento dos grampos							
Grampo	q_s	F_{arr}	L_{anc}	R_{anc}	$T_{m\acute{a}x}$	$FS_{arrancamento}$	$FS_{m\acute{e}dio}$
	kPa	kN/m	m	kN	kN		
1	7,23	1,80	5,98	10,76	74,75	0,144	1,28
2	16,01	4,00	6,83	27,32	58,98	0,463	
3	30,48	7,65	7,55	57,75	49,35	1,17	
4	34,66	8,66	8,40	72,74	46,51	1,56	
5	50,97	12,74	9,22	117,46	97,56	1,20	
6	60,08	15,02	10,11	151,85	121,83	1,24	
7	94,47	23,61	11,04	260,65	113,83	2,20	
8	104,98	26,24	11,97	314,09	136,44	2,30	

Fonte: O autor

5.3 Análise do Fator de segurança á ruptura por tração

O fator de segurança que determina á ruptura por tração, é a relação entre a carga de uso do aço ($T_{max,barra}$) e a tração máxima solicitada no grampo ($T_{m\acute{a}x}$):

$$FS_{reforço} = \frac{T_{m\acute{a}x,barra}}{T_{m\acute{a}x}}$$

A próxima análise é em relação a possível ruptura dos grampos, foram feitas verificações com as barras de 20mm e 25mm para tensão máxima na, estes valores foram dados pelas tabela 5.4, 5.5 e 5.6. Para tanto se calcula um fator de segurança a ruptura e verificamos o seu valor médio (tabela 5.3).

Tabela 5.4: Valores das cargas de escoamento das barras de vergalhão

Aço CA50	Área (cm²)	σ_y (MPa)	Carga de escoamento (kN)	Carga de trabalho (kN)
10 mm	0,7854	500	39,27	24,39
12,5 mm	1,2272	500	61,36	38,11
16 mm	2,0106	500	100,53	62,44
20 mm	3,1416	500	157,08	97,56
22 mm	3,8013	500	190,07	118,05
25 mm	4,9087	500	245,44	152,45
32 mm	8,0425	500	402,12	249,77

Tabela 5.5: Fator de segurança à ruptura de cada grampo e sua média

FS a ruptura na dos grampos com vergalhão de 20mm				
Grampo	T_{máx, barra ϕ 25mm}	T_{máx}	FS_{reforço}	FS_{médio}
	kN	kN		
1	97,56	74,75	1,31	1,30
2	97,56	58,98	1,65	
3	97,56	49,35	1,98	
4	97,56	46,51	2,10	
5	97,56	97,56	1,00	
6	97,56	121,83	0,80	
7	97,56	113,83	0,86	
8	97,56	136,44	0,72	

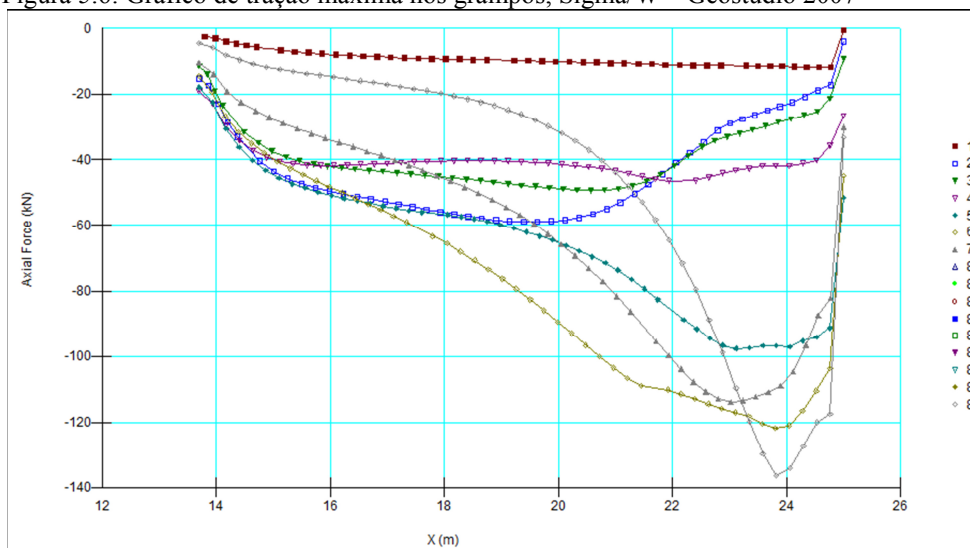
Tabela 5.6: Fator de segurança à ruptura de cada grampo e sua média
FS a ruptura na dos grampos com vergalhão de 25mm

Grampo	$T_{\text{máx, barra } \phi 25\text{mm}}$	$T_{\text{máx}}$	$FS_{\text{reforço}}$	$FS_{\text{médio}}$
	kN	kN		
1	152,45	74,75	2,04	2,03
2	152,45	58,98	2,58	
3	152,45	49,35	3,09	
4	152,45	46,51	3,28	
5	152,45	97,56	1,56	
6	152,45	121,83	1,25	
7	152,45	113,83	1,34	
8	152,45	136,44	1,12	

Fonte: O autor

O gráfico apresentado na figura 5.6 mostra o comportamento de todos os grampos quantos sujeitos ao carregamento. A tensão atuante no grampo está em kN e a deformação em metros. Observa-se que o grampo oito (8) é o mais carregado de todos, isto ocorre devido ao grande confinamento que este grampo sofre pela massa de solo que está sobre ele, e a medida que os grampos se aproximam da face do talude esta tensão tende a ser menor. Porém, este fenômeno não acontece de forma linear, os últimos quatro grampos, isto é grampos oito (8), grampo sete (7), grampos (6) e grampos cinco (5), são, portanto os que recebem o maior carregamento.

Figura 5.6: Gráfico de tração máxima nos grampos, Sigma/W – Geostudio 2007



Fonte: O autor

O resultado final do dimensionamento está contemplado na tabela 5.5, mostrando a composição final do projeto deste estudo de caso. Esta distribuição se dá em “faixas” de 1,40 m de comprimento por 12,50 m de altura e se estende por toda a contenção, o dimensionamento como já citado acima foi feito com base no talude mais crítico, que confronta com uma via de alto tráfego e com edificações próximas. O projeto contempla cada grampo e suas respectivas alturas conforme tabela 5.7, não é citada nesta tabela a face de concreto projetado, que será mencionada posteriormente.

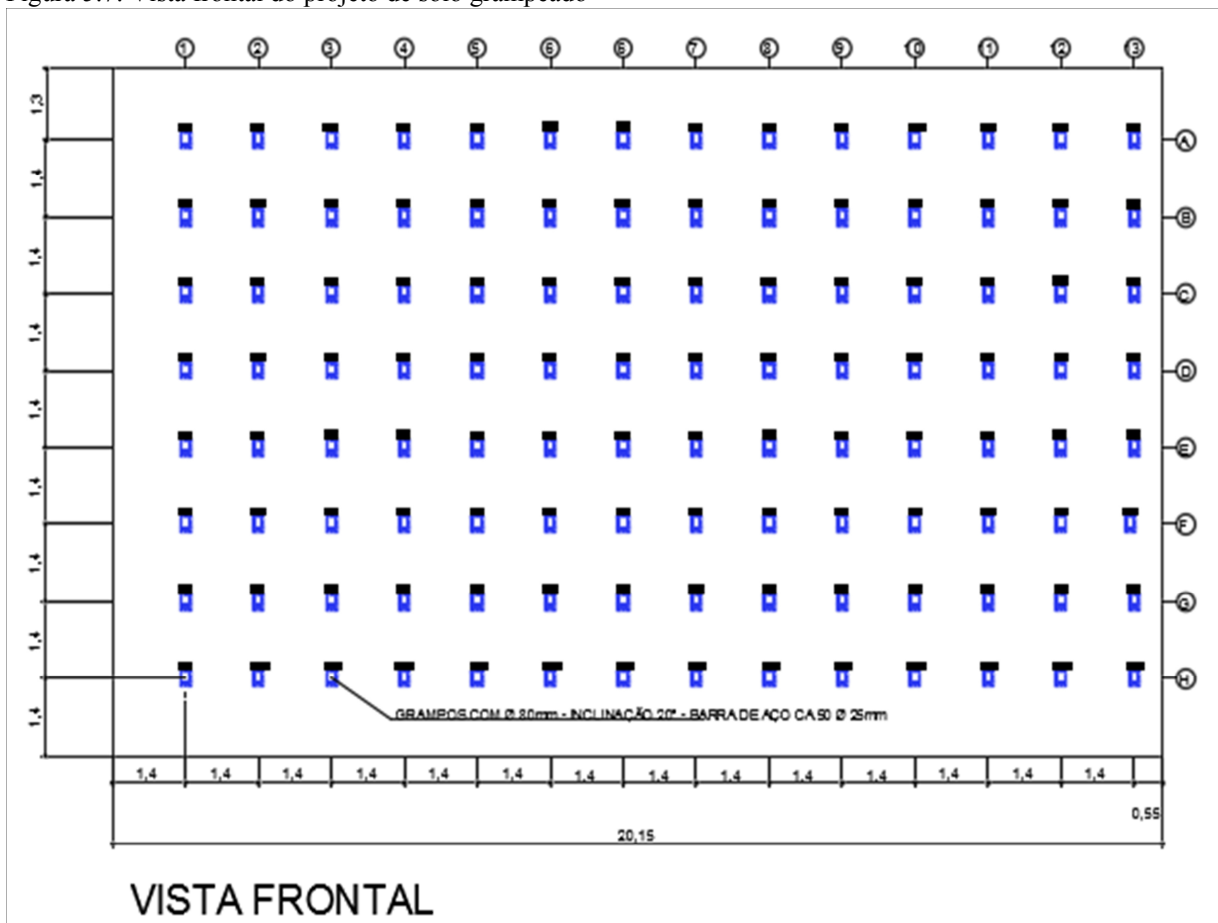
Tabela 5.7: Dimensionamento final da contenção em solo grampeado

Grampo	Diâmetro da barra de aço (mm) CA 50	Diâmetro do grampo (mm)	Ângulo de inclinação do grampo	Espaçamento dos grampos (m)		Comprimento do grampo (m)	Resistência unitária ao cisalhamento (qs) (kPa)
				Vertical	Horizontal		
1	$\phi 25$	100	20°	1,40	1,40	12,00	7,23
2	$\phi 25$	100	20°	1,40	1,40	12,00	16,01
3	$\phi 25$	100	20°	1,40	1,40	12,00	30,48
4	$\phi 25$	100	20°	1,40	1,40	12,00	34,66
5	$\phi 25$	100	20°	1,40	1,40	12,00	50,97
6	$\phi 25$	100	20°	1,40	1,40	12,00	60,08
7	$\phi 25$	100	20°	1,40	1,40	12,00	94,47
8	$\phi 25$	100	20°	1,40	1,40	12,00	104,98

Fonte: O autor

A representação visual deste projeto em solo grampeado é apresentada no Anexo B, representando o dimensionamento final deste estudo de caso. A figura 5.7 representa a contenção vista de frente com a posição de cada grampo e sua numeração assim como suas distâncias horizontais e verticais.

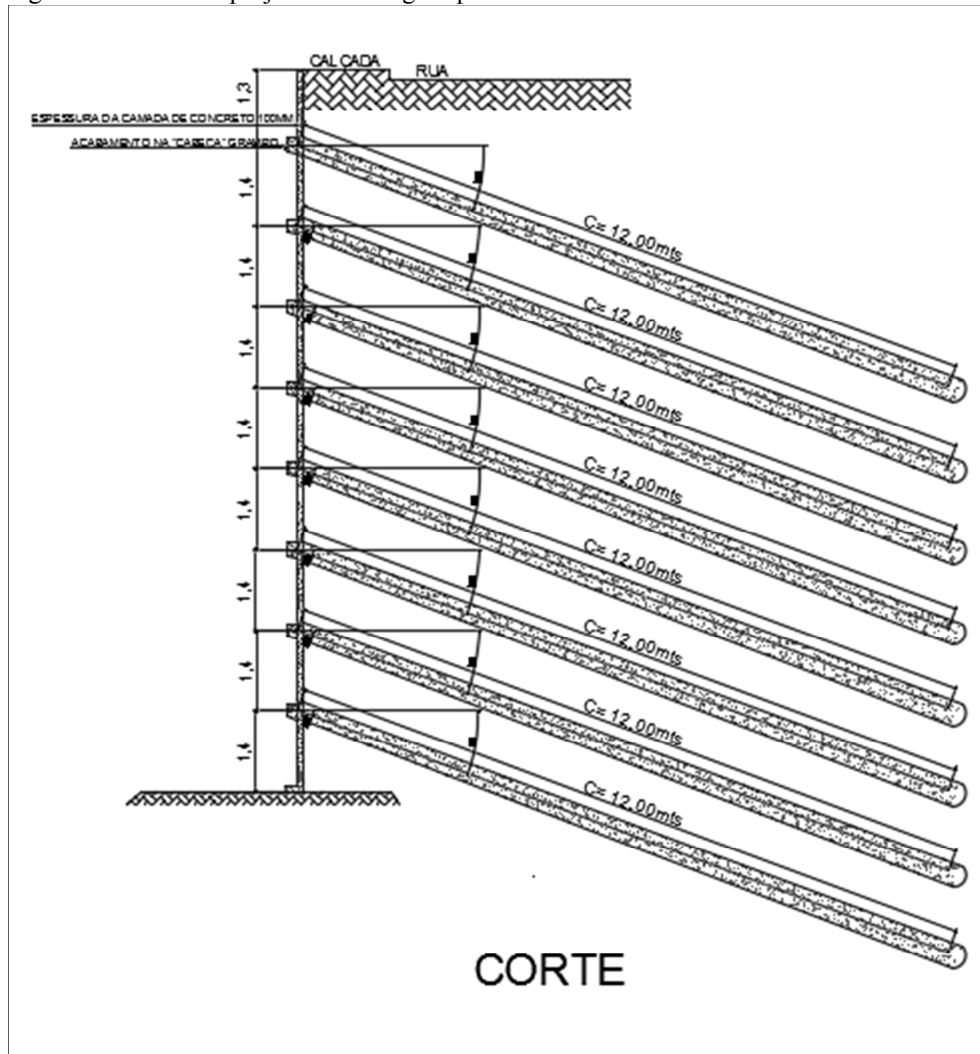
Figura 5.7: Vista frontal do projeto de solo grampeado



Fonte: O autor

A figura 5.8 mostra o corte desse mesmo projeto, neste é possível observar o comprimento dos grampos e sua inclinação, bem como a barra de vergalhão inserida e envolvida com a calda de cimento, o paramento de face também pode ser visto e o acabamento na “cabeça” do grampo, os grampos representados nesta figura encontram-se confinados no maciço de solo.

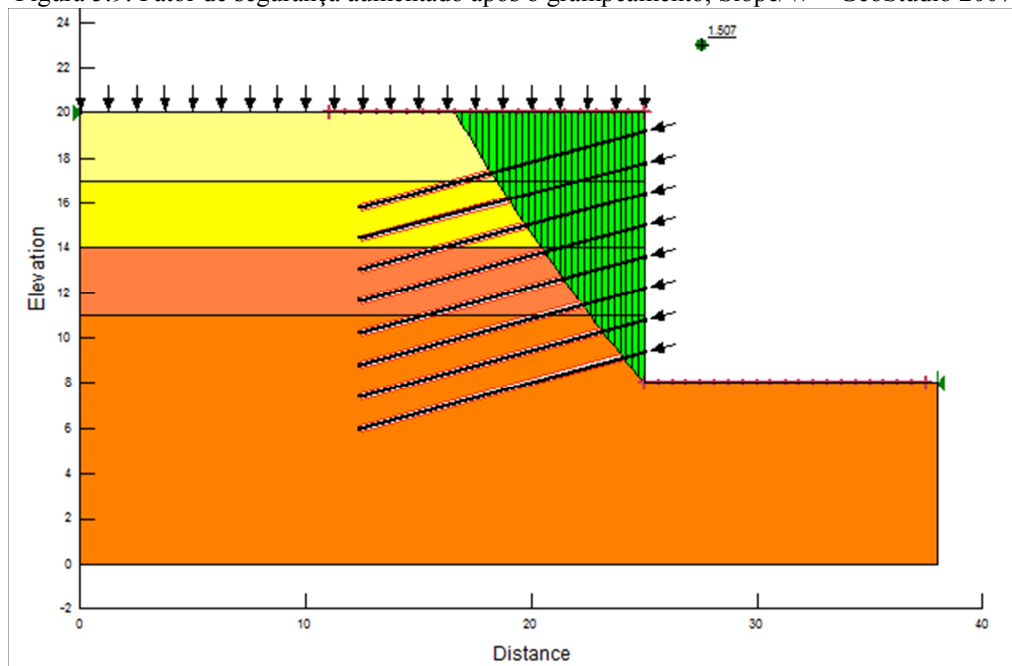
Figura 5.8: Corte no projeto em solo grampeado



Fonte: O autor

A figura 5.9 mostra um aumento significativo no fator de segurança após o grampeamento, uma nova configuração foi proposta diferente do que foi realizado no capítulo 4, que mostrava um fator de segurança de 1,202. Com a nova proposição o valor foi elevado para 1,507, comparando com a literatura sobre os vários ensaios, ficou demonstrado que o FS de 1,00 é considerado baixo e esta no limite da ruptura, então valores acima disso tendem a ser mais aceitáveis, porém valores que excedam 1,50 podem deixar a contenção onerosa.

Figura 5.9: Fator de segurança aumentado após o grampeamento, Slope/W – GeoStudio 2007



Fonte: O autor

5.4 Orçamento

No orçamento não foram quantificados processos inerentes aos dois métodos, tais como escavação, preparação do canteiro de obras drenagem superficial e tempo improdutivo. O custo do solo grampeado e dado em m^2 e da estaca justa posta é dado por metro linear, para compatibilizar em uma unidade o valor das estacas será transformado em m^2 no final do relatório.

As tabelas 5.8, 5.9 e 5.10, compõem todo o material e serviço utilizados para realização da contenção estaca justa posta, para contenção da face mais crítica, que possui do talude 20,15 metros de comprimento por 12,50 metros de altura, ou seja $251,87m^2$. Foram necessárias 32 estacas de 15 metros de comprimento totalizando 480 metros de estaca a um custo de R\$ 152,53/m, para viga de travamento, que possui dimensões de $0,60_{base} \times 0,80_{altura} \times 0,15_{comprimento}$, totalizando $9,72m^3$ a um custo de R\$ 675,69/ m^3 , finalmente a para formas da viga que tem as seguintes dimensões, $0,80_{altura} \times 20,15_{comprimento}$, essas dimensões são consideradas duas vezes, totalizando $32,24m^2$ a um custo de 15,14/ m^2 .

Tabela 5.8: Planilha de orçamento para estacas justa postas

PLANILHA DE ORÇAMENTO - ESTACAS JUSTA POSTA DATA BASE NOVEMBRO 2016				
Un	Descrição	Rend	Preço unitário	Preço do insumo
un	Separador certificado para estacas	3,00	0,21	0,63
kg	Aço em barras nervuradas CA-50, diâmetros vários, segundo ABNT NBR 7480	11,55	3,89	44,93
kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30mm de diâmetro	0,077	2,51	0,19
m³	Concreto C25 classe ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 1, consistência S100, dosado em central, segundo ABNT NBR 8953	0,201	322,16	64,75
m	Perfuração e colocação de materiais, com equipamentos e maquinaria, para estaca escavada com trado mecânico, de 50cm de diâmetro	1,005	20,41	20,51
h	Armador	0,087	18,71	1,63
h	Ajudante de armador	0,124	15,11	1,87
h	Oficial de trabalhos de concretagem	0,439	18,71	8,21
h	Ajudante de trabalhos de concretagem	0,439	15,11	6,63
%	Custo direto complementares	2,00	149,35	2,99
Preço por metro linear		Total:	152,43	

Fonte: O autor

Tabela 5.9: Material e serviço para viga de travamento utilizada para solidarizar a "cabeça" de todas as estacas

Viga de travamento, utilizado para solidarizar a "cabeça" de todas as estacas				
Un	Descrição	Rend	Preço unitário	Preço do insumo
un	Separados certificado para fundações	10,00	0,31	3,10
kg	Aço em barras nervuradas CA-50, diâmetros vários, segundo ABNT NBR 7480	75,60	3,89	294,08
kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30mm de diâmetro	0,864	2,51	2,17
m³	Concreto C25 classe ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 1, consistência S100, dosado em central, segundo ABNT NBR 8953	1,050	322,16	338,27
h	Armador	0,520	18,71	9,73
h	Ajudante de armador	0,585	15,11	8,84
h	Oficial de trabalhos de concretagem	0,079	18,71	1,48
h	Ajudante de trabalhos de concretagem	0,316	15,11	4,77
%	Custo direto complementares	2,00	662,44	13,25
Preço por m³		Total:		675,69

Fonte: O autor

Tabela 5.10: Material e serviços para o sistema de escoramento e formas para viga de fundação

Sistema de escoramento e formas para viga de fundação				
Un	Descrição	Rend	Preço unitário	Preço do insumo
m²	Painel de madeira compensada, resinado de 6mm de espessura, com faces e dobras retas revestidas com resina fenólica, segundo NBR ISSO 1096	0,092	7,62	0,70
m	Sarrafo de madeira serrada, de pinus (pinus ssp), de 2,5x7 cm, de segunda qualidade, segundo ABNT NBR 11700	0,450	3,00	1,35
kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30mm de diâmetro	0,100	2,51	0,25
kg	Pregos comuns 17x21 com cabeça, de 3mm de diâmetro e 48mm de comprimento	0,050	3,91	0,20
l	Agente desmoldante , à base de óleos especiais, emulsionado em água para formas metálicas, fenólicas ou de madeira	0,030	4,52	0,14
h	Montador de formas	0,361	18,71	6,75
h	Ajudante de montador de formas	0,361	15,11	5,45
%	Custo direto complementares	2,00	14,84	0,30
Preço por m²		Total:		15,14

Fonte: O autor

O resultado final para 251,87m² de contenção em estaca justa posta é de R\$ 80.270,22. O custo por m² é de R\$ 318,69, o total da obra de contenção é de 1.370m². O valor final para este tipo de contenção é da ordem de R\$ 436.614,92.

A tabela 5.11 fornece o custo por m² de solo grampeado, a contenção em estudo é da ordem de 1.370m² de área totalizando R\$ 390.969,60. A tabela 5.12 mostra os valores finais de cada contenção e a diferença de custo entre elas.

Tabela 5.11: Planilha de orçamento para solo grampeado

PLANILHA DE ORÇAMENTO SOLO GRAMPEADO				
Un	Descrição	Rend	Preço unitário	Preço do insumo
kg	Armadura de aço CA-50	21,78	3,95	86,03
saco	Injeção de argamassa	0,10	106,27	10,07
m ³	Perfuração em solo para execução dos grampos de 800mm	0,606	147,07	82,00
m ³	Concreto projetado, cimento e inertes especiais, C25 classe de agressividade ambiental II, consistência S100, dosificação de cimento maior que 400kg/m ³	0,130	607,11	78,92
h	Máquina para projetar concreto 24 CV.	0,468	27,96	13,09
h	Oficial de 1ª pedreiro	0,560	15,64	8,76
un	Barbacã	0,078	14,91	1,08
%	Meios auxiliares	2,00	103,34	2,07
%	Custos indiretos	3,00	105,41	3,16
Preço por m ²		Total:		285,18

Fonte: O autor

Tabela 5.12: dimensionamento final de custo

TABELA COMPARATIVA DE CUSTO FINAL					
Método de contenção	Valor unitário/m ²	Área total (m ²)	Valor total	Diferença entre as técnicas (R\$)	Economia (%)
Estaca justa posta	318,69	1.370	436.614,92	45.918,32	10,45
Solo grampeado	285,28	1.370	390.969,60		

Fonte: O autor

5.5 Comparativo de custos e resultados finais

As tabelas de comparativo de custo apresentadas neste capítulo permitem a análise final do trabalho. Os valores para cada contenção são: solo grampeado R\$ 285,18/m² e estaca justa posta R\$ 318,69/m²; de acordo com as condicionantes impostas no presente estudo.

Desses valores conclui-se que, o custo de implantação de reforço em solo grampeado é 10,45% mais econômico que a contenção utilizada, a economia seria de R\$ 45.918,32.

O tempo de execução da contenção em estaca se deu em seis (6) meses, informação colhida em entrevista com o mestre de obras e com o proprietário do empreendimento. De acordo com Cunha (2010) uma obra de 1500 m² em solo grampeado foi realizada em cinco meses. Sendo assim, conclui-se que podem ser executados aproximadamente 300m²/mês. Seguindo esta ordem de grandeza, estima-se o tempo de execução do projeto em estudo em 4,5 meses.

A contenção proposta neste trabalho tem como objetivo oferecer vantagens em detrimento a técnica de contenção adotada, o que podemos verificar é que se a obra fosse executada em solo grampeado, ocorreria uma economia de 45 dias no tempo de execução e R\$ 45.918,32.

6. CONCLUSÕES

Com um panorama cada vez mais competitivo da construção civil, cada projeto deve ser otimizado para conseguir melhor custo benefício de cada alternativa aplicável.

O trabalho apresentado mostra singularidades das técnicas de estaca justa posta e solo grampeado, chamando atenção para os métodos do funcionamento das técnicas. Quando se fala em estaca justa posta, vale ressaltar que esta, trabalha em equilíbrio e depende do empuxo de terra para sua estabilidade. Quando citamos solo grampeado nota-se que o entendimento relacionado a esforços sobre o maciço não é o mesmo, já que esta técnica de contenção de solo trabalha com um reforço no maciço estabilizando o talude desta maneira.

Em relação à movimentação de terra, isto é, o desaterro (em se tratando de corte pra subsolos, alvo de nosso estudo de caso), a estacas justa postas não necessitam de grande movimentação inicial visto que o solo que o solo retirado é apenas o espaço das estacas, ou seja, um diâmetro por uma profundidade. No solo grampeado se faz necessária à escavação, uma mobilização de terra maior inicialmente, os corte no solo podem ser de 1 metro até 3 metros dependendo da coesão do solo (conforme citado no capítulo 4).

Conclui-se também sobre a velocidade de execução, no que tange ao solo grampeado é mais acelerada, e a cada etapa de corte ou escavação fica concluída por completo, para depois iniciar uma nova escavação não é preciso arremates nem acabamentos, o que na estaca justa posta não é possível visto que a perfuração é feita em dois momentos, impossibilitando a perfuração de estacas uma ao lado da outra sequencialmente, tendo como consequência maior demandando de tempo até a execução total da obra.

Conclui-se ainda que no solo grampeado os deslocamentos são previstos e até certo ponto esperados, e que pequenas deformações contribuem para estabilização do maciço, e como a base da contenção também sofre a influência do maciço reforçado, se deformando, confirmando a ideia de que o solo grampeado se comporta como muro de gravidade.

Com relação ao comparativo de custos deste trabalho observa-se que a diferença que há entre as técnicas da ordem de 10,40%, sendo o solo grampeado mais econômico que a contenção adotada. Para custo de execução, o solo grampeado se mostrou uma técnica simples, rápida e de baixo custo.

O trabalho apresentado fornece uma nova solução para o problema, ou seja, há duas maneiras distintas de solucionar a mesma ocorrência, fornecendo vantagens por meio de

condicionantes distintas, cabendo ao engenheiro de projeto reconhecer quais delas terão maior utilidade dentro da realidade de cada empreendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMS/ABEF, (1998). **Fundações: Teoria e Prática**. Pini, São Paulo, SP, 2 ed., 751p

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Análise dos custos unitários de construção e custos operacionais de grandes projetos de infra-estrutura de transporte para apoio ao projeto do ter, de alta velocidade (TAV)**. 2009. Relatório Final. Rio de Janeiro - São Paulo – Campinas. 95 p.

ARAÚJO, Luis Fernando Farah de. **Custos de contenções (por m²) a serem considerados para edificações situadas em locais topograficamente acidentados**. 2010. 6 p. Artigo Científico. Construindo, Belo Horizonte – MG. v. 2. n. 2. p. 18-23. Jul/Dez 2010.

BISHOP, A. W. (1955), *'The use of the slip circle in the stability analysis of slopes'*, *Geotechnique* **5**(1), 7--17.

BOWLES, J. (1996), *'Foundation analysis and design*. The McGrawHill Companies', *Inc.*, *New York*, 60.

BOWLES, J. York, N., ed. (1968), **Foundation Analysis and Design**, McGraw-Hill Book Company.

BOWLES, J. E. York, N., ed. (1988), *Design of Foundations for Vibration Control in Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill Book Company.

BOWLES, J. E. (1996), *'Foundation analysis and design. The McGrawHill Companies'*, *Inc.*, *New York*, 60.

BRUCE, D. A. & Jewell, R. A. (1986), *'Soil nailing: application and practice-part 1'*, *Ground Engineering* **19**(8), 10--15.

BYRNE, R. J.; Cotton, D.; Porterfield, J.; Wolschlag, C. & Ueblacker, G. (1996), *'Manual for design and construction monitoring of soil nail walls'*.

CAPUTO, H. P. (1988), *'Mecânica dos solo e suas aplicações'*, Rio de Janeiro, Editora Livro Técnico e Científico.

CAPUTO, H. P. (1981), *'Mecânica dos solos e suas aplicações'*, LTC, .

CLOUTERRE (1991), *'For Designing', Calculating, Constructing and Inspecting Earth Support Systems Using Soil Nailing*, Presses de l'ENPC, Paris.

CUNHA, Luiza de Fátima da. FONSECA, Evangelista Cardoso Solo Grampeado – **Método Executivo: A técnica atual de solo grampeado como uma das soluções mais viáveis para as obras de contenção**. 16 p. Artigo Científico. Universidade Católica do Salvador - UCSal

DANTAS, B. T. (2004), '**Análise do comportamento de estruturas de solo reforçado sob condições de trabalho**', PhD thesis, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

DE CAMPOS, T. M. P. & Carrillo, C. W. (1995), **Direct shear testing on an unsaturated soil from Rio de Janeiro**, in 'PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNSATURATED SOILS/UNSAT'95/PARIS/France/6-8 SEPTEMBER 1995. VOLUME 1'.

DIAS, F. P. & Herrmann, M. L. d. P. (2006), '**Susceptibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis-SC**', *Caminhos de Geografia* 3(6).

DYMINSKI, A. S. (2007), '**Noções de Estabilidade de Taludes e Contenções**', *Brasil: Universidade Federal de Paraná*.

EHRlich, M. (2003), **Solos grampeados: comportamento e procedimentos de análise**, in 'Workshop sobre solo grampeado. São Paulo: ABMS', pp. 127--137.

EHRlich, M. & Becker, L. (2009), *Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução*, Oficina de Textos.

FEIJÓ, R. L. (2007), '**Monitoração de uma escavação experimental grampeada em solo residual gnáissico não saturado**', PhD thesis, Tese de Doutorado). Rio de Janeiro: COPPE-Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007, 157p.

FELLENIUS Sellenius, W. (1936), **Calculation of the stability of earth dams**, in 'Transactions of the 2nd congress on large dams, Washington, DC', pp. 445--463.

FHWA – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Geotechnical engineering circular n° 7 – Soil nail walls**. Washington, 2003.

FHWA – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Hollow-core soil nails state of the practice**. Washington, 2006.

FRANÇA, Fagner Alexandre Nunes de. Ensaio de arrancamento em solo grampeado executados em laboratório. 2007. 123 f. Dissertação – Mestrado – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

FRANCO, B. O. M. (2010), '**Uso de sistema computacional em projeto de solo grampeado**', .

GERADOR de Preços Brasil http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Fundacoes/Profundas/Estacas_moldadas_in_loco_/CPI105_Estaca_escavada_com_trado_mecanico_.html Acesso em: 31 de outubro de 2016.

GeoRIO (1999). '**Manual Técnico de Encostas: Vol. IV - Ancoragens e Grampos**', Fundação GeoRio; Editores: J.A.R. Ortigão e A.S.F.J Sayão, 184p.

GeoRIO (2000), '**Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro. Manual técnico de encostas: ancoragens e grampos**'. Rio de Janeiro. 2. ed. Volume 4, 188. p.

- GERSOCOVICH, D. M. S. (2012), **Estabilidade de taludes**, Oficina de Textos.
- GODINHO, P. M. F. (2009), '**Métodos de dimensionamento de cortinas de contenção autoportantes e mono-apoiadas: o problema das cargas verticais**', PhD thesis, FCT-UNL.
- GURGEL, J. G. B. (2012), '**Modelagem numérica de estruturas de contenção atirantadas em areia**', .
- HACHICH, W. & others (2007), '**Fundações, Teoria e Prática**, 2a edição, São Paulo, PINI, 1998. YAZIGI, Walid', *A Técnica de Edificar, 8 edição, São Paulo, PINI*.
- JANBU, N.; Bjerrum, L. & Kjaernsli, B. (1956), '**Soil mechanics applied to some engineering problems**', *Norwegian Geotechnical Institute. Publication 16*.
- JEWELL, R. A. (1996), **Soil reinforcement with geotextiles**, Construction Industry Research and Information Association.
- LAZARTE, C. A. et al. Soil nail walls. **Geotechnical Engineering Circular n° 7, Technical Manual**. Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation. 2003. 239p. USA, 2003.
- LIMA FILHO, S.C.P.; Borges, J.B. & Lima, A.P. (2005). **Aplicação da técnica de sologrampeado para estabilização em áreas urbanas carentes**. IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), Salvador, pp. 657-663
- MAGALHÃES, E. P. (2003), '**Comportamento Experimental de Uma Cortina de Estaca Prancha Assente em Solo Poroso do DF: Implicações para o Projeto e Metodologia de Cálculo**', PhD thesis, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental DF.
- MARIZONNA & others P. I. N. I., ISBN, ed. (1998), **Fundações: teoria e prática**, São Paulo: PINI.
- MATTOS, Aldo Dórea. **Gestão de orçamentos na construção civil: a questão das produtividades**. Mundo PM. Numero 16. Ago/Set 2007. Disponível em: <www.mundo pm.com.br>. Acesso em 29 de outubro de 2016.
- MEDEIROS, A. G. B. (2005), '**Análise Numérica de Estruturas de Contenção em Balanço e Grampeadas do Tipo “Estaca Justaposta” Assentes em Solo Poroso do DF**', PhD thesis, Dissertação (mestrado), Brasília: Universidade de Brasília.
- MOLITERNO, A. (1994), **Caderno de muros de arrimo**, Edgard Blucher.
- MORGENSTERN, N. R. & Price, V. E. (1965), '**The analysis of the stability of general slip surfaces**', *Geotechnique* **15**(1), 79--93.
- MOTA, R. J. (2009), '**Análise da interação solo-estrutura de uma obra de contenção na cidade de Goiânia-GO**', .
- NGS - NORDIC GEOTECHNICAL SOCIETIES. **Nordic Guidelines for reinforced soil and fills**. 2004.

- ORTIGÃO, J. A. R.; Palmeira, E. M. & Zirlis, A. C. (1995), **Experience with soil nailing in Brazil: 1970-1994**, in 'International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts', pp. 32A.
- PECK, R. B. (1969), **Deep excavations and tunnelling in soft ground**, in 'Proc. 7th int. conf. on SMFE', pp. 225--290.
- PEREIRA, A. B. (2016), '**Estudos Numéricos do Comportamento Tensão-Deformação de Estruturas em Solo Grampeado**', PhD thesis, Escola de Minas/UFOP.
- PEREIRA, V. F. (1984), '**Cortina de estacas circulares em concreto armado.**', Curso de Especialização em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Londrina..
- PINTO, C. d. S. (2000), '**Curso básico de mecânica dos solos**', *São Paulo: Oficina de Textos*.
- RIBEIRO, S. G. S. (2011), '**Projeto de solo grampeado**', Universidade Federal de Ouro Preto, NUGEO (Núcleo de Geotecnia - Mestrado Profissional).
- SANGLARD, L. N. (2014), '**GANHOS DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE ATRAVÉS DO USO DE ESTACA SECANTE EM CONTENÇÕES**', PhD thesis, DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL GANHOS DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE ATRAVÉS DO USO DE ESTACA SECANTE EM CONTENÇÕES Louise Nideck Sanglard Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SAYÃO, A. S. F. J. **Instrumentação e Monitoramento de Taludes em Solo Grampeado**, 2005. 11 p. (relatório de pesquisa, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio).
- SCOZ, V. (2002), '**Estudo da estabilidade e dimensionamento de um talude em solo**', PhD thesis, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SILVA, D. P. **Análise de diferentes metodologias executivas de solo pregado a partir de ensaios de arrancamento realizados em campo e em laboratório**. 2009. Tese (Doutorado)– Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.n.p.
- SILVA, R. C. & Ehrlich, M. (2010), '**Monitoração de estrutura de contenção em solo grampeado com faceamento em blocos segmentais**', *COBRAMSEG 2010*.
- SILVA, A.F.P. (2010). '**Desenvolvimento de um programa de cálculo automático de estabilidade de taludes pelo método de Correia**'. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP.
- DA SILVA, R. D. F. (2015), '**Comparação entre soluções de escavação e contenção em poço e com cortinas de estacas: O caso do metro do Porto**', .
- SOARES, J. E. S. & Gomes, R. C. (2003), **Um caso de obra de solo grampeado na encosta da BR-101 em Angra dos Reis, RJ**, in 'Workshop Solo Grampeado: Projeto, Execução, Instrumentação e Comportamento, São Paulo: ABMS-Sinduscon'.

SORIANO, E.; Coutinho, M. P.; Londe, L. R.; Saito, S. M. & Gregorio, L. T. (2013), '**Avaliação de propostas de candidatos a prefeitos em relação aos riscos de desastres naturais**', *Sociedade & Natureza* **25**(3), 525--542.

SPENCER, E. (1967), '**A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces**', *Geotechnique* **17**(1), 11--26.



SPRINGER, F. O. (2006), '**Ensaio de arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss**', *Rio de Janeiro: PUCRJ, Departamento de Engenharia* **155**, 310.

TEIXEIRA, Ítalo Jefferson Rocha. **Estudo comparativo de duas alternativas para contenção de taludes**. 2011. 123 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual de Feira de Santana – BA. 2011.

TOZATTO, J. H. F. (2000), '**Estruturas de contenção de baixa altura em solo residual**', PhD thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ZIRLIS, A. C.; Pitta, C. A.; Souza, G. J. T. & Oliveira, M. (1992), **Soil nailing: chumbamento de solos, experiência de uma equipe na aplicação do método**, *in* 'COBRAE–Conferência Brasileira de Encostas', pp. 81.

Anexo A – Ensaio SPT

CLIENTE: Daniel Csizmar Oliveira e Outros		LOCAL: Rua Francisco Mariano, 154 - Centro		Alfenas MG				
OBRA: Edifício Residencial		PESO DO MARTELO 65 Kg		ALTURA DE QUEDA 75 Cm				
GRÁFICO - GOLPES / 30CM		FURO Nº		Amarrador SPT(2*) / Revertimento 2 1/2*				
1ª e 2ª		SP 05		Comprimento do Revertimento (m): 0,00				
2ª e 3ª				ORDEM	RN	COTA	INICIO: 12/04/2014	
				.029.0544.0414	100,000	100,525	TÉRMINO: 12/04/2014	
		1ª e 2ª	2ª e 3ª	Prof.(m)	AVANÇO	N.ª	AMOSTRAS	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
0								
1		7	6	1	TC			
2		6	7	2		NÍVEL DE ÁGUA NÃO ENCONTRADO.		
3		4	4	3				ARGILA SILTOSA, MARROM CLARO, CONSISTÊNCIA MOLE A RIJA.
4		8	9	4				
5		11	13	5				
6		15	15	6			6,00	
7		11	9	7				
8		7	6	8				
9		18	20	9				
10		20	21	10				
11		40	43	11				SILTE ARGILO ARENOSO, ROSA E AMARELO, CONSISTÊNCIA MÉDIA A DURA.
12		26	25	12				
13		15	14	13				
14		34	35	14				

Anexo B – Projeto Solo Grampeado