



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

CAMPUS ALTO PARAPEBA

Guilherme de Souza Marçal

Leonardo Cerqueira Hott

**MICROESTACA ARCOS COMO ELEMENTO
ESTABILIZADOR DE TALUDE**

Ouro Branco, MG

Dezembro – 2017

MICROESTACA ARCOS COMO ELEMENTO ESTABILIZADOR DE TALUDE

Guilherme de Souza Marçal

Leonardo Cerqueira Hott

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para a obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Civil – Ênfase em
Estruturas Metálicas, da Universidade
Federal de São João del-Rei.

Orientador: Tales Moreira de Oliveira

Ouro Branco, MG

Dezembro – 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MICROESTACA ARCOS COMO ELEMENTO ESTABILIZADOR DE TALUDE

Guilherme de Souza Marçal

Leonardo Cerqueira Hott

A Banca Examinadora, composta pelos membros abaixo, avaliou este TCC:

Tales Moreira de Oliveira – Orientador

Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira – Examinador 1

Fagner Alexandre Nunes de França – Examinador 2

Ouro Branco, 14/12/2017

AGRADECIMENTOS

À Deus, por guiar nossos passos durante toda a graduação e nos conceder a paz e sabedoria para vencer os desafios.

Às nossas famílias, em especial aos nossos pais, por acreditarem em nós e por todo incentivo de sempre. Sem o amor de nossos pais e familiares, não chegaríamos até aqui.

À Camila, por ser companheira e colaborar com o desenvolvimento e conclusão desse trabalho.

Aos amigos da turma de Civil 2013/1, em especial aos amigos da Parceria, pelo companheirismo e amizade construída. Vocês fizeram esses 5 anos mais fáceis.

Ao nosso orientador Tales Moreira de Oliveira, por sempre nos apoiar e incentivar nas pesquisas, além de todo ensinamento passado dentro e fora de sala. Agradecemos pela oportunidade concedida.

Aos nossos amigos, técnicos dos laboratórios, em especial ao Robinson, Andréia e Marcos, por nos auxiliarem durante as pesquisas. Esse trabalho só pode ser concluído graças ao apoio de vocês.

Ao grupo de pesquisas INFRAGEO, pelas inúmeras ajudas nas atividades em campo e troca de experiências. Sem dúvida passar por esse grupo é um diferencial na vida de um engenheiro.

À empresa Arcos Engenharia, por nos fornecer material para realização da pesquisa e pelo apoio.

Por fim, a todo corpo docente de Engenharia Civil da UFSJ, pelo conhecimento transmitido e por ser motivo de inspiração em nossas carreiras.

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade verificar a utilização da microestaca Arcos aplicando a técnica de solo pregado, analisando as suas características construtivas e determinando sua capacidade de resistência, também conhecida como atrito lateral. O mesmo é obtido no ensaio de resistência ao arrancamento relativo ao contato solo-estaca, por meio de ensaio em campo, verificando desta maneira o seu potencial como estabilizante de taludes e encostas. Na região de Ouro Branco-MG executou-se a microestaca Arcos inclinada em relação à face do talude e realizou-se sobre as estacas ensaios de arrancamento, obtendo-se resultados compatíveis com aquele determinado pela aplicação de métodos semi-empíricos baseados nos resultados de sondagem a percussão tipo SPT. Além disso, desenvolveu-se o pré-dimensionamento de solo pregado com a utilização da microestaca, verificando sua aplicação e estimativa de custo, sendo correlacionado com resultados de métodos convencionais.

PALAVRAS-CHAVE: Microestaca Arcos, Solo Pregado, Ensaio de Arrancamento, Estabilização de Taludes.

ABSTRACT

The present work of course conclusion has the purpose of verifying the use of the Arcos micro-stake applying the technique of nailed soil, analyzing its constructive characteristics and determining its resistance capacity, also known as lateral friction. It is obtained in the pullout resistance test relative to soil-to-stake contact, by means of field test, verifying its potential as stabilizer of slopes and hillside. In the region of OuroBranco/MG, the Arcos micro-stake was executed sloping in relation to the slope face, and pullout tests were carried out on the stakes, obtaining results compatible with that determined by the application of semi-empirical methods based on the results of SPT type percussion. Furthermore, the pre-sizing of nailed soil was developed with the use of the micro-stake, verifying its application and cost estimate, being correlated with results of conventional methods.

KEYWORDS: Arcos Micro-stake, Naile Soil, Pullout test, Slope Stabilization.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Composição de um talude	3
Figura 2 - Envoltória de Mohr-Coulomb	5
Figura 3 - Esquema de contenção em solo reforçado.....	9
Figura 4 - Comparação do NATM com a técnica de revestimento rígido	12
Figura 5 – Metodologia executiva de solo pregado	14
Figura 6 - Ábaco de estabilidade para $L/H = 1$	15
Figura 7 - Desenho esquemático da execução da microestaca	19
Figura 8 - Localização do campo experimental	20
Figura 9 - Preparação da amostra deformada.....	21
Figura 10 - Armazenagem da amostra deformada do solo	22
Figura 11 – Representação da variedade do solo encontrado	22
Figura 12 - Sequência de peneiras utilizadas no peneiramento fino	23
Figura 13 - Ensaio de sedimentação em execução.....	24
Figura 14 - Solo no almofariz	25
Figura 15 - Limite de liquidez	26
Figura 16 - Ensaio do limite de liquidez.....	26
Figura 17–Talude estudado com a localização da microestaca e SPT	27
Figura 18 - Execução do ensaio de SPT	28
Figura 19 - Ponteira da microestaca	29
Figura 20 - Execução da microestaca no campo experimental	31
Figura 21 - Croqui do talude estudado	32
Figura 22 - Ajuste executado no talude ao redor da microestaca	33
Figura 23 - Montagem das placas de reação, célula hidráulica e mossa de travamento	34
Figura 24 - Sistema de arrancamento composto por: macaco vazado e bomba hidráulica, placas de aço e relógios comparadores.....	35
Figura 25 - Calibração do manômetro com a utilização da prensa	36
Figura 26 - Manômetros utilizados	36
Figura 27 - Correlação de leituras utilizando manômetro com capacidade até 30TON	37

Figura 28 - Correlação de leituras utilizando manômetro com capacidade até 70 Kgf/cm ²	37
Figura 29 - Ensaio de brucutu	39
Figura 30 - Extração do cilindro biselado com o corpo de prova e pesagem do cilindro	40
Figura 31 - Exemplo de utilização do ábaco de Clourette (1991).....	41
Figura 32 - Curva granulométrica do solo	42
Figura 33 - Limite de Liquidez	43
Figura 34 - Camadas do solo com mesmo N _{SPT}	46
Figura 35 - Gráfico de Carga (tf) x Deslocamento (mm) obtido através do resultado do ensaio de arrancamento 01	48
Figura 36 - Gráfico de Carga (tf) x Deslocamento (mm) obtido através do resultado do ensaio de arrancamento 02.....	49
Figura 37 - Gráfico de Carga (tf) x Deslocamento (mm) obtido através do resultado do ensaio de arrancamento 03.....	50
Figura 38 - Ensaio de arrancamento com monitoramento e acréscimo de carga constante.....	51
Figura 39 - Execução do último estágio de carga	52
Figura 40 - Carga (kN) x Deslocamento (mm) para comparação.....	54
Figura 41 - Resultado a partir do ábaco de Clouterre (1991)	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Compacidade e consistência dos solos	7
Tabela 2 - Correlação de N_{SPT} e coesão de argilas.....	8
Tabela 3 - Determinação Limite de Liquidez	43
Tabela 4 - Limite de Plasticidade	44
Tabela 5 - Índice de consistência	44
Tabela 6 - Resultado do ensaio de SPT.....	45
Tabela 7 - Resultado da capacidade de carga q_s , por métodos semi-empíricos	47
Tabela 8 - Resumo comparativo dos resultados de carga	52
Tabela 9 - Resumo comparativo de deslocamentos	54
Tabela 10 - Parâmetros do talude e solo em estudo.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	1
1.1.1	Objetivo geral	1
1.1.2	Objetivo específico	2
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1	Taludes.....	2
2.2	Estabilidade de taludes.....	3
2.3	Resistência ao cisalhamento dos solos	4
2.3.1	Crítérios de Ruptura	4
2.4	Ensaio SPT.....	5
2.4.1	Histórico do ensaio.....	5
2.4.2	Procedimento do ensaio de SPT.....	6
2.5	Determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento pelo ensaio de SPT	8
2.6	Reforço de solos.....	9
2.7	Solo pregado	10
2.7.1	Definições.....	10
2.7.2	Histórico	11
2.7.3	Metodologia executiva.....	12
2.7.3.1.	Escavação.....	12
2.7.3.2.	Tipos de aplicações dos grampos	13
2.7.3.3.	Revestimento da face do talude	13
2.8	Método de Clouterre (1991).....	14
2.9	Ensaio de arrancamento.....	16
2.9.1	Método Ortigão e Palmeira (1997)	16
2.9.2	Método Springer (2006)	16
2.9.3	Método Gerscovich (2015).....	17
2.9.4	Método Brasfond (1991).....	18
2.10	Microestaca Arcos	18
3	METODOLOGIA	19
3.1	Caracterização do solo	20
3.1.1	Análise granulométrica.....	23

3.1.2	Limites de consistência	24
3.2	Ensaio de SPT	27
3.3	Microestaca Arcos	28
3.3.1	Calda de cimento	29
3.3.2	Execução da microestaca Arcos	30
3.4	Ensaio de arrancamento.....	31
3.5	Calibração do conjunto célula hidráulica e leitura no manômetro.....	35
3.6	Métodos semi-empíricos.....	37
3.7	Pré-dimensionamento por Clouterre (1991)	38
3.8	Análise de custo	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	Caracterização do solo	42
4.1.1	Análise granulométrica	42
4.1.2	Limites de consistência	42
4.2	Ensaio de SPT.....	44
4.3	Viabilidade construtiva da microestaca Arcos	45
4.4	Análise semi-empírica	46
4.5	Ensaio de arrancamento.....	47
4.5.1	Ensaio de arrancamento 01	47
4.5.2	Ensaio de arrancamento 02	48
4.5.3	Ensaio de arrancamento 03	49
4.6	Comparativo dos resultados dos ensaios de arrancamento	52
4.6.1	Comparativo de carga máxima.....	52
4.6.2	Comparativo dos deslocamentos	53
4.7	Pré-dimensionamento.....	55
4.8	Análise de custo	56
5	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Problemas relacionados à instabilidade de taludes, em geral, causam grandes impactos e perdas. Em diversas regiões do Brasil, devido à falta de planejamento e/ou não execução adequada do monitoramento, muitos taludes apresentam instabilidade.

Portanto, há a necessidade da aplicação de soluções de engenharia, sendo que a contenção do tipo solo grampeado para estabilidade de taludes tem sido cada vez mais utilizada nas obras no Brasil, pois apresenta vantagens econômicas, velocidade de execução e utilização de equipamentos leves. Essa solução de engenharia tem por finalidade reforçar o talude pela instalação de chumbadores que atuam de forma passiva no maciço e tem como principal parâmetro a resistência ao cisalhamento da interface solo-grampo (MINETTE et al., 2016).

Em relação às técnicas de estabilização de taludes há sempre a necessidade de se desenvolver alternativas que sejam viáveis tanto tecnicamente e economicamente, quanto ambientalmente. Visando analisar uma possível nova aplicação para a microestaca Arcos, como estabilizante de talude, considerando que a mesma já possui um histórico de aplicações em reforços de fundações, o presente Trabalho de Conclusão de Curso apresenta um estudo de campo e em laboratório, para averiguar tal possibilidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho visa analisar tecnicamente o potencial de aplicação da microestaca Arcos como elemento constituinte de obras de contenção de taludes, dando enfoque à técnica de solo pregado que, apesar de ser empregada com frequência, ainda carece de alternativas de aplicações no cenário atual, pela oportunidade de se gerar novas possibilidades frente às atuais e também com os ganhos técnicos e econômicos.

1.1.2 *Objetivo específico*

Conforme exposto, torna-se possível separar o estudo em partes de análise, conforme apresentam-se a seguir:

- Apurar a efetiva viabilidade construtiva da microestaca Arcos no projeto de contenção de taludes, considerando possíveis locais de aplicação;
- Averiguar a resistência máxima ao cisalhamento do sistema empregado na interface solo-estaca;
- Comparar com método de estabilização de taludes de solo pregado, utilizando grampos convencionais;
- Dimensionar geotecnicamente o sistema estudado e comparar os custos envolvidos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

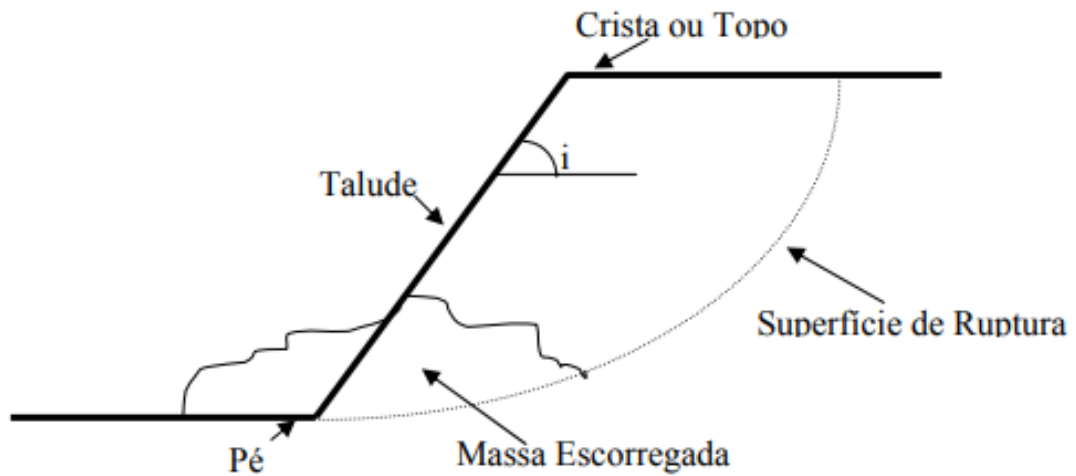
Busca-se aqui, elucidar de maneira assertiva os conceitos mais importantes, voltados à metodologia de estabilização de taludes na técnica de solo pregado, que foram empregados para validação do estudo.

Dessa maneira, há a necessidade de contextualizar os fundamentos de todos os elementos que envolvem o estudo, partindo das generalidades essenciais como a conceituação básica de taludes, passando pelo estudo de estabilidade de taludes, resistência do solo ao esforço cisalhante e técnica de solo reforçado. Será explicada, também, a metodologia do ensaio de SPT, já que este se mostra como um importante elemento para este estudo, e, por fim, o discorrimento instrutivo da técnica de solo pregado e dos métodos semi-empíricos empregados para a validação, através de uma base teórica e dos dados obtidos durante a pesquisa.

2.1 Taludes

Segundo Gerscovich et al. (2015), definem-se como taludes, superfícies de maciços rochosos ou de solo que possuam certo aclive ou declive, podendo ser de origem natural, assim denominado de encostas, ou sendo resultantes da ação antrópica, nos casos de cortes e aterros, por exemplo. A Figura 2 demonstra sucintamente a composição de um talude.

Figura 1 - Composição de um talude



Fonte: Dyminski (2007).

Ainda segundo os preceitos de Gerscovich (2016), as encostas são compostas, em sua maioria, por solos residuais e coluvionares, apresentando a superfície plana ou com alguma curvatura, e sendo suscetíveis a processos de instabilidades devido às ações gravitacionais. Quando se trata de taludes, independentes do tipo de solo, seguem-se critérios para a sua execução, atentando para adequação da altura e da inclinação para assegurar a sua estabilidade.

2.2 Estabilidade de taludes

Os métodos para a análise da estabilidade de taludes, atualmente em uso, baseiam-se na hipótese de haver equilíbrio numa massa de solo definido como corpo rígido-plástico, prestes a entrar em processo de escorregamento (MASSAD, 2010), o que caracteriza a metodologia de Equilíbrio Limite, amplamente difundida no meio geotécnico. Partindo desse pressuposto, entende-se que a análise de estabilidade tende a avaliar a probabilidade de ocorrência de eventos referentes ao escorregamento de massa de solo, monitorando as possíveis causas e os prováveis agravantes associados.

As análises de estabilidade são efetuadas correlacionando as tensões cisalhantes solicitantes com a própria resistência ao cisalhamento do material para, assim, definir um fator de segurança aplicável à situação (GERSCOVICH, 2014).

2.3 Resistência ao cisalhamento dos solos

Uma definição atribuída à resistência ao cisalhamento é apresentada por Das (2007) como sendo a resistência interna a rupturas e deslizamentos, apresentada por uma massa de solo, ao longo de um plano qualquer, sendo a análise determinada para uma área unitária.

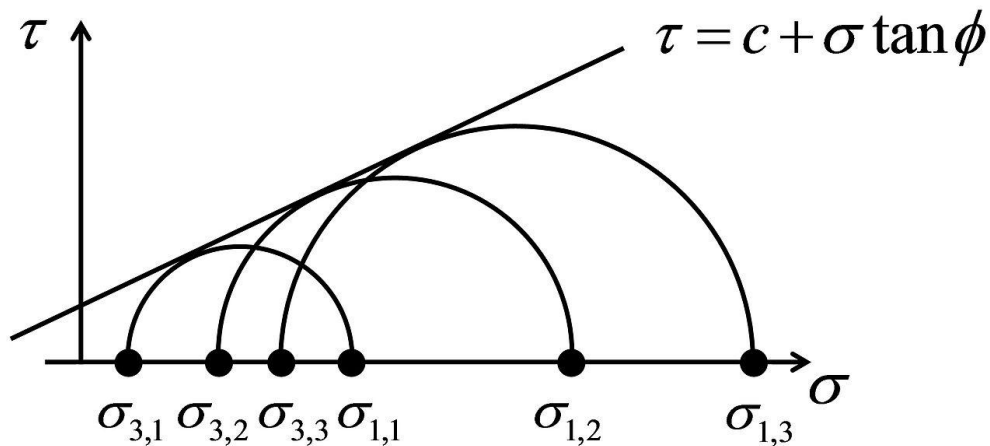
Os solos, em maior parte, se rompem por episódios correlacionados ao processo de cisalhamento, seja relacionando-se ao estudo de fundações ou, no caso, estudo de estabilidade de taludes e encostas. O parâmetro de resistência ao cisalhamento do solo define-se, também, como a tensão máxima de cisalhamento suportada pelo maciço sem que haja eventos de desestabilização ou ruptura (PINTO, 2000).

2.3.1 Critérios de Ruptura

Antes de definir os critérios de ruptura e entender o processo de cisalhamento, Pinto (2000) sugere a definição de dois fenômenos essenciais: ângulo de atrito e coesão. O ângulo de atrito é estabelecido como o ângulo máximo em que há estabilidade entre um corpo e sua superfície de apoio, admitindo, dessa maneira, a força transmitida normal ao plano de contato. No caso de solos, tal estabilidade é dada entre as partículas que o constituem. Já a coesão é determinada como uma atração química entre as partículas do solo que geram uma resistência adicional, a qual independe da tensão normal que atua sobre o plano.

Conforme Pinto (2000) descreve, os critérios de ruptura buscam traduzir, através de equações, as circunstâncias que levam a ruptura dos materiais em análise. O critério de Mohr-Coulomb, por sua vez, muito difundido em problemas de mecânica dos solos, correlaciona, através de uma função linear de tensão normal, a tensão de cisalhamento existente no plano de ruptura (DAS, 2007), conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Envoltória de Mohr-Coulomb



Fonte: Adaptado Das (2007).

2.4 Ensaio SPT

2.4.1 Histórico do ensaio

Os estudos iniciais com o ensaio de SPT (*Standard Penetration Test*), segundo Belicanta (1998), foram promovidos pelo engenheiro Charles R. Gow nos Estados Unidos e datam por volta do ano de 1902, o qual fazia a obtenção de amostras do solo utilizando processos de cravação dinâmica a seco utilizando um amostrador com aproximadamente 450 mm de comprimento e 25 mm de diâmetro, aplicando como peso auxiliar um martelo de aproximadamente 50 kg para cravação. As amostras retiradas eram denominadas como “*dry sample*” e proporcionavam uma melhor caracterização do solo na cota desejada.

Várias modificações ocorreram ao longo do tempo e durante a década de 1930, a partir das especificações já pré-estabelecidas, Fletcher (1965) e Mohr (1966) apud Odebrecht (2003), relatam a primeira tentativa, não oficial, de padronização reconhecendo o procedimento como ensaio.

A primeira tentativa de normatização veio a ocorrer anos mais tarde, e em 1967, a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) lançou a primeira publicação oficial do ensaio de SPT baseada nas contribuições de diversos autores. Ainda houve diversas discussões sobre a metodologia de ensaio que se estenderam até a década de 1970 (ODEBRECHT, 2003).

Odebrecht (2003) ressalta que a normatização do ensaio de SPT no Brasil ocorreu devido à influência do crescimento das pesquisas internacionais dentro da construção civil. A primeira norma oficial brasileira foi a MB 1211/79 denominada “Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos” publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a partir de uma proposta realizada em 1977 pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS). Tal proposta foi elaborada a partir de trabalhos idealizados por Teixeira (1974, 1977) para avaliação da metodologia dos ensaios de sondagem, dando destaque ao trabalho realizado por Teixeira (1977) intitulado “Sondagens: Metodologia, erros mais comuns, normas de execução.”.

O autor supracitado ainda denota que, após um ano, a norma recebeu uma nova denominação, assim como diversas outras normas da ABNT, sendo então nomeada de NBR 6484/80. Atualmente a metodologia de ensaio de SPT no Brasil é regida pela última atualização desta norma realizada em 2001 pela ABNT.

2.4.2 Procedimento do ensaio de SPT

Basicamente, o ensaio de SPT segundo a NBR 6484 (ABNT, 2001), visa indicar a capacidade de resistência à penetração do solo, tipo de solo e cotas de ocorrência, além da posição do nível d’água.

A NBR 6484 (ABNT, 2001) descreve que para execução da sondagem, inicialmente é necessário alocar o ponto para realização do furo de sondagem marcando-se com um piquete de material apropriado como a madeira, por exemplo, para que o mesmo seja utilizado para identificação da cota do furo em relação ao terreno. Por conseguinte, se dá início ao processo de perfuração e avanço utilizando trado-concha ou cavadeira manual até atingir a profundidade de 1 metro, a partir desse ponto a perfuração é feita continuamente com trado helicoidal alternando-se com a fase de amostragem e ensaio, caso se atinja o nível d’água freático passa-se a utilizar trépano de lavagem, o mesmo ocorre se o avanço com trado se tornar dificultoso.

A NBR 6484 (ABNT, 2001) recomenda que a composição da perfuração e de cravação do amostrador seja composta de hastes constituídas de aço com diâmetro nominal de 25 mm e peso teórico de 32 N/m.

A amostragem e o ensaio são realizados a cada metro de profundidade, sendo recolhida uma amostra através do amostrador padrão que deve possuir diâmetro externo de 50,8 mm e interno de 34,9 mm, o processo de cravação do amostrador é feito acoplado-se inicialmente uma cabeça de bater ao topo da composição da perfuração (hastes), dispendo-se de um martelo padronizado de 65 kg, caindo a uma altura de 75 cm em queda livre. O procedimento de cravação é realizado em três etapas, para cada etapa conta-se a quantidade de golpes do martelo para cravação do amostrador em 15 cm, totalizando 45 cm. O índice de resistência à penetração (N) é dado pelos últimos 30 cm de cravação, ao final retira-se uma amostra do solo sondado para classificação tátil-visual da camada em análise, conforme NBR 6484 (ABNT, 2001).

As classificações da compacidade e da consistência dos materiais encontrados no solo devem seguir os valores indicados na Tabela 1 disposta na NBR 6484 (ABNT, 2001).

Tabela 1 - Compacidade e consistência dos solos

Solo	Índice de resistência à penetração - N	Designação
Areias e siltes arenosos	4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	40	Muito compacta (o)
Argilas e siltes argiloso	2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	19	Dura (o)

Fonte: NBR 6484 (ABNT, 2001).

2.5 Determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento pelo ensaio de SPT

Devido à grande utilização do ensaio de SPT na caracterização do subsolo, com a finalidade de determinar as características do solo para execução de obras de engenharia, é usual encontrar na literatura formulações que se baseiam nos resultados de resistência à penetração (N) obtidos do ensaio de SPT para determinação de parâmetros característicos do solo e análise de resistência ao cisalhamento, tais como o ângulo de atrito (φ) e a coesão (c) (TAVARES, 2016).

Em seguida, apresentam-se as metodologias semi-empíricas de alguns dos métodos que empregam o resultado do ensaio de SPT para determinação do ângulo de atrito interno (GODOY, 1983 e TEIXEIRA, 1996 apud CINTRA et. al, 2003) e coesão do solo (ALONSO, 1943).

- Método de Godoy (1983)

$$\varphi = 28^\circ + 0,4N$$

- Método de Teixeira (1996)

$$\varphi = \sqrt{20N} + 15^\circ$$

- Método de Alonso (1943)

Alonso (1943) apresenta uma tabela para correlação entre o valor obtido no ensaio de SPT, a coesão e consistência de solos argilosos (Tabela 2).

Tabela 2 - Correlação de N_{SPT} e coesão de argilas

N (golpes)	Consistência	Coesão (kPa)
< 2	Muito Mole	< 10
2 - 4	Mole	10 - 25
4 - 8	Média	25 - 50
8 - 15	Rija	50 - 100
15 - 30	Muito Rija	100 - 200
>30	Dura	> 200

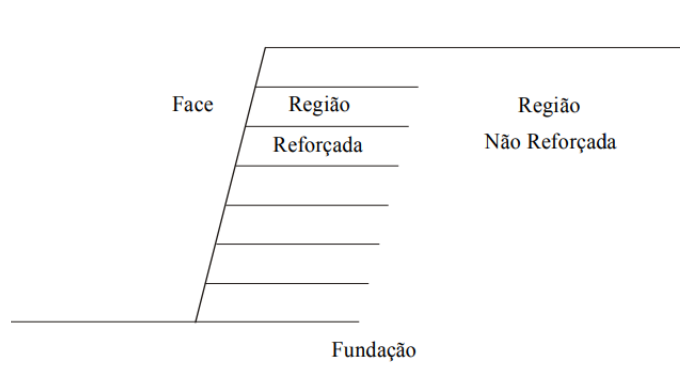
Fonte: Alonso (1943).

2.6 Reforço de solos

As técnicas de reforço de solo são uma prática que é realizada desde a antiguidade nas obras promovidas pelo homem, visando à estabilização de um maciço através da inclusão de elementos que sejam por si só, resistentes aos esforços solicitantes de tração. Durante a década de 60, uma metodologia desenvolvida na França por Henri Vidal denominada de “Terra Armada” foi apresentada. Tal técnica fazia o reforço do solo introduzindo tiras metálicas que eram acopladas a painéis de concreto dispostos sobre a face do talude (ELIAS et al, 2001 apud DANTAS, 2004).

Estruturas de solo reforçado, em uma visão generalista, conforme é descrito por Elias et al. (2001), apud Dantas (2004), são compostas de três elementos básicos, sendo eles: solo local, reforços e face, visto que o sucesso da contenção dependerá desses parâmetros para um correto dimensionamento do solo, devido características apresentadas por ele; do reforço, já que este componente terá que resistir aos esforços de empuxo; e, finalmente, da face, a qual determina a inclinação do talude ou da encosta. Na Figura 6, mostra-se um esquema básico de solo reforçado.

Figura 3 - Esquema de contenção em solo reforçado



Fonte: Dantas (2004).

O autor ainda apresenta algumas das principais características deste tipo de contenção, tais como:

- Sistema construtivo simples;

- Rápida execução quando comparado a demais tipos de contenção;
- Não necessidade de mão-de-obra especializada;
- Valor de implantação competitivo no mercado, entre outros.

Analisando os conceitos e os itens supracitados, torna-se simples concluir que, para escolha de uma determinada obra de contenção é necessário analisar fatores diversos relacionados à tipologia do local. Tais aspectos são abordados e definidos por Barros (2005), são eles:

- Físicos;
- Geotécnicos;
- Econômicos;

2.7 Solo pregado

Atualmente, a técnica de solo pregado é muito utilizada no Brasil, porém faltam normas e padronizações, sendo que os projetos de contenção têm sido baseados, em muitos casos, na experiência prática de campo (SILVA e BUENO, 2010). Vale ressaltar que o método de estabilização de taludes com solo grampeado e solo pregado são os mesmos, a preferência pela denominação do termo solo pregado, aqui empregado, para a aplicação da microestaca Arcos, se faz pelo fato de que a aplicação da mesma no solo do talude é realizada pela sua cravação.

Com o intuito de esclarecer um pouco mais sobre a técnica de solo pregado, torna-se necessário definir os conceitos mais empregados, descrever, de maneira geral, brevemente sobre o seu histórico de aplicação, além de explicar, também, sobre as metodologias de execução mais usuais.

2.7.1 Definições

Para Ortigão, Palmeira e Zirlis (1993), a técnica de solo pregado é definida como um reforço de talude, devido à aplicação de elementos resistentes à flexão composta, que podem ser desde barras de aço até microestacas ou até mesmo estacas, caso se mostre necessário, caracterizando uma técnica prática e eficiente.

Segundo Gerscovich et al. (2015) a técnica de estabilização de talude, nomeada de solo pregado, consiste basicamente no reforço do maciço com a

introdução de chumbadores de aço que tendem a aumentar a resistência de tração e cisalhamento do solo.

Por sua vez, França (2007) define esta técnica como uma estabilização e contenção de talude em corte a partir da incorporação de inclusões passivas no maciço em análise, as quais trabalham basicamente sob o esforço de tração, mas que ainda podem sofrer solicitações geradas por momentos fletores ou por cisalhamento, sendo utilizado essencialmente na contenção de taludes de corte ou na estabilização de taludes com baixa estabilidade, proporcionando um aumento no fator de segurança.

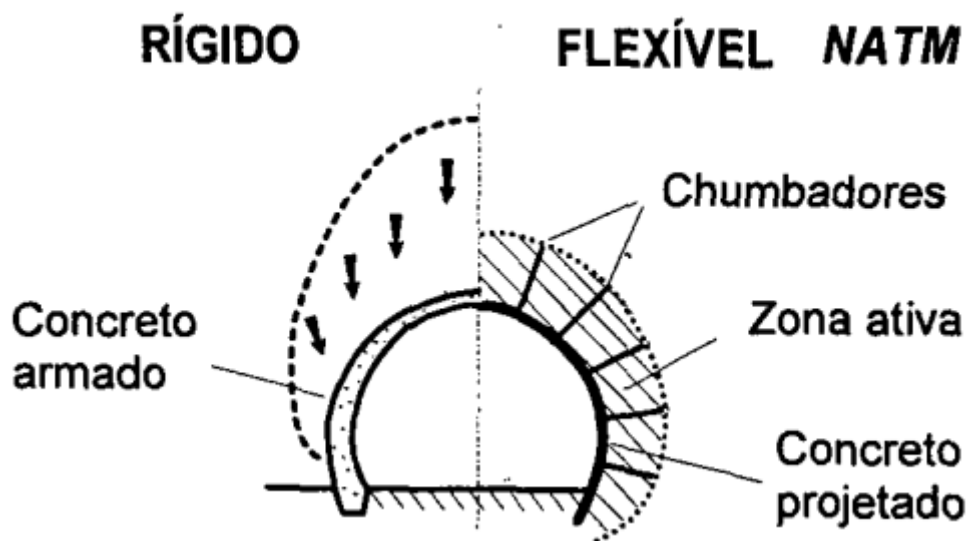
Observando os conceitos básicos supracitados, através das literaturas disponíveis, torna-se possível perceber uma convergência das definições aplicadas à técnica de solo pregado.

2.7.2 Histórico

As primeiras aplicações da técnica de solo pregado datam o início da década de 1970, tendo sua origem atribuída juntamente com técnica para construção de túneis do NATM (*New Austrian Tunneling Method*) (Figura 5), devido às suas semelhanças, já que este se fundamenta em aplicar um suporte flexível a fim de permitir a deformação do terreno sendo possível a aplicação de chumbadores, diferente do que ocorre com o tradicional revestimento rígido que impede os deslocamentos do maciço, elevando os esforços solicitantes (ORTIGÃO, PALMEIRA e ZIRLIS, 1993).

Apesar de Ortigão, Palmeira e Zirlis (1993) citarem que no Brasil a primeira obra com a técnica de solo pregado tenha sido executada em 1970, os primeiros registros oficiais descrevem a realização da técnica na França, em 1972 e 1973, mais precisamente em um talude ferroviário nas proximidades da cidade de Versailles, sendo publicado por Toudic em 1975 (FRANÇA, 2007).

Figura 4 - Comparação do NATM com a técnica de revestimento rígido



Fonte: Ortigão, Palmeira e Zirlis (1993).

Desde a primeira documentação oficial da técnica, diversos autores, em várias partes do mundo, desenvolveram estudos correlacionados com solo pregado, como por exemplo, na Alemanha (STOCKER et al., 1979 e 1990; GÄSSLER, 1991) na França (CLOUTERRE, 1991 e PLUMELLE et al., 1990), no Canadá (ORTIGÃO et al., 1992) nos EUA (SHEN et al., 1981; THOMPSON et al., 1990) entre diversos outros (ORTIGÃO, PALMEIRA e ZIRLIS, 1993).

2.7.3 Metodologia executiva

A metodologia executiva de solos pregados pode ser dividida em 3 etapas principais, sendo elas: escavação do solo, aplicação dos grampos e revestimento da face do talude, deu-se ênfase as estas etapas devido aplicação estudada neste trabalho.

2.7.3.1. Escavação

O processo de escavação para efetivação da técnica de reforço é realizada de maneira descendente, em estágios que variam, normalmente, entre 1 e 2 m. Para aplicação de grampos, ou de outro elemento de reforço, juntamente com o revestimento da face, é necessário que o material escavado se mantenha estável

por algumas horas após a escavação (ORTIGÃO, PALMEIRA e ZIRLIS, 1995, apud FRANÇA, 2007).

2.7.3.2. Tipos de aplicações dos grampos

França (2007) descreve que a aplicação dos grampos pode ser realizada através da cravação, assim como o estudado neste trabalho, ou aplicando o reforço em furos realizados previamente. Em ambos os casos, aplica-se calda de cimento para que essa circunde o grampo e estabeleça o contato solo-grampo ou solo-estaca.

O processo de cravação é realizado utilizando-se martelos pneumáticos ou hidráulicos, sem que se necessite esperar pela cura da calda de cimento, visto que, ao ser cravado o elemento estabilizador já oferece resistência imediata. A desvantagem de tal metodologia se encontra na limitação do tamanho dos grampos que no geral possuem 3 m de comprimento e chegam no máximo a 8 m. Já no segundo processo, aplicam-se os grampos, que normalmente são constituídos de aço e possuem diâmetro de 13 a 32 mm, em furos realizados preliminarmente cujos diâmetros variam entre 50 e 600 mm. É a maneira mais comum de aplicação atualmente, o que se deve ao fato de sua grande abrangência de aplicações, podendo ser executado em qualquer tipo de solo (FRANÇA, 2007).

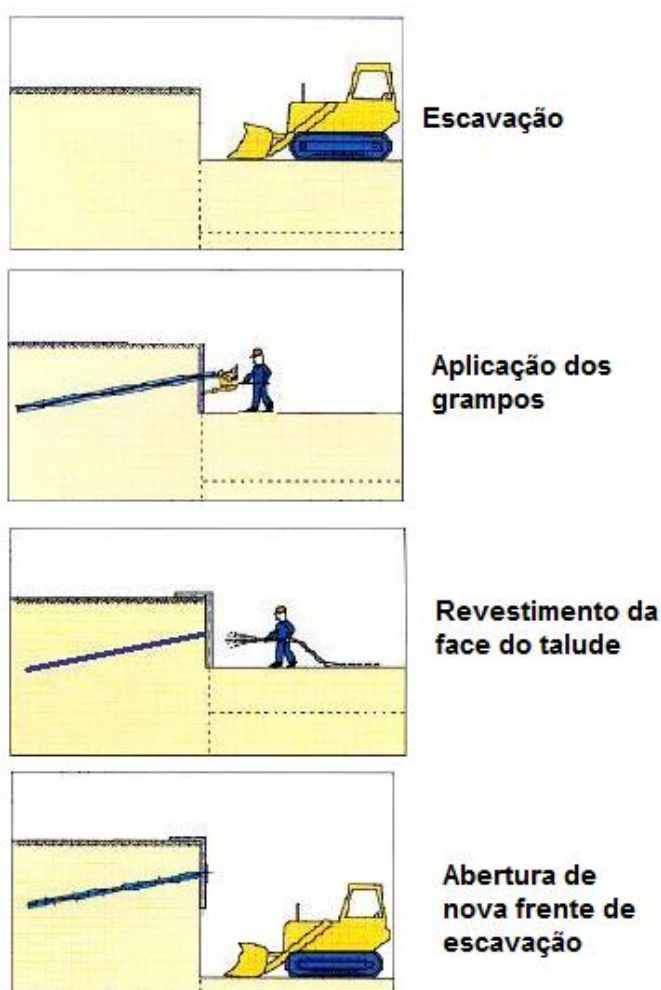
2.7.3.3. Revestimento da face do talude

França (2007) cita que a face do talude pode ser revestida usando-se:

- Concreto lançado: sendo indicada caso não existam problemas de instabilidade no prazo inicial da obra, visto que isto levaria a fissuração do mesmo;
- Blocos pré-moldados: recomendadas do ponto de vista estético e arquitetônico, já que promovem a possibilidade de construção de faces mais agradáveis visualmente;
- Concreto projetado armado com malha de aço eletrosoldada: dos três métodos apresentados, esse é o mais usual.

Para o último método de aplicação, o autor supracitado faz algumas observações relativas à sua maneira de aplicação, que pode ser por via seca, utilizada por sua praticidade, já que permite ao executor interromper e reiniciar as atividades caso seja necessário, e por via úmida que se mostra adequada para obras de maior porte, devido às dimensões dos equipamentos utilizados. A Figura 5 mostra de maneira breve a metodologia executiva da técnica de solo pregado.

Figura 5 – Metodologia executiva de solo pregado



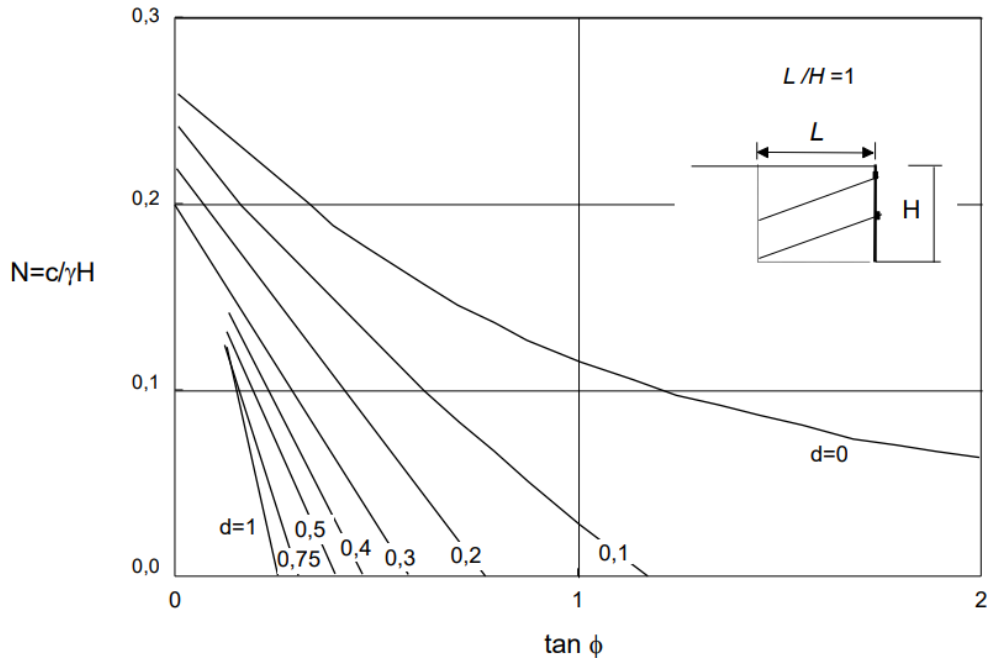
Fonte: adaptado de Lozano (2016)

2.8 Método de Clouterre (1991)

Um dos métodos mais usuais, segundo Conceição (2011), é o método francês Clouterre (1991). O mesmo é indicado para taludes com relação L/H, variando entre

0,6 a 1,2, que corresponde ao comprimento horizontal do grampo pela altura do talude, como pode ser visualizado no esquema apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Ábaco de estabilidade para $L/H = 1$



Fonte: Clouterre (1991).

A partir do ábaco apresentado, é possível pré-dimensionar estruturas de contenção do tipo solo pregado, entrando com os parâmetros de tangente do ângulo de atrito do solo e N , que por sua vez está relacionado à coesão do solo (c), peso específico do solo (γ) e altura do talude (H) que é dado pela Equação 1.

$$N = \frac{c}{\gamma H} \quad (1)$$

Se obtêm do ábaco o valor da densidade necessária de grampos, que é dada pela Equação 2. Sendo o objetivo a determinação posterior dos espaçamentos verticais S_v e horizontais S_h entre os grampos a ser utilizado. Vale ressaltar que valor do diâmetro (D) deve ser entrado em m.

$$d = \frac{\pi * D * q_s}{\gamma * S_v * S_h} \quad (2)$$

2.9 Ensaio de arrancamento

Para a definição da contribuição dos chumbadores e grampos na estabilidade do solo, a resistência ao cisalhamento na interface solo-grampo, trata-se de um parâmetro importante, sendo este obtido por meio do resultado de ensaios de arrancamento, cuja realização é recomendada antes e durante a execução de qualquer obra, para a real comprovação dos valores estimados em projeto (MINETTE et al., 2016). O ensaio é realizado para análise dos deslocamentos em função da carga aplicada, a fim de determinar a resistência ao arrancamento (q_s), que também pode ser obtido, preliminarmente, baseando-se no resultado do SPT. O valor de q_s pode ser encontrado, por exemplo, segundo Ortigão e Palmeira (1997), Springer (2006), Gerscovich et al. (2015) e o método proposto pela empresa BRASFOND (1991), sendo estes métodos descritos a seguir.

2.9.1 Método Ortigão e Palmeira (1997)

A correlação semi-empírica sugerida por Ortigão e Palmeira (1997) se baseia em ensaios de arrancamento realizados em São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília. Em tais ensaios foram executados grampos em furos com diâmetros que variam entre 75 mm e 150 mm, sendo que a calda de cimento foi injetada sem pressão. Assim como a maioria dos métodos semi-empíricos, houve grande dispersão de dados experimentais, que é atribuída às diferentes maneiras que os grampos foram executados em campo.

Os autores sugeriram, ao final, uma equação baseada no N_{spt} , delimitando um limite inferior para q_s para correlação proposta. A correlação encontrada corresponde à Equação 3.

$$q_s = 67 + 60 \cdot \ln N_{spt} \text{ (kPa)} \quad (3)$$

2.9.2 Método Springer (2006)

Ao desenvolver ensaios de arrancamento em solos residuais (jovem e maduro) e em rochas alteradas de gnaiss, analisando grampos com e sem pré-lavagem do furo, seja com uma ou duas injeções de nata de cimento do furo, com três ou dez dias de cura. Springer (2006) verificou através de análises das

correlações empíricas propostas por Ortigão e Palmeira (1997) e Proto Silva (2005), que havia uma diferença de em média 88% nos resultados obtidos em campo durante o ensaio de arrancamento com as formulações semi-empíricas.

Dessa maneira, foi proposta por Springer uma correlação cuja dispersão é menor do que a apresentada pelos métodos estudados, sendo mais específica para solos residuais de gnaiss, tendo em vista os resultados obtidos em ensaios de SPT realizados em campo. Tal correlação é expressa pela Equação 4, prescrita abaixo.

$$q_s = 45,1 \cdot \ln N_{spt} - 14,99(\text{kPa}) \quad (4)$$

2.9.3 Método Gerscovich (2015)

A proposição de Gerscovich et al. (2015) baseia-se em um estudo elaborado levando-se em conta parâmetros geométricos dos grampos (diâmetro da barra, diâmetro do furo, comprimento do grampo, etc.), parâmetros característicos do solo, número de injeções de calda de cimento diametralmente ao grampo, carga máxima de tração no arrancamento, valor do índice de resistência à penetração N_{SPT} e energia correspondente no ensaio.

Para a determinação da resistência ao arrancamento dos grampos fez-se, inicialmente, uma correlação entre valores q_s e N_{SPT} através de diversos levantamentos bibliográficos, que não levam em consideração o tipo de solo, o processo executivo do grampo ou correção da energia em suas análises. Relacionando os dados obtidos percebeu-se que o valor de q_s variava muito de uma metodologia para outra, devido às hipóteses particulares que cada um adotou em seu estudo, tal dispersão dificulta o estabelecimento de qualquer correlação empírica. Quando analisado processos com e sem reinjeção de calda de cimento observou-se uma diferença de 125 kPa no valor de q_s . Porém a proposta final de Gerscovich, para cálculo de q_s , é superestimada, e é descrita segundo a Equação 5.

$$q_s = 47,4 \cdot \ln N_{spt} - 38,3 (\text{kPa}) \quad (5)$$

2.9.4 Método Brasfond (1991)

A metodologia disposta pela empresa Brasfond (1991) objetiva o cálculo do atrito lateral em Estaca Raiz, mas devido a similaridade em relação à interação solo-microestaca Arcos, testou-se a sua aplicação. A seguir apresenta-se a Equação 6 que é proposta pelo método.

$$q_s = 0,6 * N_{spt}(\text{tf/m}^2) \quad (6)$$

Similar aos demais métodos descritos anteriormente, considera-se para fins de cálculo, o valor médio obtido no ensaio de SPT, nas camadas correspondentes ao longo do comprimento da estaca.

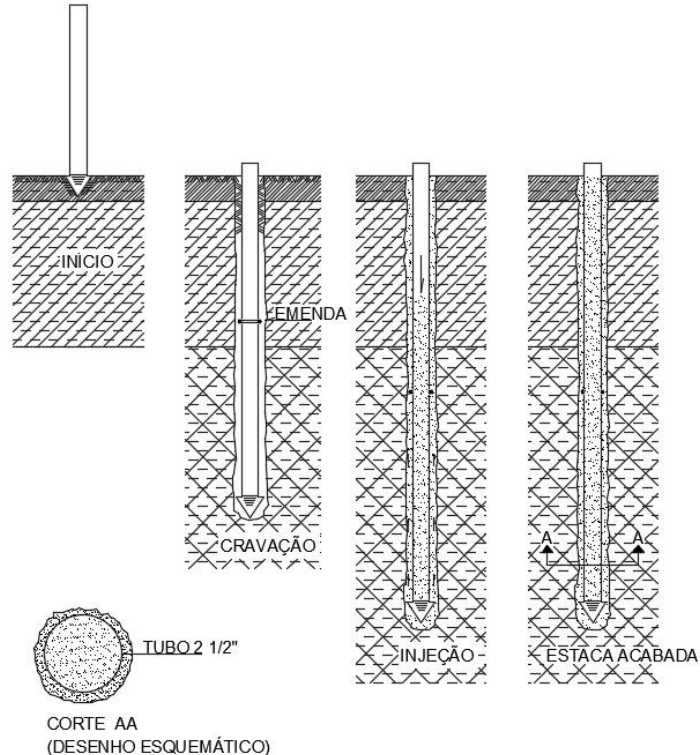
2.10 Microestaca Arcos

A Microestaca Arcos caracteriza-se por ser um tipo de fundação que possui características de estacas cravadas e de estacas moldadas “*in loco*”, uma vez que conta com a execução pela cravação à percussão de tubos especiais de aço, que conta com o auxílio de um micro bate-estacas elétrico e posterior injeção de calda de cimento sob pressão. Durante o processo de injeção da calda de cimento, o tubo é preenchido internamente, sendo que ao mesmo tempo recobre-se externamente, criando uma aderência solo-estaca e protegendo o elemento de fundação contra corrosões (CRUZ, 2015). A Figura 7 apresenta um desenho esquemático de execução da microestaca.

O chumbador em análise para a contenção do tipo solo pregado é a microestaca Arcos, patenteada pela empresa Arcos engenharia de solos, que em suma corresponde a um tipo de fundação cravada composta por tubos especiais de aço com a injeção de calda de cimento sob pressão e geralmente empregado para execução de reforços de fundação. A microestaca apresenta alta capacidade de carga, considerando seu diâmetro relativamente pequeno, cerca de 15 cm acabado, sendo cerca de 40 tf (como fundação), obviamente tendo este valor variando em função da geotécnica local. A sua recomendação para utilização como reforço de fundação, deve-se ao seu processo executivo fácil, quando comparado com

métodos convencionais, uma vez que produz baixo ruído e pode ser executada em praticamente todos os tipos de solo (CRUZ et al., 2016).

Figura 7 - Desenho esquemático da execução da microestaca



Fonte: adaptado de Cruz (2015).

3 METODOLOGIA

Desenvolveu-se um estudo de campo envolvendo ensaios de caracterização física e mecânica do solo, um ensaio de sondagem a percussão tipo SPT e ensaios de arrancamento em microestaca Arcos, cravada com uma determinada inclinação em relação à face do talude.

Posteriormente, buscou-se confrontar análises experimentais de campo frente ao emprego de métodos semi-empíricos que já são amplamente aplicados no seguimento da área geotécnica nacional, buscando, dessa maneira, averiguar a hipótese de utilização da microestaca Arcos como elemento estabilizador de talude no modelo solo pregado, a ser analisado segundo aspectos executivos.

Sendo o estudo desenvolvido sobre um talude encontrado na Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba - MG, apresentado na Figura

8, visando se determinar a sua resistência ao arrancamento, sua aplicabilidade em projeto de estabilização e sua viabilidade econômica e construtiva, comparando-se sua resposta a valores estimados com base em métodos semi-empíricos.

Figura 8 - Localização do campo experimental



Fonte: Google Earth (2016).

3.1 Caracterização do solo

O solo encontrado no talude, no qual foi desenvolvido o estudo, trata-se de um material residual jovem de gnaiss, apresentando uma camada superficial de silto arenosa fofa e logo abaixo variações de silte variegado com argila vermelha e marrom de baixa resistência, sendo um perfil bastante representativo da região do Alto Paraopeba em Minas Gerais, mais especificamente do município de Ouro Branco.

O campo experimental utilizado neste trabalho trata-se de um talude dentro do *campus*, próximo a via de acesso ao restaurante universitário e de fácil acesso, apresentando altura relativamente baixa. Para se alcançar os objetivos propostos, realizaram-se os seguintes ensaios laboratoriais para complementação do

entendimento geotécnico do talude estudado, sendo estes: limites de consistência (limite de liquidez e limite de plasticidade) e análise granulométrica.

Vale ressaltar que antes de executar os ensaios o solo estudado foi extraído do campo em amostra deformada, próximo à microestaca no talude estudado e a uma profundidade de 1 m. Sendo o solo amostral destorroado e preparado para execução dos ensaios já mencionados. Esses processos podem ser verificados segundo a Figura 9.

Figura 9 - Preparação da amostra deformada



Fonte: autoria própria.

No que se refere ao armazenamento do solo para posterior realização dos ensaios mencionado, o mesmo foi ensacado e fechado para manter a umidade atingida após a secagem, a qual foi verificada retirando amostra em cápsulas e colocada na estufa para posterior pesagem e obtenção da massa de água presente. Os sacos foram identificados com a pesquisa em que esta relacionada e número da amostra, conforme pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 - Armazenagem da amostra deformada do solo



Fonte: autoria própria.

Contudo, destaca-se que durante a extração das amostras, é perceptível a presença de uma quantidade significativa de material com cor branca, aparentemente de origem de rocha de feldspato, conforme se pode observar na Figura 11. Nota-se também a grande variação entre as camadas do solo, durante a escavação para retirada da parte amostral do solo, encontrando variegados de argila vermelha e marrom, em quantidade majoritária, além de outras variações no solo do tipo orgânico.

Figura 11 – Representação da variedade do solo encontrado



Fonte: autoria própria.

3.1.1 Análise granulométrica

Seguindo os preceitos da NBR 7181:1984 determinou-se a curva granulométrica do solo representativo do talude em estudo. Após a preparação da amostra, conforme descrito no item anterior realizou-se as três etapas do ensaio (peneiramento grosso, fino e sedimentação).

Para o peneiramento grosso separou-se 1 kg de solo e definiu-se o peso do material seco retido na peneira de abertura de 2,0 mm, em seguida realizou-se o processo de lavagem do mesmo. Notou-se que a grande maioria do material passou facilmente pela peneira, após esse processo, secou-se o solo em estufa durante o período de 24 horas, e, em seguida, fez-se o peneiramento utilizando peneiras de abertura de 50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8 e 2 mm.

O peneiramento fino seguiu o mesmo procedimento disposto acima, mudando a massa para essa etapa do ensaio que, por sua vez, corresponde a 120 g, e também a sequência de peneiras que agora possuem abertura de 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm, a sequência de peneiras está demonstrada na Figura 12.

Figura 12 - Sequência de peneiras utilizadas no peneiramento fino



Fonte: autoria própria

Do material passante da peneira 2,0 mm de abertura, separou-se 70 g do solo, para realização da última etapa da análise granulométrica, a sedimentação (Figura 13). Determinado a umidade da amostra, colocou-se a mesma em um béquer de 250 cm³ e misturou-se um defloculante composto de hexametáfosfato de sódio com concentração de 45,7g do sal para cada 1000 cm³ de solução. Em seguida agitou-se o béquer e deixou o material descansar por aproximadamente 18 horas.

Não houve dispersão da metodologia na determinação das leituras feitas no densímetro quando se analisa o tempo estipulado na norma, sendo realizadas nos tempos de 30 s; 1 min; 2 min; 4 min; 8 min; 15 min; 30 min; 1 h; 2 h; 4 h; 8 h e 24 h.

Figura 13 - Ensaio de sedimentação em execução



Fonte: autoria própria

3.1.2 Limites de consistência

Os limites de consistência dispostos neste trabalho seguiram as prescrições da NBR 6459:2016, para determinação do limite de plasticidade e limite de liquidez. Dessa forma, a amostra de solo, anteriormente armazenada, foi colocada no almofariz, conforme Figura 14. Sendo posteriormente homogeneizado com água destilada para realização de cada um dos ensaios, de acordo com suas necessidades.

Figura 14 - Solo no almofariz



Fonte: autoria própria.

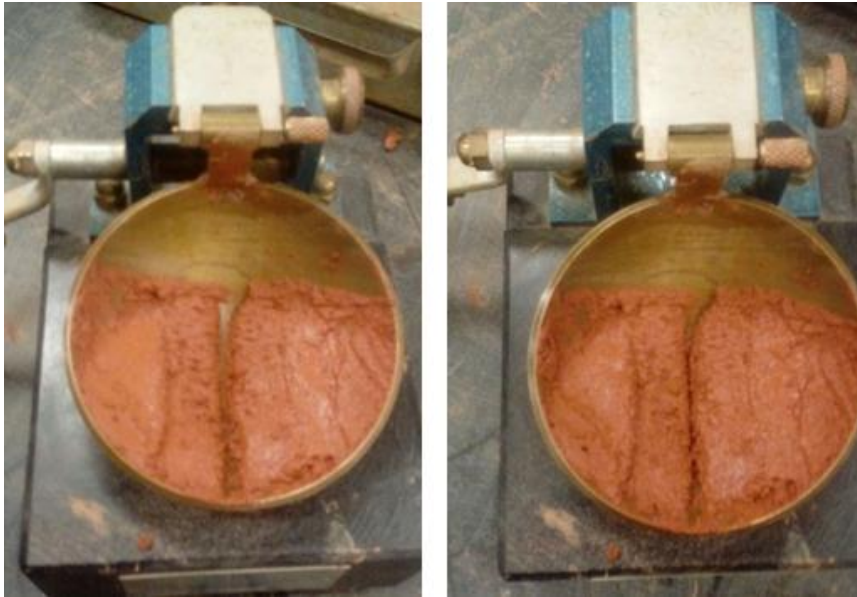
No que se refere ao ensaio para obtenção do limite de liquidez, utilizou-se o aparelho de Casagrande, calibrado momentos anteriores ao ensaio para as dimensões corretas. Realiza-se o mesmo para amostras com diferentes teores de umidade, sendo que o ensaio consiste na umidade que o solo fecha sua ranhura (de 1") com 25 golpes, tendo que se interpolar os resultados linearmente e para obtenção do limite de liquidez.

A Figura 15, apresenta a realização do ensaio em seu início, com a abertura da ranhura e posterior a realização, do ensaio, com o fechamento da mesma. Repetiu-se o ensaio 5 vezes, para diferentes umidades.

Para a determinação do limite de plasticidade, realizou-se conforme a NBR 6459:2016, sendo moldados os cilindros até se atingir o critério de parada. Sendo que o ensaio deve ser repetido, no mínimo, 5 vezes para a obtenção das umidades, onde, posteriormente, será feita a média.

O resultado do ensaio é obtido a partir da média entre as umidade tiradas na seção em que ocorreu a ruptura, sendo que considera-se a ruptura quando o solo encontra-se a uma espessura conforme gabarito de metal. O procedimento pode ser observado na Figura 16, além dos equipamentos utilizados, como o gabarito e placa de vidro fosco.

Figura 15 - Limite de liquidez



Fonte: autoria própria.

Figura 16 - Ensaio do limite de liquidez



Fonte: autoria própria.

3.2 Ensaio de SPT

A princípio realizou-se a marcação do ponto selecionado para a sua execução, próximo ao posicionamento final da microestaca. Em seguida, os procedimentos padrões de ensaio foram realizados, para fins de determinação dos tipos de solos existentes e suas profundidades de ocorrência obtendo-se os parâmetros (N_{SPT}) indicativos de resistência à penetração para cada metro analisado, sendo tais características empregadas no estudo de reconhecimento geológico local. A localização do furo do ensaio SPT e a posição da microestaca encontram-se na Figura 17.

Figura 17–Talude estudado com a localização da microestaca e SPT



Fonte: autoria própria.

Destaca-se a realização dos avanços de metro em metro, conforme descrição da norma NRB 6484:2001, sendo realizados na execução do ensaio, em campo, os avanços até a cota de -6 m com trado manual e posteriormente descido o

revestimento e feito os avanços posteriores com circulação de água até a cota -15 m. Pode-se observar na Figura 18, o equipamento utilizado para o ensaio.

Figura 18 - Execução do ensaio de SPT



Fonte: autoria própria.

3.3 Microestaca Arcos

A Microestaca Arcos utilizada para a idealização deste trabalho provém da reutilização de tubos especiais que são refugos de diversas outras empresas, sendo inteiramente constituídos de aço. Para a aplicação nesse estudo, adotou-se tubos com diâmetro externo de 7,62 cm, diâmetro interno de 6,35 cm e 1,5 m de comprimento.

A cravação no solo das microestacas Arcos foi realizada dispondo sob os tubos uma ponteira de aço em formato cônico e de diâmetro igual a 10 cm, conforme demonstrado na Figura 19, de modo que ao ser cravada, a mesma deixou um espaço vazio e circundante ao tubo que possui perfurações próximas da ponteira,

tipo manchete, permitindo após a sua instalação a injeção de uma calda de cimento pressurizada pelo interior do tubo, que preenche o vazio citado anteriormente, conformando em fim a microestaca. O comprimento total da estaca é obtido unindo por meio de bolsas especiais os diversos tubos de 1,5m.

Figura 19 - Ponteira da microestaca



Fonte: autoria própria.

3.3.1 Calda de cimento

Um dos materiais constituintes da microestaca Arcos é a calda de cimento obtida pela mistura de água e cimento, utilizada para preencher o interior dos tubos de aço e o vazio deixado no solo pela ponteira, com o objetivo de conferir rigidez e melhor ligação com o solo. Utilizou-se nesse estudo um cimento do tipo CII-E-32 para confecção da calda.

Alguns condicionantes podem interferir nas propriedades da injeção da calda de cimento e a alteração na resistência da mesma é a relação água/cimento (a/c). Essa relação se dá devido ao excesso de água causar exsudação, diminuindo a resistência, visto que aumenta a retração, a porosidade e tem a durabilidade dos chumbadores diminuída (SILVA, 2011).

Visando um melhor desempenho quanto à resistência ao cisalhamento, empregou-se um fator água-cimento adequado, para o melhoramento no contato solo-chumbador (ORTIGÃO e PALMEIRA, 1997). Segundo o engenheiro responsável da empresa Arcos, Edmilson Ney Ferreira Freitas, normalmente se utiliza uma relação água/cimento de 0,7 a 0,8 devido à bomba hidráulica utilizada. Porém, sempre que necessário este parâmetro é modificado, sendo a relação água/cimento utilizada de 0,6.

3.3.2 Execução da microestaca Arcos

A cravação da microestaca foi realizada no talude, utilizando-se um micro bate-estaca elétrico, cujo peso do martelo corresponde a 80 kg. Visando analisar sua aplicabilidade, buscou-se a menor angulação executável para a microestaca de forma inclinada, uma vez que a mesma é comumente utilizada na vertical, como fundação. Dessa forma, conseguiu-se em campo a execução da microestaca com uma angulação de 42° em relação ao plano horizontal, menor ângulo praticável para o local, visto que o martelo, sobre um aparato com rodas guiadas por trilho, necessitando-se de uma energia mínima para se conseguir cravar a microestaca no solo. Sendo assim, a cravação não apresentou grandes dificuldades e foi rapidamente executada.

Utilizaram-se quatro tubos de 1,5 m cada, para constituição do corpo da microestaca, sendo estes ligados entre si por um encaixe macho/fêmea, tipo bolsa, e soldados entre si para posterior execução do ensaio de arrancamento, ressaltando que em casos de obra esta solda não é executada. Assim, totalizou-se um comprimento final de 6 m, sendo que desse total, aproximadamente 5,4 m se encontram cravado no solo. Tal condição foi concebida para tornar exequível o ensaio de arrancamento que foi realizado posteriormente sobre a parte de 60 cm do tubo que ficara disposta externamente, este arranjo descrito encontra-se ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Execução da microestaca no campo experimental



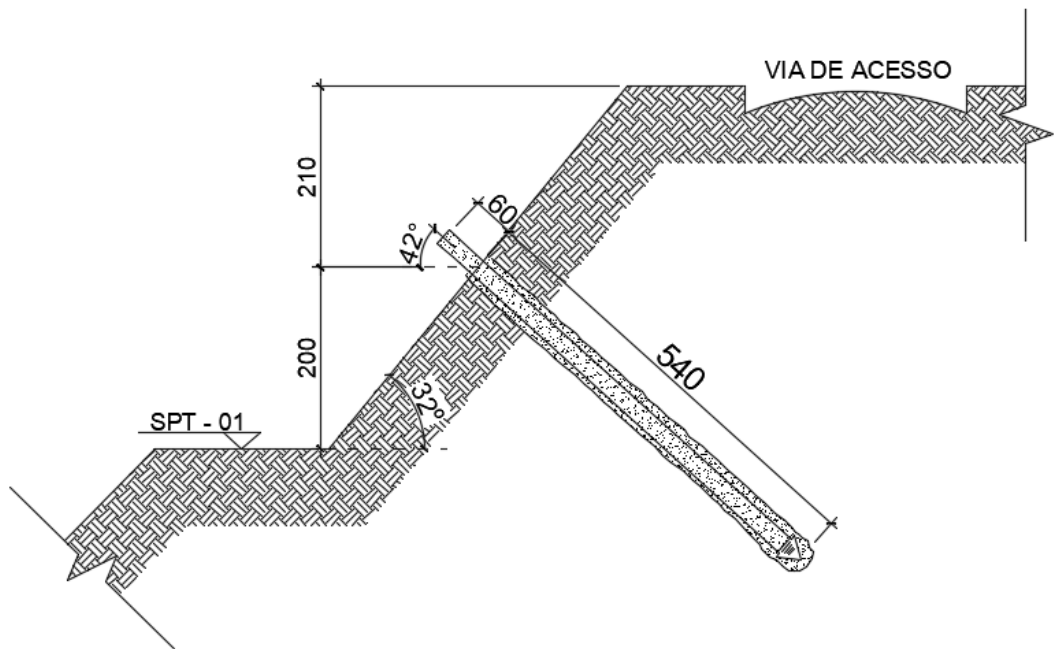
Fonte: autoria própria.

Logo em seguida e após o processo de cravação, a calda de cimento foi desenvolvida *in loco* e injetada sob pressão empregando-se uma bomba destinada ao uso de concreto e argamassas em geral.

3.4 Ensaio de arrancamento

Após o período de cura, a estaca foi submetida ao ensaio de arrancamento, para tanto se iniciou com a preparação do terreno para instalação dos equipamentos pertinentes ao ensaio. O talude encontra-se com uma inclinação de 32° , aproximadamente, e a microestaca foi executada com 42° em relação à horizontal. Conforme pode é ilustrado pela Figura 21.

Figura 21 - Croqui do talude estudado



Fonte: autoria própria.

Dessa forma, entre o talude e a microestaca tinha-se 74° , porém para a instalação do sistema necessitou regularizar o terreno ao redor da microestaca para que se alcançasse uma angulação de 90° , uma vez que posteriormente serão instalados os equipamentos, sendo necessário o nivelamento para distribuição uniforme das tensões. Dessa forma, pode-se ser visualizada facilmente a regularização do talude ao redor da microestaca na Figura 22.

Figura 22 - Ajuste executado no talude ao redor da microestaca



Fonte: autoria própria.

Para aplicação da carga de forma a arrancar a estaca do solo, necessitou-se de um sistema de reação contrária a força de resistência ao movimento, no caso a força de atrito lateral da microestaca. Desta forma, utilizou-se do próprio solo como reação, tendo a superfície de contato aumentada com a utilização de placas de aço entre a célula que transmite a força à microestaca. Com a regularização do terreno as placas foram instaladas de forma que ficassem 4 em contato com o solo e 2 para receber a carga e distribuir igualmente as demais. Posteriormente, foi acoplado ao conjunto uma célula hidráulica para aplicação de carga ao sistema e uma moesa para travamento da microestaca, como que é apresentado na Figura 23.

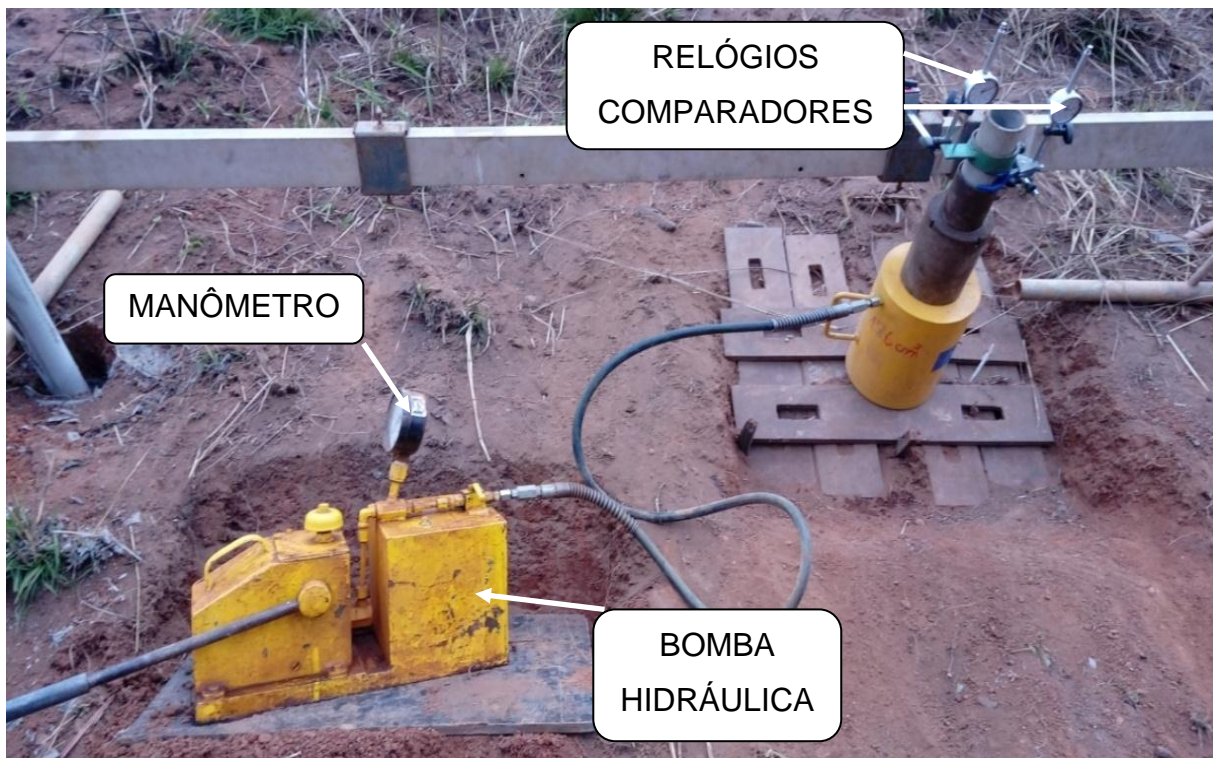
Figura 23 - Montagem das placas de reação, célula hidráulica e moessa de travamento



Fonte: autoria própria.

Posteriormente conectou-se a célula hidráulica a um macaco hidráulico equipado com um manômetro para se aferir a medição da pressão exercida no sistema, sendo assim, possível monitorar a carga aplicada ao conjunto. Além disso, instalaram-se dois relógios comparadores possibilitando a leitura dos deslocamentos ao qual a microestaca se submeteu. Depois de finalizada a instalação do sistema, conforme pode ser observado na Figura 24, empregou-se 10 estágios de carregamento, aplicando-se o método de prova de carga rápida, obtendo-se ao final dados para plotagem da curva de carga por deslocamento.

Figura 24 - Sistema de arrancamento composto por: macaco vazado e bomba hidráulica, placas de aço e relógios comparadores



Fonte: autoria própria.

3.5 Calibração do conjunto célula hidráulica e leitura no manômetro

Para a obtenção da força exercida pelo conjunto, na forma de arrancamento da estaca, foi necessária a calibração do mesmo, na prensa de compressão, para se correlacionar com as leituras realizadas no manômetro. A Figura 25, apresenta a realização da calibração realizada em laboratório.

Figura 25 - Calibração do manômetro com a utilização da prensa



Fonte: autoria própria.

A calibração foi realizada em 3 aberturas diferentes da célula hidráulica, sendo 1, 3 e 6 cm, para melhor verificação dos resultados, devida as incertezas das leituras e possíveis erros, sendo obtidos os resultados através da média entre as leituras, para mesma carga lida no manômetro. Vale ressaltar que devida à disponibilidade dos equipamentos no laboratório utilizou-se dois manômetros distintos, sendo um de capacidade máxima de 30TON da marca BOVENAU, sendo 1 TON equivalente a 22,63 kN/cm², e outro com capacidade máxima de 70 Kgf/cm² da marca DFX, mostrados na Figura 26.

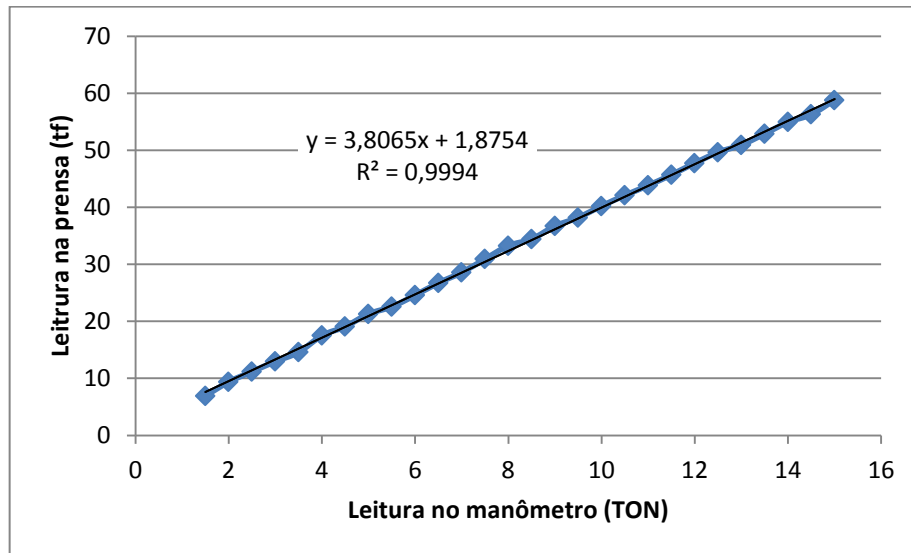
Figura 26 - Manômetros utilizados



Fonte: autoria própria.

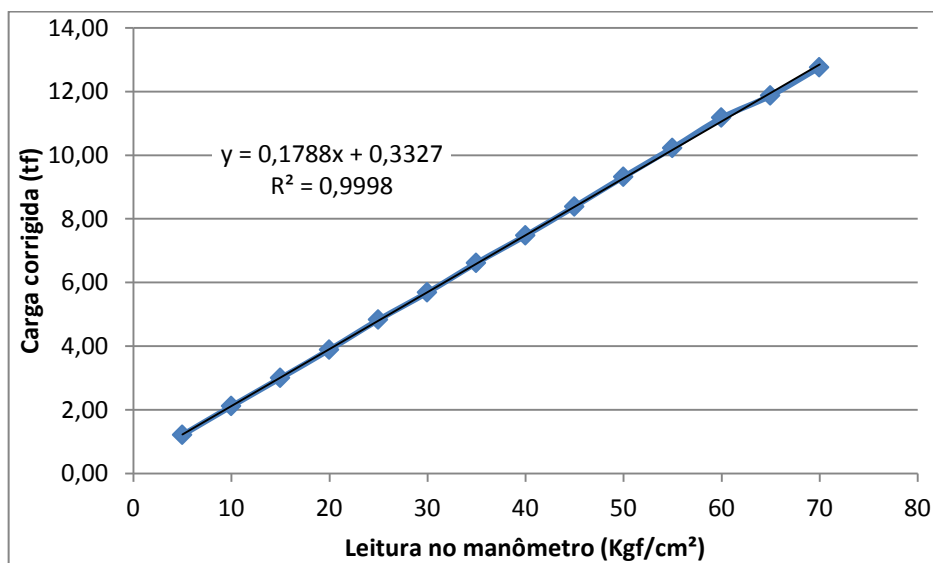
A calibração, com cada um dos manômetros, foi realizada separadamente e são apresentados nas Figura 27 e Figura 28.

Figura 27 - Correlação de leituras utilizando manômetro com capacidade até 30TON



Fonte: autoria própria.

Figura 28 - Correlação de leituras utilizando manômetro com capacidade até 70 Kgf/cm²



Fonte: autoria própria.

3.6 Métodos semi-empíricos

Para obtenção dos resultados, correlacionou-se primeiramente os dados da sondagem a percussão SPT, as formulações Semi-Empíricas de BRASFOND (1991), ORTIGÃO e PALMEIRA (1997), SPRINGER (2006), Gerscovich (2015) para

estimar a capacidade da microestaca como chumbador em solo pregado. Os resultados da prova de carga ao arrancamento foram plotados sendo possível vislumbrar o seu comportamento e auxiliar nas conclusões.

Considera-se para a obtenção das forças de atrito, referente a cada método o N_{SPT} médio das camadas em que o chumbador tem interação, sendo correlacionada ao SPT realizado. Além disso, têm-se para o cálculo adotado a área de contato igual ao perímetro do contato entre a microestaca e solo, considerando o diâmetro da ponteira vezes o comprimento da mesma.

3.7 Pré-dimensionamento por Clousterre (1991)

Conforme apresentado no item 2.8, visa-se obter pelos ábacos a densidade de grampo necessária, para posterior definição dos espaçamentos a serem adotados. Para obtenção dos parâmetros necessários para utilização do ábaco em questão, fez-se a correlação entre a coesão e ângulo de atrito, com o N_{SPT} . Além disso, se faz necessária a determinação do peso específico do solo, sendo tal parâmetro obtido através do ensaio de brucutu realizado próximo as microestacas em campo, através da cravação de um cilindro biselado no solo, após remoção da camada superficial orgânica, conforme se pode observar na Figura 29.

Figura 29 - Ensaio de brucutu



Fonte: autoria própria.

O peso específico é obtido através da razão entre o peso do corpo de prova extraído dentro do cilindro e seu volume, sendo essas medidas obtidas com auxílio da balança e paquímetro, posteriormente a extração do cilindro do campo, sendo esse processo feito com a escavação da lateral do cilindro e corte abaixo do corpo de prova moldado, para que não se altere as características naturais do solo. Sendo ilustrado pela Figura 30.

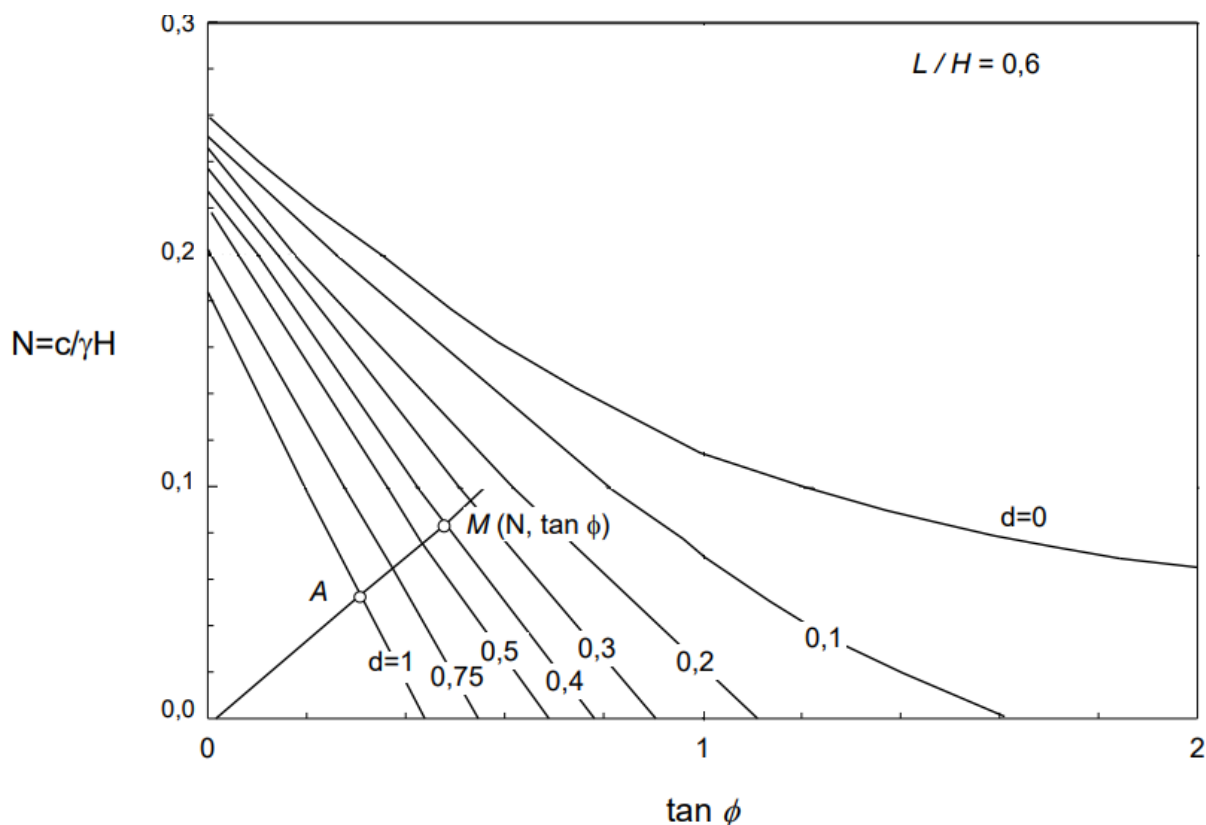
Figura 30 - Extração do cilindro biselado com o corpo de prova e pesagem do cilindro



Fonte: autoria própria.

No que se refere ao fator de segurança, pode-se obtê-lo a partir da razão entre a distância da origem até o ponto M, sendo este dado pelo N e tangente do ângulo de atrito, e a distância da origem até o ponto A. Visando exemplificar, têm-se o ábaco apresentado pela Figura 31.

Figura 31 - Exemplo de utilização do ábaco de Clouette (1991)



Fonte: adaptado de Clouterre (1991).

3.8 Análise de custo

Com a finalidade de se analisar a viabilidade econômica da aplicação da microestaca como solo pregado, desenvolveu-se o estudo partindo dos dados obtidos no item 3.7, uma vez que foi comparado o método convencional para a mesma situação estudada nesse trabalho. Porém, para se obter a mesma resposta geotécnica do grampo convencional foram adotados os dados de tensão de resistência ao arrancamento da pesquisa desenvolvida por Minette et al. (2016).

Dessa forma, pode-se obter o comprimento necessário de ancoragem do grampo, para se obter a mesma resistência da microestaca aqui estudada. Após determinado o comprimento necessário, foi estimado o custo para execução de um grampo, visto que se adotou a mesma densidade necessária e espaçamento entre grampos, tendo como tabela de referência a do SINAPI, de composições. Sendo utilizado o valor de R\$ 131,55/metro, referente à execução de grampo para solo pregado com comprimento maior que 6 m e menor ou igual a 8 m, com diâmetro de

10 cm e perfuração com equipamento manual e armadura com diâmetro de 20 mm (AF_05/2016), sendo código igual a 93959.

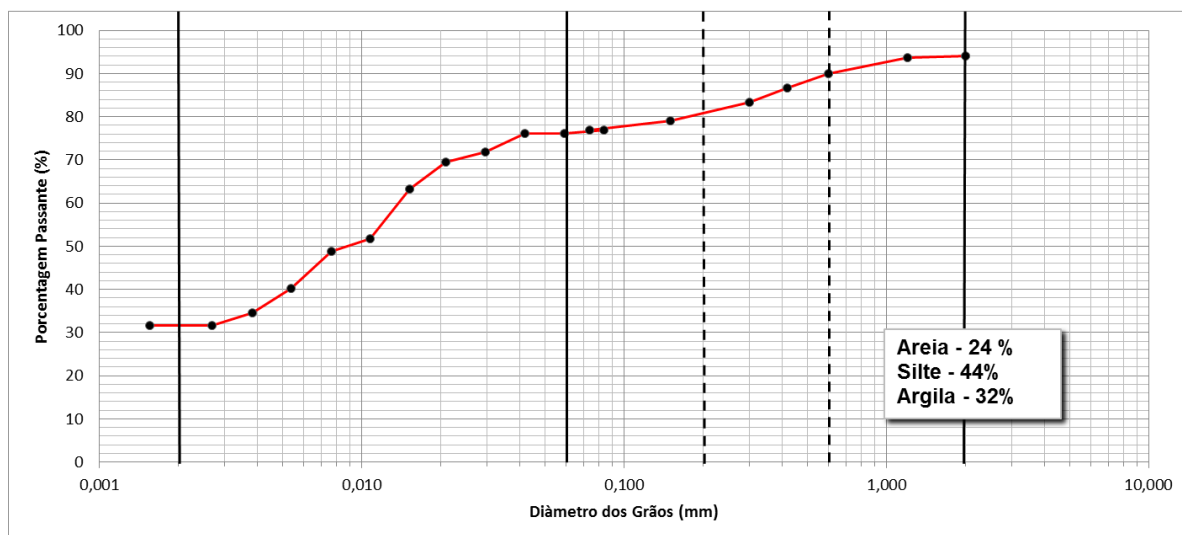
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do solo

4.1.1 Análise granulométrica

Assim como descrito no item 3.1.1 desenvolveu-se a análise granulométrica do solo, sendo o resultado de tal análise exposto na Figura 32 juntamente com a porcentagem de classificação do solo conforme a ABNT.

Figura 32 - Curva granulométrica do solo



Fonte: autoria própria.

4.1.2 Limites de consistência

Conforme item 3.1, para a caracterização do solo em estudo, obteve-se os seguintes resultados para definição do índice de consistência, sendo o limite de liquidez apresentada na

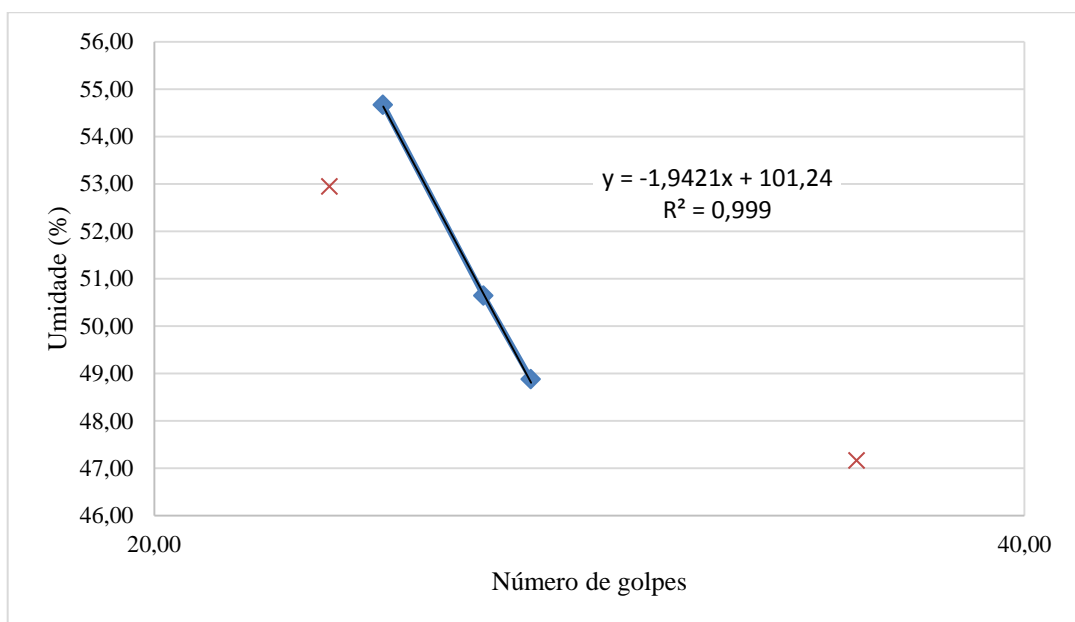
Tabela 3 e Figura 33. Utilizou-se os valores correspondentes a 24, 26 e 27 golpes, descartando os demais, por não apresentarem comportamento linear, referente aos demais.

Tabela 3 - Determinação Limite de Liquidez

Características	Unidade	Amostras				
		1	2	3	4	5
Determinação	nº	1	2	3	4	5
Cápsula	nº	M8	43	M1	PB3	R26
Massa úmida (com tara)	g	8,73	9,27	9,95	9,55	8,80
Massa bruta seca	g	7,90	8,04	8,60	8,36	7,93
Tara da cápsula	g	6,14	5,79	6,05	6,01	6,15
Massa da água	g	0,83	1,23	1,35	1,19	0,87
Massa do solo seco	g	1,76	2,25	2,55	2,35	1,78
Teor de umidade	%	47,16	54,67	52,94	50,64	48,88
Número de Golpes	nº	35,00	24,00	23,00	26,00	27,00

Fonte: autoria própria.

Figura 33 - Limite de Liquidez



Fonte: autoria própria.

No que se refere à determinação do limite de plasticidade, têm-se os resultados dispostos na Tabela 4. Vale ressaltar que os dados das amostras 2 e 3 foram descartados por apresentarem variação maior que 5% da média encontrada.

Tabela 4 - Limite de Plasticidade

Características	Unidade	Amostras				
		1	2	3	4	5
Determinação	nº	1	2	3	4	5
Cápsula	nº	56	H2	47	M10	17K
Massa úmida (com tara)	g	6,13	7,18	8,13	8,52	6,31
Massa bruta seca	g	6,06	7,10	8,03	8,40	6,17
Tara da cápsula	g	5,86	6,77	7,79	8,06	5,76
Massa da água	g	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14
Massa do solo seco	g	0,20	0,33	0,24	0,34	0,41
Teor de umidade	%	35,00	24,24	41,67	35,29	34,15

Fonte: autoria própria.

Desta forma, tem-se o limite de plasticidade determinado a partir da média entre as umidades de valor 35%, 35,29% e 34,15%, sendo referente às amostras 1, 4 e 5, respectivamente. Contudo, têm-se os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Índice de consistência

Índice de Atterberg	Resultado
Limite de Liquidez	52,65 %
Limite de Plasticidade	34,81 %
Índice de Consistência	17,84 %

Fonte: autoria própria.

4.2 Ensaio de SPT

Assim como descrito no item 3.2, obtiveram-se os resultados descritos na Tabela 6. Encerrando o ensaio a uma profundidade de 15 m, uma vez que já se possuía os parâmetros geotécnicos necessários para o desenvolvimento deste trabalho, referente às camadas de solo com interferência na microestaca instalada.

Tabela 6 - Resultado do ensaio de SPT

Cota (m)	N _{SPT}	Tipo de Solo	Consistência
0	-	Areia Siltosa Amarela	Fofa
1	8	Silte Arenoso Rosa	Média
2	8	Argila Arenosa Vermelha	Média
3	7	Argila Arenosa Vermelha	Média
4	7	Argila Siltosa Vermelha	Média
5	6	Argila Siltosa Vermelha	Média
6	10	Argila Siltosa Rosa	Média
7	8	Argila Siltosa Marrom	Média
8	7	Argila Siltosa Marrom	Média
9	8	Areia Siltosa Amarela	Média
10	6	Areia Siltosa Amarela	Média
11	6	Variegado de Argila Siltosa	Média
12	8	Argila Siltosa Cinza	Média
13	10	Argila Siltosa Vermelha	Média
14	11	Argila Siltosa Vermelha	Rija

Fonte: autoria própria.

Pode-se observar a partir do relatório de sondagem apresentado que se trata de um perfil de solo com média resistência e com caracterização em campo condizente com a caracterização realizada em laboratório.

4.3 Viabilidade construtiva da microestaca Arcos

Durante a execução da microestaca no campo experimental pode-se assegurar sua viabilidade construtiva devido à facilidade de instalação e execução da cravação, sendo estas umas das principais vantagens apresentada pela microestaca Arcos.

Encontrou-se dificuldade para obter um menor ângulo da microestaca com a horizontal, devido o processo de cravação, porém a empresa prestadora do serviço possui um martelo com maior massa o que pode ser uma alternativa viável para se aumentar a energia de compactação e conseguir atingir menores angulações. Porém, a cravação e seu ângulo estão correlacionados com a resistência apresentada pelo solo, haja vista que quanto maior a resistência do talude em

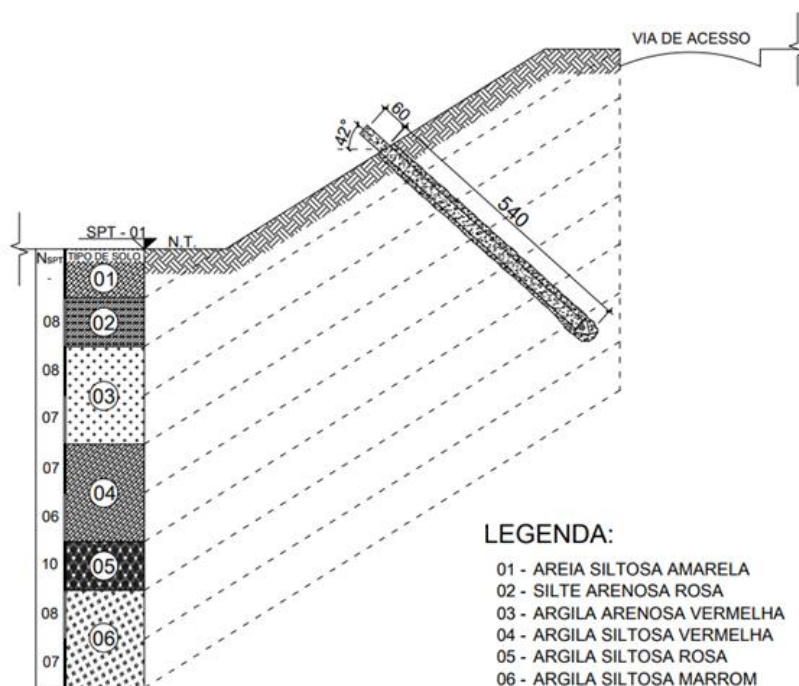
questão, será necessária uma maior energia para a cravação. De toda forma, considera-se viável e aplicável o ângulo em que se conseguiu cravar a microestaca.

Outra peculiaridade encontrada na análise construtiva do método de solo pregado com a utilização da microestaca Arcos se dá pela altura que se pode chegar à cravação em questão, uma vez que no caso estudado neste trabalho foi aplicado a uma altura relativamente pequena, cerca de 4 m de altura em relação a superfície plana de apoio do bate-estaca. Dessa forma, deve-se ser analisada junto à empresa portadora da patente da microestaca a viabilidade de se desenvolver uma alternativa para atingir maiores alturas, a fim de atender a necessidade de estabilização de taludes com diferentes alturas.

4.4 Análise semi-empírica

Baseando-se em métodos semi-empíricos encontrados na literatura, conforme itens 2.9.1, 2.9.2, 2.9.3 e 2.9.4 estimaram-se a capacidade de carga q_s da interação microestaca com o solo, tendo valor de N_{SPT} médio igual a aproximadamente 8 considerando-se o comportamento das camadas do solo com mesma inclinação para as linhas de mesmo N_{SPT} . Ilustra-se, portanto, pela Figura 34.

Figura 34 - Camadas do solo com mesmo N_{SPT}



Fonte: autoria própria.

Conforme já mencionado, a microestaca apresenta uma ponta especial, com diâmetro maior que o tubo, deixando a área de contato igual a 1,70 m², entre solo-cimento, visto que a mesma apresenta diâmetro de 10 cm. Dessa forma apresentam-se os resultados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultado da capacidade de carga qs, por métodos semi-empíricos

Método	Capacidade de carga
Ortigão e Palmeira (1997)	31,46 tf
Springer (2006)	12,56 tf
Gerscovich, et al (2015)	9,38 tf
Brasfond (1991)	7,33 tf

Fonte: autoria própria.

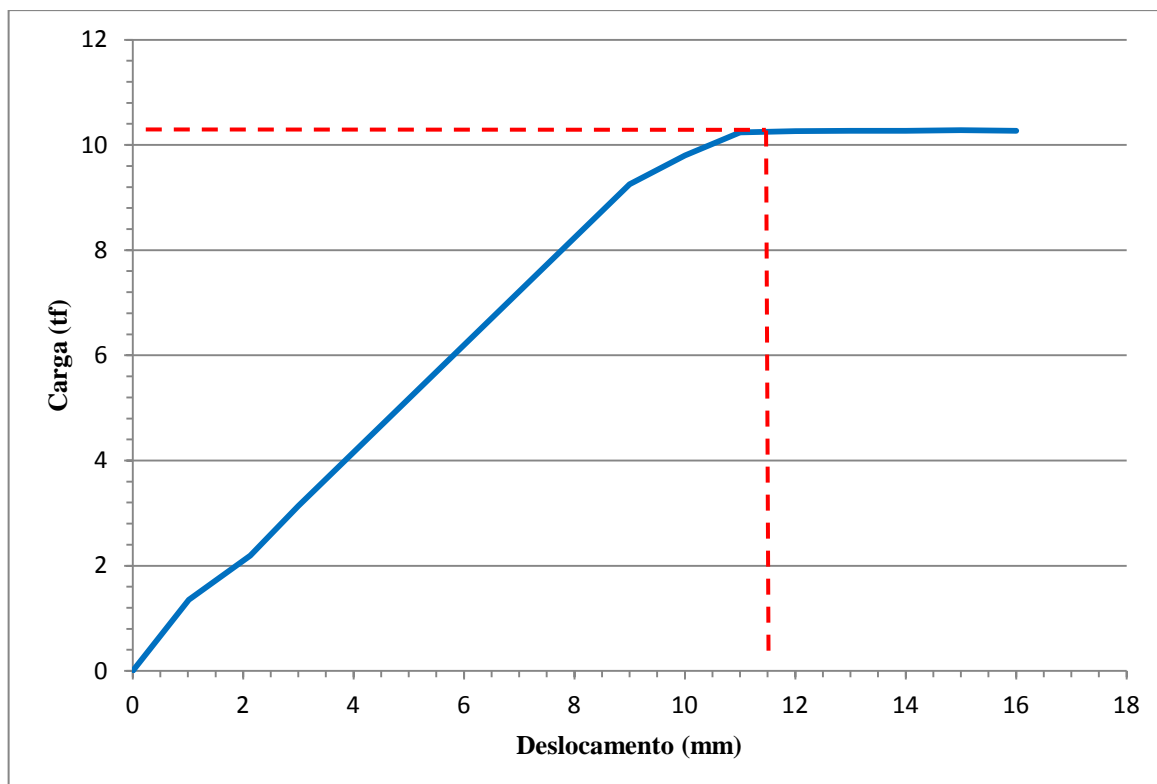
Ressalta-se a disparidade encontrada ao resultado obtido pelo método de Ortigão e Palmeira (2007), justificável visto que este método tem precisão para valores de N_{SPT} acima de 30 golpes (GERSCOVICH, 2015) o que não se aplica ao talude em questão, visto o N_{SPT} médio apresentado.

4.5 Ensaio de arrancamento

4.5.1 Ensaio de arrancamento 01

Realizado conforme descrito no item 3.4, o ensaio de arrancamento 01 foi executado na microestaca 01 utilizando-se o manômetro com capacidade máxima de 30 TON, obtendo, dessa forma os resultados para o ensaio conforme exposto na Figura 35.

Figura 35 - Gráfico de Carga (tf) x Deslocamento (mm) obtido através do resultado do ensaio de arrancamento 01



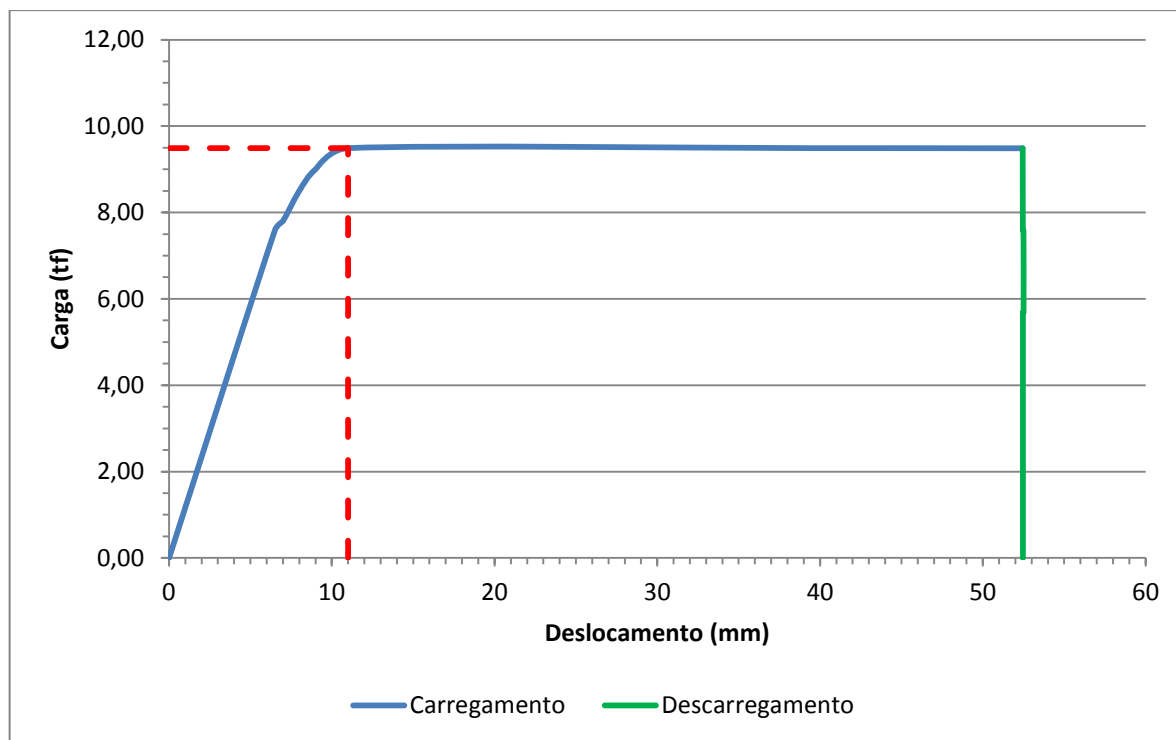
Fonte: autoria própria.

Tem-se como resultado do ensaio de arrancamento 01, a carga máxima no valor de 10,38 tf, o que se apresenta coerente com os métodos semi-empíricos também estudados nesse trabalho, além de um deslocamento antes da ruptura de aproximadamente 11,5 mm.

4.5.2 Ensaio de arrancamento 02

O ensaio de arrancamento designado como 02, foi realizado posteriormente na estaca situada a uma distância de 2 m da primeira, denominada como 02, visando não apresentar interferência entre elas. De forma análoga ao arrancamento 01, realizaram-se os procedimentos e deu-se início ao ensaio tendo os resultados plotados na Figura 36.

Figura 36 - Gráfico de Carga (tf) x Deslocamento (mm) obtido através do resultado do ensaio de arrancamento 02



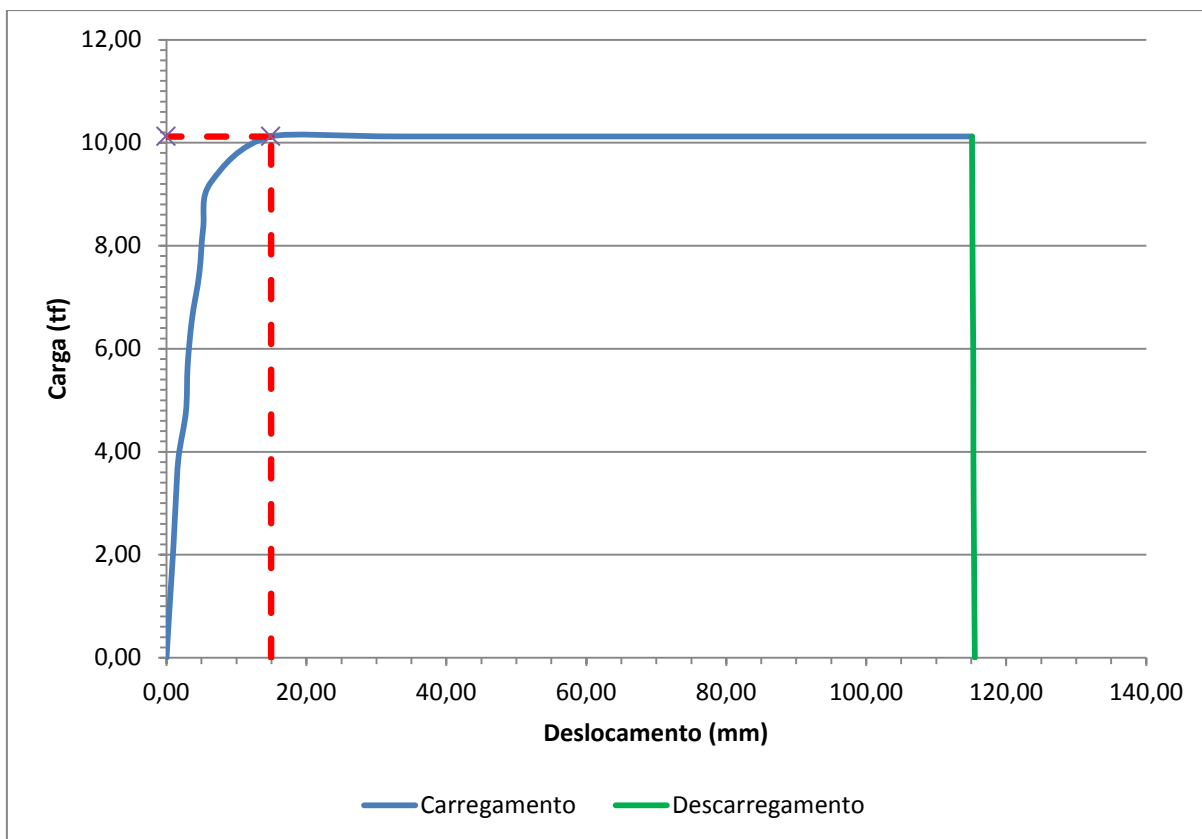
Fonte: autoria própria.

Como pode ser observado, para o arrancamento 02 alcançou-se o limite de ruptura, com a carga de 9,38 tf, e deslocamento antes da ruptura de 11 mm. Ressalta-se que o comportamento do gráfico no estágio de descarregamento, apresenta deformação constante linear, comprovando-se, portanto que a interação do solo com a microestaca atingiu o estado plástico, evidenciando a ocorrência de ruptura física.

4.5.3 Ensaio de arrancamento 03

O ensaio de arrancamento 03 foi realizado na mesma estaca em que se havia realizado o ensaio anteriormente, estaca 01, tendo entre os dois ensaios um intervalo de cerca de 90 dias. Conforme metodologia já apresentada realizou-se a montagem do equipamento em campo, utilizando dessa vez, um manômetro com capacidade máxima de 70 Kgf/cm², diferentemente do arrancamento 01, sendo o resultado apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Gráfico de Carga (tf) x Deslocamento (mm) obtido através do resultado do ensaio de arrancamento 03

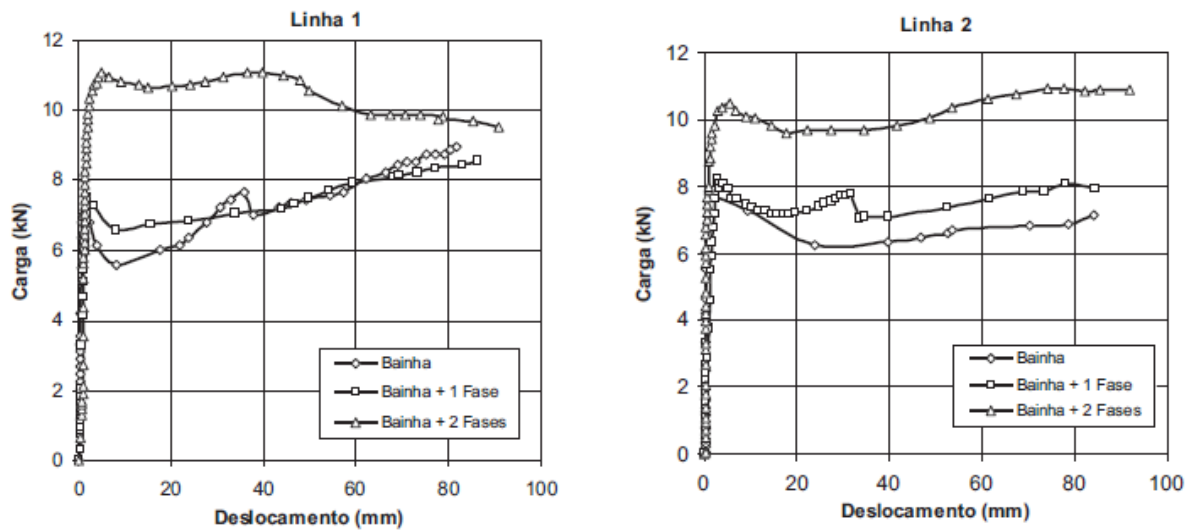


Fonte: autoria própria.

Observa-se que mesmo já tendo realizado ensaio de arrancamento anteriormente, chegando ao estado de ruptura, a capacidade da carga teve comportamento similar ao anterior, com valor correspondente a 10,12 tf, e deslocamento no valor de 15 mm. Saliendo-se dessa forma, que mesmo após a microestaca já ter atingido a ruptura, após um período de 90 dias, sem cargas extras de solicitação ao arrancamento, a mesma apresenta resultados similares tanto para a carga, quanto para o deslocamento.

Além disso, o comportamento da microestaca, como chumbador no método de solo pregado foi satisfatório e adequado quando se comparado a outros ensaios realizados por trabalhos distintos. A Figura 38 mostra resultado do ensaio de arrancamento de trabalho realizado com monitoramento e aplicação de carga constante.

Figura 38 - Ensaio de arrancamento com monitoramento e acréscimo de carga constante



Fonte: Adaptado de SILVA e BUENO (2010).

Vale destacar que o comportamento após o limite de ruptura se mostrou destoante com o estudo realizado, porém o arrancamento realizado por SILVA e BUENO (2010) utilizou de um monitoramento eletrônico e acréscimo de carga constante de 0,5 kN/min, desta forma ao se deslocar o chumbador provocou um alívio de tensão na estrutura. O que, em contrapartida, não pode ser analisado nos ensaios desenvolvidos neste trabalho, uma vez que o mesmo foi feito similar a prova de carga rápida, mantendo a carga constante, apresentando deslocamentos consideráveis, a fim de evitar o alívio de tensões e diminuição da força aplicada. A Figura 39, apresenta claramente o deslocamento excessivo apresentado no final do ensaio, podendo observar a abertura da célula o que se aplica, consideravelmente, similar ao deslocamento da microestaca.

Figura 39 - Execução do último estágio de carga



Fonte: autoria própria.

4.6 Comparativo dos resultados dos ensaios de arrancamento

Baseado nos resultados apresentados nos ensaios de arrancamento, no item 4.5, têm-se os deslocamentos apresentados na microestaca antes da ruptura e a carga máxima atingida. Sendo assim, visando explicar os resultados para auxiliar na conclusão deste trabalho os mesmos são apresentados para comparar e validar a utilização da microestaca como elemento estabilizador em método de solo pregado.

4.6.1 Comparativo de carga máxima

A Tabela 8 apresenta os resultados apresentados nesse trabalho, a fim de comparar e validar a utilização da microestaca Arcos para estabilização de taludes.

Tabela 8 - Resumo comparativo dos resultados de carga

	Metodologia	Valor (tf)
Métodos semi-empíricos	Ortigão e Palmeira (1997)	31,46 tf
	Springer (2006)	12,56 tf
	Gerscovich, et al (2015)	9,38 tf
	Brasfond (1991)	7,33 tf

Continuação da Tabela 8.

	Metodologia	Valor (tf)
Ensaio de campo	Arrancamento 01	10,38
	Arrancamento 02	9,38
	Arrancamento 03	10,12

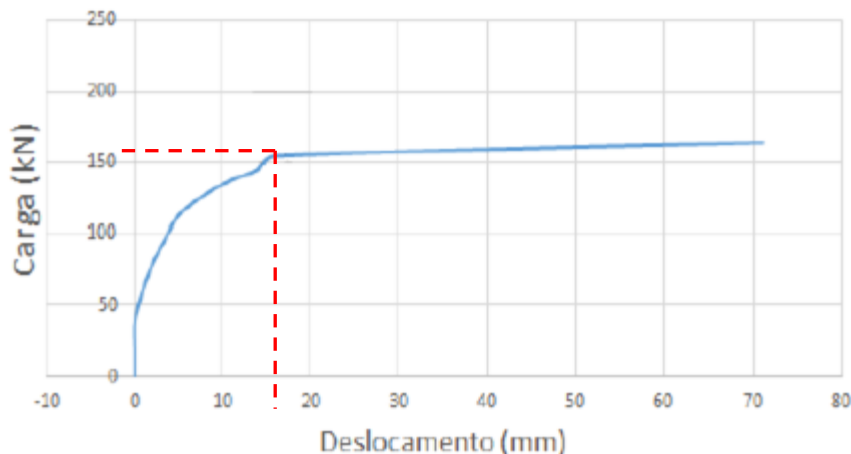
Fonte: autoria própria.

Dessa forma, comparando os resultados obtidos empiricamente com aquele obtido pelo ensaio apresentado, verifica-se que a microestaca Arcos desempenhou um comportamento conforme esperado. Percebe-se ainda, com carga de ruptura da microestaca igual a 10,38 tf, uma maior proximidade ao valor encontrado pelo método proposto por Gerscovich (2015), onde a formulação é indicada para valores de N_{SPT} inferiores a 10 golpes. E também se aproximou da proposta de SPRINGER (2006), bem como se mostrou pouco superior ao valor encontrado, quando se aplicou o método de BRASFOND (1991), para o cálculo da parcela de atrito lateral do referido método.

4.6.2 Comparativo dos deslocamentos

Relacionam-se os deslocamentos apresentados pelos resultados dos arrancamentos realizados nesse trabalho, com o obtido pelo ensaio de arrancamento em um dos grampos realizados em estudo por MINETTE et al. (2016), apresentado na Figura 40, a partir do arrancamento realizado a fim de comparativo.

Figura 40 - Carga (kN) x Deslocamento (mm) para comparação



Fonte: Adaptado de MINETTE et al. (2016).

Contudo, a Tabela 9 apresenta o comparativo dos deslocamentos encontrados nos ensaios de arrancamento desse trabalho, frente ao encontrado por MINETTE et al. (2016).

Tabela 9 - Resumo comparativo de deslocamentos

Ensaio	Deslocamento (mm)
Arrancamento 01	11,5
Arrancamento 02	11
Arrancamento 03	15
Arrancamento comparativo	15,8

Fonte: autoria própria.

Com base nos resultados apresentados, testemunha-se, portanto o comportamento da microestaca comparada ao grampo convencional executado na cidade de viçosa. Aproveitam-se os resultados apresentados na Figura 40 - Carga (kN) x Deslocamento (mm) para comparação, para validar a utilização da microestaca frente ao grampo convencional, em relação ao parâmetro de carga resistente, visto que o apresentado é de 150 kN ou 15 tf, para um grampo de ancoragem igual a 10,5 m, e a microestaca aqui estudada apresenta resistência de 10 tf, com apenas 5,4 m de ancoragem. Considerando como tensão de resistência ao arrancamento, os valores da microestaca superam o grampo convencional estudado por MINETTE et al. (2016) apresentando valor de 58,71 kPa contra 46,71 kPa.

4.7 Pré-dimensionamento

O pré-dimensionamento foi realizado baseado no método de CLOURETTE (1991), sendo utilizados os parâmetros do talude e solo apresentados na

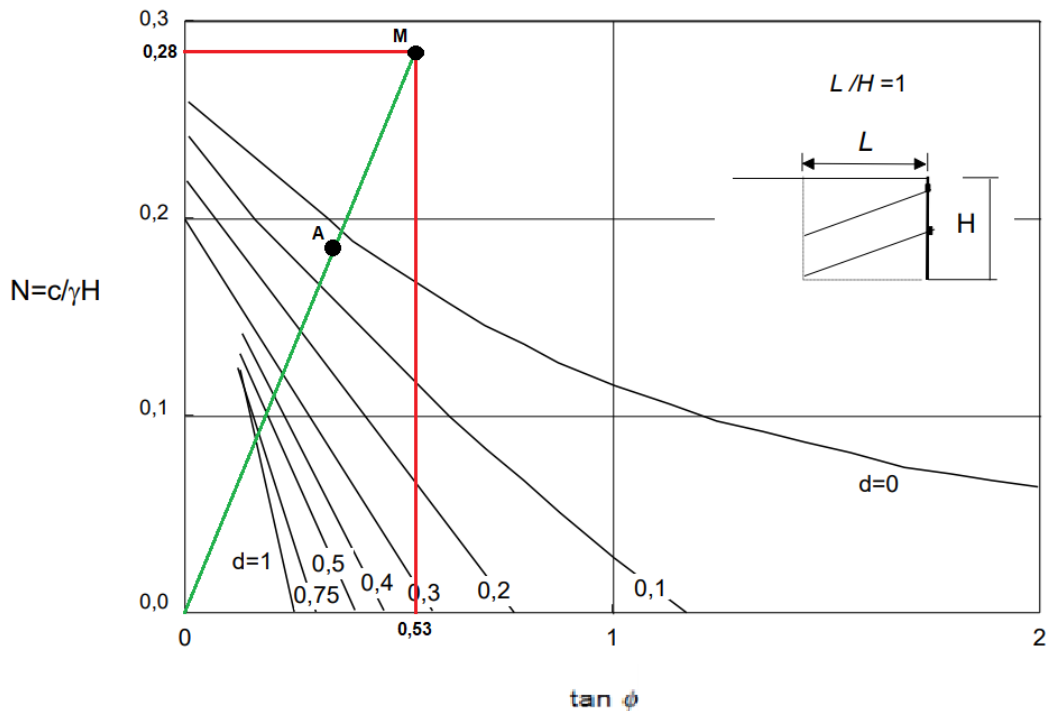
Tabela 10 - Parâmetros do talude e solo em estudo

Parâmetro	Unidade	Valor
Altura do talude (H)	m	4,10
Inclinação do talude (α)	graus	32,00
Comprimento horizontal da microestaca (L)	m	4,15
Diâmetro da microestaca (D)	m	0,10
Peso específico do solo (γ)	kN/m ³	21,64
Continuação da Tabela 10.		
Coesão do solo (c)	kPa	25,00
Ângulo de atrito (φ)	graus	28,00
Resistência ao arrancamento (q_s)	tf	9,96

Fonte: autoria própria.

Dessa forma, tem-se a partir do ábaco apresentado na Figura 41, a distância entre a origem e o ponto M, a partir dos parâmetros utilizados. Além disso, adotou-se como fator de segurança o valor de 1,5, sendo este igual a razão entre as distâncias da origem até os pontos M e A.

Figura 41 - Resultado a partir do ábaco de Clouterre (1991)



Fonte: autoria própria

Posteriormente, através de interpolação entre as curvas de densidade igual a 0 e 0,1, obtendo-se assim o resultado de 0,03. Com isso, a partir da Equação 6 e os parâmetros apresentados na Tabela 10 o valor do espaçamento entre as microestacas (S) é de 6,94 m, adotando-se espaçamentos verticais e horizontais iguais.

4.8 Análise de custo

Conforme descrito no item 3.8, obteve-se para o grampo convencional a necessidade de um comprimento de ancoragem igual a 6,79 m. Sendo assim, a partir da planilha de composição do SINAPI para a execução de um grampo com as características já descritas, o custo será de R\$ 892,87. Por sua vez, considerando a microestaca conforme executada no campo experimental e analisada nesse trabalho tem-se, por meio da empresa prestadora do serviço, Arcos Engenharia, o valor médio de R\$ 220,00/m, sendo o custo total estimado em R\$ 1.188,00.

Estima-se que o valor a ser cobrado para cada metro executado da microestaca, para se obter um custo final igual ao do grampo convencional, é R\$ 160,68/metro.

5 CONCLUSÃO

Verificou-se, portanto, que a estabilização realizada por meio da técnica de solo pregado utilizando a microestaca Arcos é compatível com as desempenhadas pelo solo pregado utilizando grampos convencionais, sendo capaz de estabilizar taludes e encostas. Dessa forma é possível observar que além de se apresentar como alternativa técnica do ponto de vista da capacidade de carga, a opção pelo uso das microestacas Arcos é também uma alternativa sustentável, por se utilizar de tubos oriundos de refugo.

Verifica-se, portanto que a técnica utilizada para cravação atendeu aos propósitos, sendo possível a viabilização da cravação da microestaca Arcos de forma inclinada em relação à face do talude. Além disso, pode-se ser analisado juntamente com a empresa portadora da patente da microestaca Arcos, possíveis adaptações a esta aplicação, visando uma maior facilidade no campo e resolução de possíveis adversidades, dependendo das especificações de cada projeto.

Nota-se que a resistência das microestacas Arcos aos esforços solicitantes de cisalhamento na interface solo x estaca, quando aplicadas conforme a metodologia e as particularidades descritas por este trabalho, apresentam um resultado satisfatório, ao serem correlacionados aos dados obtidos pelos métodos semi-empíricos e conforme a realidade do campo experimental onde se aplicou o ensaio de arrancamento.

No que tange a viabilidade econômica da utilização da microestaca como solo pregado, a mesma se apresentou com um maior custo ao se comparar com o grampo convencional. Entretanto, ao se abaixar o preço em cerca de 25%, o valor se nivela com o convencional. Vale ressaltar que a análise de custo nem sempre é o diferencial para a escolha de uma solução de engenharia, sendo que a cada projeto se tem necessidades diferentes, devendo-se, portanto, analisar outros critérios.

Dessa forma, sugere-se a futuros trabalhos a análise e estudos visando melhorar e aperfeiçoar o sistema proposto, como por exemplo, a possibilidade de se utilizar tubos com diâmetro menor com a mesma ponteira, visto que o fator que se demonstrou limitante foi a capacidade de carga geotécnica, sendo esta pela resistência ao arrancamento. Além disso, para se validar a possibilidade de redução de custos para o sistema proposto, recomenda-se uma análise de viabilidade financeira para a empresa e a realização de pesquisa de mercado, buscando avaliar a possibilidade e os benefícios associados ao oferecer uma nova solução a essa demanda presente no mercado.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6484:2001 - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001. 17p.

ABNT NBR 6459:2016–Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016. 5p.

ABNT NBR 6459:2016–Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016. 3p.

ABNT NBR 9895:2016–Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016. 14p.

ABNT NBR 12770:1992–Solo coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada. Rio de Janeiro, 1992. 4p.

ABNT NBR 7181:2016–Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. 12p.

ALONSO, U. R. (1943). Exercícios de Fundações, São Paulo: Edgard Blucher.

AMELCO, P. (2015). Avaliação de Métodos de Previsão de Carga Aplicados à Estacas Raiz. p.7.

BARROS, P. L. de Almeida (2005). Obras de Contenção - Manual Técnico. São Paulo: Maccaferri.

BELICANTA, A. (1998). Avaliação de fatores intervenientes no índice de resistência à penetração do SPT, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.

BRASFOND Fundações especiais S.A. (2006). Estacas Raiz, catálogo, 36p

CINTRA, J. C. A.; Aoki, N.; Albiero, J. H. Tensão admissível em fundações diretas. São Paulo: Rima, 2003. 134 p

CLOUTERRE(1991). Soil Nailing Recommendations – 1991: for designing, calculating, constructing and inspecting earth support systems using soil nailing. English Translation, 1993. Presses de l'ENPC, Paris.

CONCEIÇÃO, D.A. (2011). Análise paramétrica da estabilidade de um talude grampeado. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica.

CRUZ, F.V.A.S. (2015). Como dimensionar a microestaca? Fundações especiais, LinkedIn. Disponível em <<https://pt.linkedin.com/pulse/como-dimensionar-microestaca-funda%C3%A7%C3%B5es-especiais-felipe-souza-cruz>>. Acessado em 15 de Junho de 2017.

CRUZ, F.V.A.S.; BOTTINO, C.E.; COELHO, A.S. (2016). Métodos diretos para cálculos de capacidade de carga de fundações especiais – Microestacas, Revista Fundações & Obras Geotécnicas, Ed. 71, p. 38-51.

DANTAS, B. T. (2004). Análise do Comportamento de Estruturas de Solo Reforçado Sob Condições de Trabalho. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio Janeiro – RJ.

DAS, B. M. (2007). Fundamentos da Engenharia Geotécnica. São Paulo: Thomson Learning.

DYMINSKI, A. S. (31 de 10 de 2007). Estabilidade de Talude. *Notas de Aula*.

FRANÇA, F. A. N. (2007). Ensaios de arrancamento em solo grampeado executados em laboratório, Tese de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.

GERSCOVICH, D.M.S. (2012). Estabilidade de Taludes.1ª ed, São Paulo: Oficina de Textos. 192 p.

GERSCOVICH, D. M. (2014). Empuxos de Terra e Muros de Gravidade.

GERSCOVICH, D.M.S. (2016). Estabilidade de Taludes.2ª ed, São Paulo: Oficina de Textos.192 p.

GERSCOVICH, D.M.S.; SAYÃO, A.S.F.J.; LIMA, A.P.; ROSA, C.A.B. (2015). Consideração de Detalhes Executivos no Projeto de Taludes com Solo Grampeado, Revista Geotecnica, n.º 135, p. 41-65

LOZANO, M. (2016). A Vez do Solo Grampeado na Construção Civil, Disponível em: <<http://dynamisbr.com.br/2016/06/29/a-vez-do-solo-grampeado-na-construcao-civil/>>. Acesso em 19 dez. 2017.

MASSAD, F. (2010). Obras de Terra – curso básico de Geotecnia, São Paulo: Oficina de Textos, 216 p.

MINETTE, M.S.; MINETTE, E.; DUARTE, L.N. (2016). Determinação da resistência cisalhante em inclusões no solo aplicadas em estruturas de contenção, COBRAMSEG 2016, p. 19-22.

ODEBRECHT, E (2003). Medidas de energia do ensaio SPT, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

ORTIGÃO, J.A.R.; ZIRLIS, A.; PALMEIRA, E.M. (1993). Experiência com solo grampeado no Brasil - 1970-1993. Revista Solos e Rochas, ABMS, v. 16, pp291-304, São Paulo, Dezembro.

ORTIGÃO, J.A.R., PALMEIRA, E.M., (1997). Optimised Design for Soil Nailed Walls, In: 3 rd Int. Conf. on Ground Improvement Geosystems, London, Telford, p. 368-374.

ORTIGÃO, J.A.R.; SAYÃO, A.S.F.J. (2004). Handbook of Slope Stabilization. Springer Verlag, Germany, 478 p

PINTO, C.S. (2000). Curso básico de mecânica dos solos. São Paulo: Oficina de Textos, 247 p.

PROTO SILVA, T. (2005). Resistência ao arrancamento de grampos em solo residual de gnaise. Tese de Mestrado, DEC/PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, p. 140.

SILVA, R. R. C. da. (2011) Contribuição para escavação em solo aluvionar através da técnica de injeção de consolidação. In: VI Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul - GEORS, Passo Fundo – RS.

SILVA, D.P. e BUENO, B.S. (2010). Análise de métodos executivos de solo pregado a partir de ensaios de arrancamento realizados em laboratório, Revista Geotecnia, nº 119, p. 3-24.

SPRINGER, F.O. (2006). Ensaios de Arrancamento de Grampos em Solo Residual de Gnaisse, Tese de Doutorado, PUC-Rio, Brasil, 309 p.

TAVARES W. S. (2016). Rotina para correlação de parâmetros de resistência ao cisalhamento com resultados de ensaios SPT, Tese de Mestrado, Institutos LACTEC, Insituto de Engenharia do Paraná, Curitiba – PR.

TEIXEIRA, A.H. (1977). Sondagens: Metodologia, erros mais comuns, normas de execução. In: Anais do I Simpósio de Prospecção do Subsolo. ABMS. Núcleo Nordeste, Recife – PE.