

Modelagem Numérica de CONTENÇÃO em Solo Grampeado em Área Urbana, Um Caso de Obra.

Flavia Helena Corte

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Unicamp, Campinas, Brasil,
flavia_helena@hotmail.com

Alexsander Silva Mucheti

Engenheiro das Empresas Engestrauss Engenharia e Fundações Ltda e Proeng Geotecnia Ltda, São Paulo, Brasil, alexmucheti@gmail.com

Paulo José Rocha de Albuquerque

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Unicamp, Campinas, Brasil,
pjra@fec.unicamp.br

RESUMO: O trabalho tem como finalidade estudar a estabilidade de uma contenção vertical em solo grampeado de 24 m de altura, em área urbana, situada na cidade de São Bernardo do Campo, Estado de São Paulo, Brasil. A contenção foi executada com grampos de comprimentos entre 12 e 20 m, sendo perfurados por circulação d'água e injetados com calda de cimento, sendo paramento de concreto projetado com espessura de 0,1 m e tela metálica. O projeto executivo da contenção teve os parâmetros geotécnicos adotados por correlações obtidas na literatura através das sondagens SPT disponíveis do local. Durante a execução da contenção foram coletadas seis amostras indeformadas ao longo da profundidade para a realização de ensaios de laboratório em que permitiram obter o peso específico, a coesão e o ângulo de atrito das amostras. A análise de estabilidade da contenção em solo grampeado foi realizada considerando a ruptura global e interna por métodos de equilíbrio limite utilizando o software GEOSTUDIO 2012, módulo SLOPE/W. Para ruptura global foram utilizados os métodos de Morgenstern e Price, Spencer, Bishop e Janbu, enquanto que, para a análise da ruptura interna utilizou-se o Método de Fellenius. Comparando os resultados das correlações SPT e dos ensaios de laboratório, verificou-se que, a coesão obtida em laboratório para camada 3 apresentou um valor superior, da ordem de 311% e para camada 4 um incremento de 18 %. Com relação ao ângulo de atrito, este foi 14% superior para camada 3 e para camada 4 não apresentou diferença significativa. Os fatores de segurança (FS) obtidos nas análises de estabilidade por métodos de equilíbrio limite resultaram, para os de Morgenstern e Price, Spencer, Bishop e Janbu um incremento médio de 7,6 %. Para o método de Fellenius, o aumento foi de 10,7%.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem numérica, contenção, solo grampeado, estabilidade.

1 INTRODUÇÃO

As técnicas de inserção de elementos de reforço com objetivo de aumentar a resistência do solo é um método executado pelos povos da antiguidade, que aplicavam esta técnica para reforçar suas construções, mas somente em

1960, na França, é que foi desenvolvido o conceito estrutural de solo reforçado.

O solo grampeado é um método utilizado para reforço de solos através da inclusão de elementos passivos semirrígidos, denominados grampos (barras de aço que são envoltas por nata de cimento) resistentes à tensões de trações

e esforços cortantes, associados ao revestimento da face com concreto projetado armado, com tela de aço ou fibras de aço, e com um sistema de drenagem, com isso, os deslocamentos são restringidos e transferidos de uma zona instável para uma zona resistente.

Nos últimos anos a técnica de solo grampeado vem sendo muito utilizada para implantação de subsolos de edifícios, como é o caso da região de estudo desse trabalho, localizado no Município de São Bernardo do Campo. A partir de 1990 a região teve uma grande diversificação de setores, surgiram vários shopping centers, o que levou a importância do setor de serviços na cidade, e conseqüentemente um enorme crescimento no mercado imobiliário residencial. Como qualquer grande cidade a valorização dos empreendimentos e a exigência dos consumidores se deram com a necessidade de ter imóveis com um número maior de vagas de garagem, desta forma, a técnica de contenção do solo grampeado ocupa um espaço representativo por adaptarem-se as condições da geologia da região e ser uma solução segura e economicamente viável.

As vantagens proporcionadas por esse método são inúmeras, como: baixo custo, velocidade de produção, equipamentos leves e de fácil manuseio, adaptação a várias geologias, entre outras. Apesar do grande emprego dessa técnica em nosso país, os projetos têm sido desenvolvidos com base em hipóteses conservadoras devido à falta de conhecimento sobre o comportamento da interação solo-reforço (SILVA, 2005). Analisando-se diversas literaturas, entre elas Zirlis e Pitta (1992), Silva (2005), Springer (2006), Silva (2009) e Pitta *et al* (2013), percebe-se que o conhecimento e o aprimoramento desse método ainda advêm do acompanhamento de obras, ou seja, da experiência dos executores, e que apresentam uma consistência teórica que permita muitos avanços técnicos. Este trabalho tem como objetivo realizar a análise de estabilidade da contenção em solo grampeado considerando a ruptura global e interna por métodos de equilíbrio limite utilizando o software GEOSTUDIO 2012, módulo SLOPE/W. Para ruptura global foram utilizados os métodos de

Morgenstern e Price, Spencer, Janbu e Bishop, para a análise da ruptura interna utilizou-se o Método de Fellenius. Compararam-se resultados com a utilização de parâmetros dos solos obtidos por correlações do SPT com resultados obtidos utilizando os dados dos ensaios de laboratório das seis amostras indeformadas coletadas ao longo da profundidade.

2 SOLO GRAMPEADO

Consiste no reforço do solo simultâneo ao progresso de escavação com a introdução de barras passivas que são levemente inclinadas e paralelas umas às outras. Estas barras (passivas) são chamadas de “pregos” e a técnica de reforço é também conhecida como Solo Pregado (CLOUTERRE, 1991).

Seu desenvolvimento, na Europa e nos Estados Unidos se deu na década de 1970 e 1980. No Brasil, se iniciou em 1990 com grande impulso nos anos 2000 (PITTA *et al.*, 2013). A técnica consiste na introdução das barras de aço em pré furos realizados no talude, sendo que os mesmos serão preenchidos com calda de cimento, dessa forma as tensões de tração são mobilizadas ao longo da extensão dos grampos.

O processo executivo é composto por seis etapas, sendo: 1. escavação, 2. perfuração do terreno, 3. introdução das barras de aço e preenchimento com calda de cimento e execução do sistema de drenagem, 4. face de concreto projetado temporário, 5. execução das próximas linhas de grampos e pôr fim a 6. face de concreto projetado.

3 ÁREA DE ESTUDO

A solução em solo grampeado está sendo cada vez mais utilizada, essa técnica adquiriu confiabilidade e vem se tornando uma boa opção quando comparada às outras técnicas para estabilização de encostas. É uma alternativa com vantagens do ponto de vista econômico e operacional, porém, o comportamento e a forma como se desempenha ainda não são bem compreendidas, por isso a necessidade de estudos para se conhecer e

desenvolver esta técnica.

A área de estudo está localizada na cidade de São Bernardo do Campo/SP. Trata-se de uma escavação com o objetivo de construir um Edifício Residencial, composto por 4 subsolos e 15 andares. Para tal execução se fez necessária uma estrutura de contenção em solo grampeado, nas quatro faces do empreendimento, totalizando 1.747 m² de concreto projetado, 2172 chumbadores e 267 DHP's, a serem executados.

A fim de evitar escorregamento do solo, a escavação foi realizada conforme se executa as linhas de chumbadores, ou seja, a cada 1,0 m. A contenção foi executada com grampos de comprimentos entre 12 m e 20 m, sendo perfurados por circulação d'água e injetados com calda de cimento, o paramento de concreto projetado com espessura de 0,1 m e tela metálica.

O motivo em acompanhar esta obra foi devido à diversidade apresentada pela mesma, como a elevada altura de contenção e a necessidade de monitoramento e instrumentação da estrutura, aproveitando a oportunidade para acompanhar todos os procedimentos em campo e analisar os resultados obtidos. A obra ainda não está finalizada, a contenção até o momento está com uma altura de 20 m (figura 1).



Figura 1 – Contenção com 20 m de altura.

4 METODOLOGIA

Durante a execução da contenção seis amostras indeformadas foram coletadas das camadas de

maior representatividade, as profundidades e as cotas de projeto dessas amostras estão apresentadas na tabela 1. Com os seis blocos, foram realizados os ensaios de granulometria, seguindo as prescrições da ABNT NBR 7181/1984, e ensaio de cisalhamento direto para obtenção da coesão e ângulo de atrito dos solos, conforme norma americana ASTM D3080.

Os parâmetros adotados para cada camada foram retirados por correlações de SPT, sendo assim, primeiramente realizou-se a análise de estabilidade da contenção com estes dados, observando-se os fatores de segurança (FS) resultantes; posteriormente as análises foram repetidas com os parâmetros obtidos através dos ensaios de laboratório, observando novamente os fatores de segurança (FS) encontrados.

As análises foram realizadas para ruptura global e ruptura interna por métodos de equilíbrio limite utilizando o software GEOSTUDIO 2012, módulo SLOPE/W. Para ruptura global utilizou-se os Métodos de Morgenstern e Price, Spencer, Janbu e Bishop (dois métodos rigorosos e dois simplificados, respectivamente) e para ruptura interna o Método de Fellenius.

Tabela 1. Cota e profundidade das amostras.

Solo	Cota de projeto (m)	Profundidade (m)
Amostra 1	107,50	7,0
Amostra 2	107,50	7,0
Amostra 3	102,50	12,7
Amostra 4	102,50	12,7
Amostra 5	98,50	17,0
Amostra 6	98,50	17,0

5 RESULTADOS

Na tabela 2 encontram-se a identificação dos solos obtidos em cada camada e os parâmetros adotados, sendo que os mesmos foram obtidos por correlações do SPT. Os resultados obtidos para o ensaio de cisalhamento direto podem ser observados na tabela 3.

Tabela 2. Identificação das camadas e seus parâmetros obtidos por correlação de SPT.

Solo	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Camada 1	18	7	22
Camada 2	18	7	26
Camada 3	19	16	30
Camada 4	20	40	36
Camada 5	21	50	40

Tabela 3. Ensaio de cisalhamento direto.

Solo	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Amostra 1	18	50	36
Amostra 2	18	50	33
Amostra 3	19	49	38
Amostra 4	20	40	31
Amostra 5	21	53	38
Amostra 6	21	97	30

Nas figuras 2, 3, 4 e 5 apresentam-se os resultados das análises de estabilidade para Ruptura Global. A figura 6 os resultados das análises para Ruptura Interna com a utilização dos parâmetros obtidos por correlação do SPT.

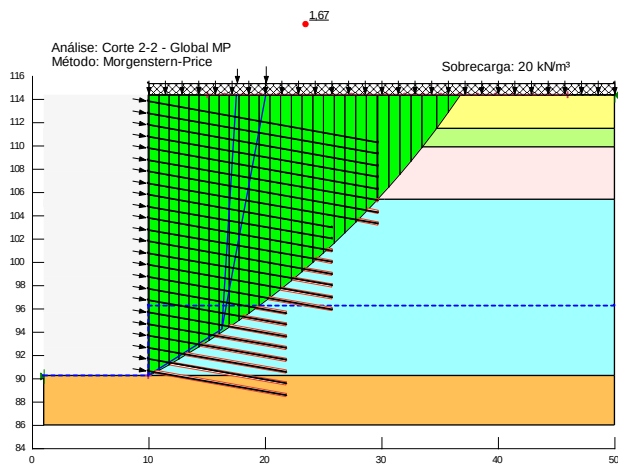


Figura 2 – Método de Morgenstern e Price

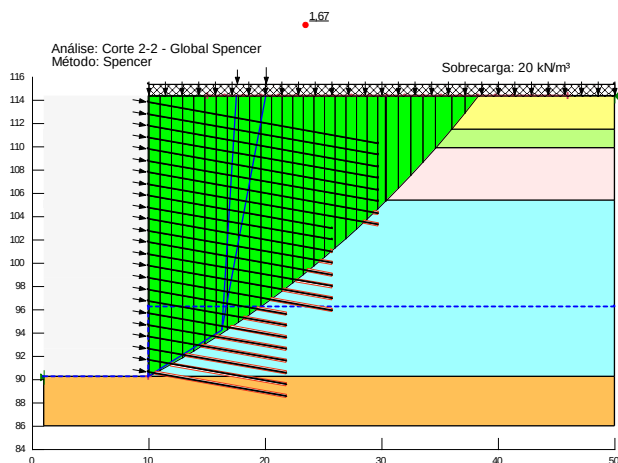


Figura 3 – Método de Spencer

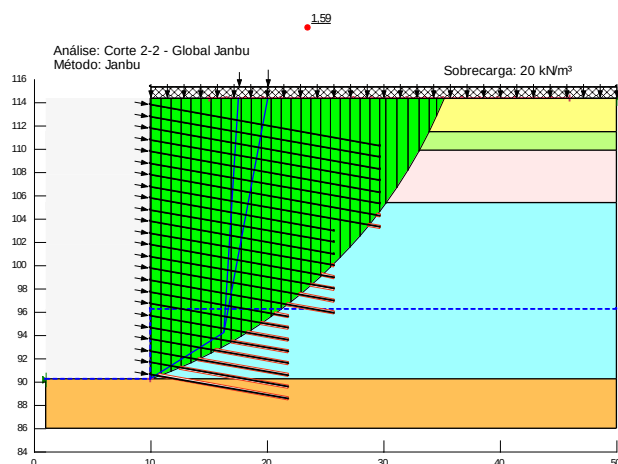


Figura 4 – Método de Janbu

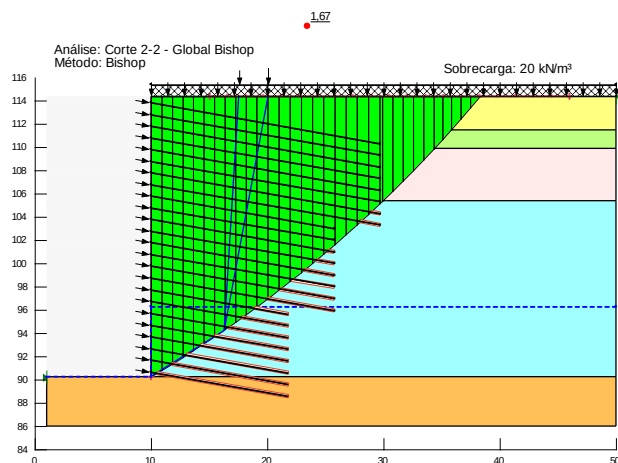


Figura 5 – Método de Bishop

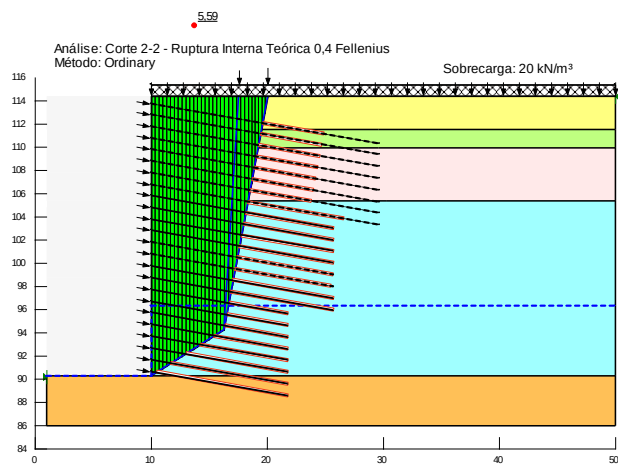


Figura 6 – Método de Fellenius

Nas figuras 7, 8, 9 e 10 apresentam-se os resultados das análises de estabilidade para Ruptura Global e, na figura 11 para Ruptura Interna da contenção correspondente aos parâmetros obtidos por ensaios de laboratório.

As camadas 3 e 4 são as de maior representatividade no maciço, desta forma,

utilizam-se para a camada 3 a média dos resultados das amostras 1 e 2 e para a camada 4, a média das amostras 3, 4 e 5. Os resultados da amostra 6 são desprezados. Na tabela 4 apresentam-se os parâmetros médios obtidos para as camadas 3 e 4.

Tabela 4. Parâmetros médios para camadas 3 e 4.

Camada	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
3	18	50	34
4	20	47	36

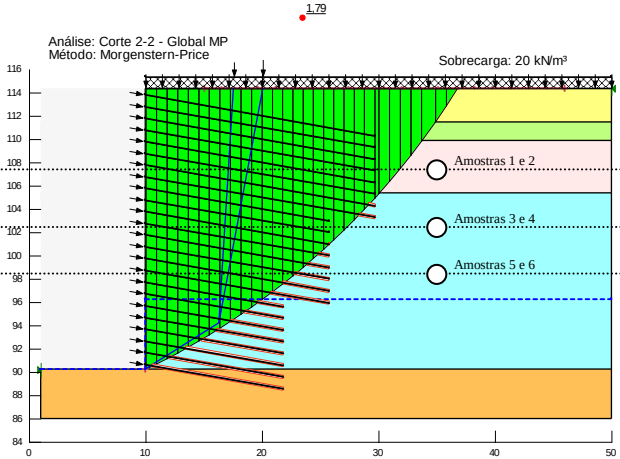


Figura 7 – Método de Morgenstern e Price

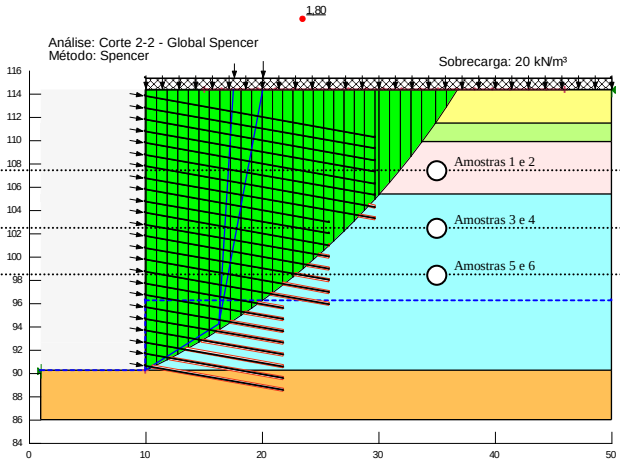


Figura 8 – Método de Spencer

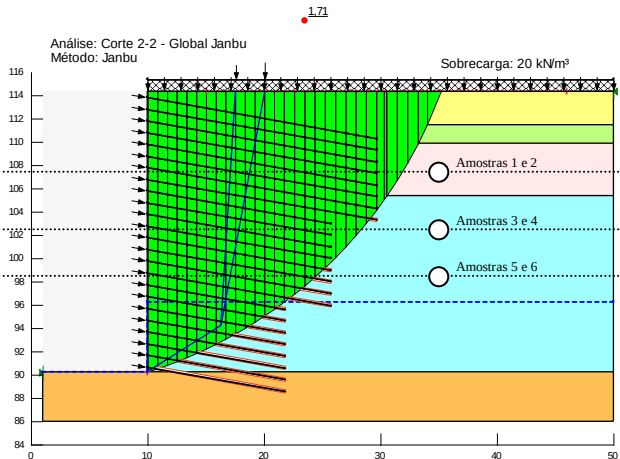


Figura 9 – Método de Janbu

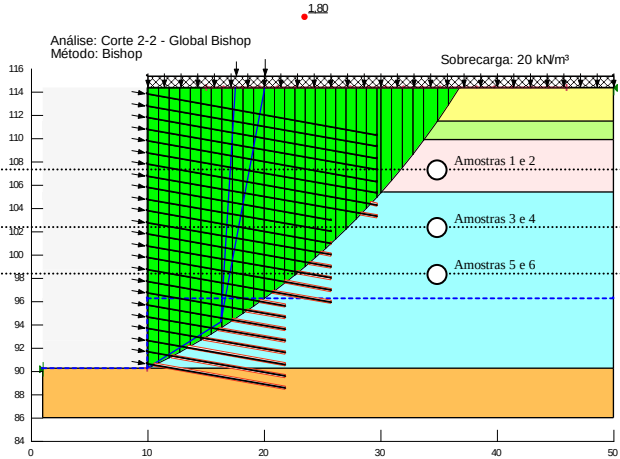


Figura 10 – Método de Bishop

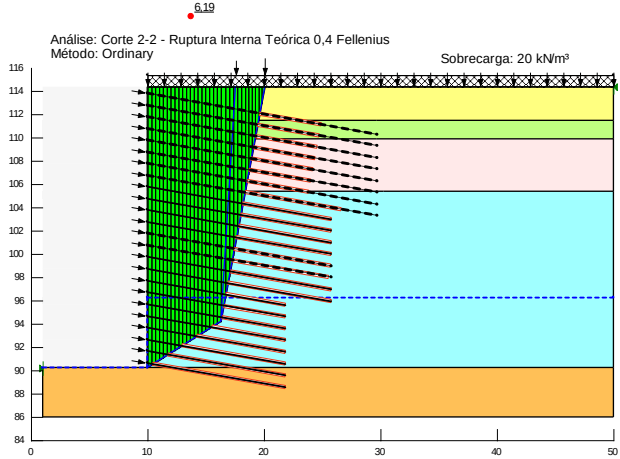


Figura 11 – Método de Fellenius

Na tabela 5 apresentam-se os Fatores de Segurança (FS) obtidos para as análises realizadas.

Tabela 5. Fatores de Segurança (FS).

Método	FS SPT	FS Laboratório	FS _{SPT} /FS _{lab}
Morgenstern e Price	1,67	1,79	7,2 %
Spencer	1,67	1,80	7,8 %
Janbu	1,59	1,71	7,5 %
Bishop	1,67	1,80	7,8 %
Fellenius	5,59	6,19	10,7%

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados conclui-se que os valores adotados do peso específico por correlações de SPT para as camadas 3 e 4 (de maior representatividade), não variaram quando comparados aos obtidos nos ensaios de laboratório.

Quanto à coesão e o ângulo de atrito, os valores apresentaram diferenças significativas. Para a coesão na camada 3, o valor obtido em laboratório foi superior aquele adotado por correlações de SPT, sendo o incremento da ordem de 311%, entretanto para a camada 4 o incremento foi da ordem de 18%.

O outro parâmetro em estudo foi o ângulo de atrito, que apresentou para a camada 3, um incremento de 14%, comparando os valores obtidos em laboratório com aqueles obtidos das correlações com SPT, enquanto que, para a camada 4, não foram observadas divergências significativas entre os valores encontrados nas duas situações. Sendo assim, as análises realizadas por meio do software GEOSTUDIO apresentaram diferenças no fator de segurança.

Utilizando os parâmetros obtidos por correlações do SPT, os fatores de segurança obtidos são menores do que aqueles encontrados através dos ensaios de laboratório. Na análise de estabilidade de Ruptura Global houve um incremento médio 7,6 % e, para a ruptura Interna, um aumento de 10,7%.

Com os resultados apresentados pode-se concluir que as correlações de SPT utilizadas se mostram adequadas para a obra em análise.

REFERÊNCIAS

Clouterre (1991). *Soil Nailing Recommendations Project National Clouterre*. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, ENPC, Paris, France, 301p.

Pitta, C.A.; Souza, G.J.T.; Zirlis, A.C. (2013). *Alguns detalhes da pratica de execução de solo grampeado*. VI Conferencia Brasileira de Encostas – COBRAE, 2013. p 1-24

Silva, T. P. (2005) *Resistência ao Arrancamento de Grampos em Solo Residual de Gnaiss*, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, Brasil, 140 p.

Silva, D. P. (2009) *Análise de diferentes metodologias executivas de solo pregado a partir de ensaios de arrancamento em campo e laboratório*. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, 313 p.

Springer, F.O. (2006) *Ensaio de Arrancamento de Grampos em Solo Residual de Gnaiss*, Tese de Doutorado, PUC-Rio, Brasil, 310 p.

Zirlis, A.C.; Pitta, C.A (1992) *Soil Nailing, Chumbamento de Solos: Experiência de Uma Equipe na Aplicação do Método*. I Conferencia Brasileira de Encostas – COBRAE. 19 p.