

Avaliação de um método de cálculo de reforço de aterros sobre solos moles com geocélulas usando elementos finitos

José Orlando Avesani Neto

Escola Politécnica – Poli/USP / Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP / Geo Soluções
Strata, avesani@usp.br

Benedito de Souza Bueno

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, bsbueno@sc.usp.br

Marcos Massao Futai

Escola Politécnica – Poli/USP /USP, futai@usp.br

RESUMO: Apesar da utilização da geocélula em diversas áreas da engenharia geotécnica, como muro de arrimo, proteção de taludes contra erosão e revestimento de canais, este geossintético foi inicialmente concebido para melhorar a capacidade de carga do solo. As geocélulas, quando feitas com grandes dimensões, também são empregadas no reforço de aterros sobre solos moles. Para esta aplicação, a literatura internacional e nacional carece de metodologias de cálculo que permitam a definição da melhora fornecida pelo reforço. Neste aspecto, o presente trabalho apresenta uma avaliação de um método de cálculo originalmente desenvolvido para capacidade de carga de solos reforçado com geocélula, ajustado para o emprego de aterros sobre solos moles. O método desenvolvido considera a contribuição da fundação, o tipo de solo de preenchimento, a geometria do carregamento e da geocélula, a inclinação do talude do aterro e o seu peso próprio. Este método usa Fatores de Segurança calculados para a situação não reforçada, por qualquer metodologia, e, neste valor, adiciona um termo dependente do reforço de geocélula de forma a obter o Fator de Segurança da situação reforçada. No presente artigo, foram avaliados, usando elementos finitos tridimensional, os diferentes métodos de análise de aterros não reforçados (Bishop, Low 1989 e Pinto 1965) e estes mesmos métodos associados ao método proposto para a situação reforçada.

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos, Reforço de solo, Reforço de fundações, Melhoria de solo, Aterro sobre solos moles.

1 INTRODUÇÃO

Os reforços geossintéticos dispostos na base de aterros sobre solos moles melhoram o desempenho da obra porque atuam de duas formas: aumentando as forças resistentes e reduzindo as forças solicitantes. Os reforços igualmente atuam na fase mais crítica de estabilidade de aterro, que ocorre durante a construção, situação esta em que o solo mole da fundação ainda não teve ganhado de resistência pela consolidação.

Além do emprego de geogrelhas como

reforço basal, outras técnicas com o uso de geossintéticos são aplicáveis em aterros sobre solos moles, como: colunas encamisadas com geossintéticos, drenos verticais pré-fabricados associados ao reforço e a geocélulas.

A geocélula é aplicada em diversas áreas da engenharia geotécnica como muros de arrimo (Bathurst e Jarret 1988), proteção de taludes contra erosão (Rimoldi e Ricciuti 1994), revestimento de canais (Wu e Austin 1992) e, além das geogrelhas e dos geotêxteis tecido, a geocélula também pode ser empregada como reforço de aterros sobre solos moles e na

melhora da capacidade de carga de solos (Bathurst e Jarret 1988; Koerner 1994; Dash et al. 2001, Avesani Neto 2013).

Diversos autores relataram o uso de forma satisfatória da geocélula no reforço de aterro sobre solos moles, sendo observado aumento da segurança dos aterros, melhora no desempenho de longo prazo, redução dos deslocamentos e melhora da capacidade de suporte da fundação (Cowland e Wong 1993, Krishnaswamy et al. 2000 e Zhang et al. 2010).

Todavia, diferente do que ocorre com o reforço de geogrelha, são poucos e ineficientes os métodos propostos para calcular o benefício gerado pela presença do reforço de geocélula. Os métodos mais antigos propõem considerar a camada de reforço de geocélula como uma camada de solo com uma coesão ou ângulo de atrito equivalente devido ao reforço (Jenner et al. 1988, Madhavi Latha et al. 2006, Madhavi Latha 2008).

Avesani Neto (2013) desenvolveu e apresentou uma metodologia para a determinação do Fator de Segurança da capacidade de carga de aterros sobre solos moles reforçados com geocélula (Avesani Neto 2013; Avesani Neto et al. 2013, 2014a, 2014b, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d). Usando um equacionamento proposto para a melhora da capacidade de carga devido ao reforço de geocélula, e empregando os conceitos de Jakobson (1948), Costa Nunes e Veloso (1961), Pinto (1965) e Low (1989), de que, em aterros sobre solos moles é usual que a ruptura ocorra somente em uma parte da fundação, geralmente próximo ao talude do aterro, o estudo supracitado determinou uma equação para determinar o Fator de Segurança da capacidade de carga de aterros reforçados com geocélula em função do Fator de Segurança da situação não reforçada e de alguns parâmetros da geocélula e do seu solo de preenchimento.

Desta forma, o presente artigo avalia esta metodologia proposta usando diferentes métodos de determinação do Fator de Segurança sem reforço e simulações numéricas computacionais.

2 METODOLOGIA DESENVOLVIDA PARA A SITUAÇÃO REFORÇADA

Para aplicações em reforço de aterros sobre solos moles, o equacionamento gerado pela metodologia proposta por Avesani Neto (2013) depende do Fator de Segurança sem a presença do reforço, da geometria do aterro (altura e inclinação do talude), de parâmetros geométricos da geocélula e do ângulo de atrito do material de preenchimento. A equação final é dada na sequência:

$$FS_r = FS_u + 0,5 \frac{f}{H} \left[4 \frac{h}{d} k_0 e \tan \delta + (1 - e) \right] \quad (1)$$

Em que:

FS_r = Fator de Segurança da situação reforçada;

FS_u = Fator de Segurança da situação não reforçada;

f = extensão em planta do talude;

H = altura do aterro;

h/d = razão de forma da geocélula (altura da célula, h , dividida pela sua largura);

K_0 = coeficiente de empuxo em repouso;

δ = é o coeficiente de atrito de interface entre a parede da célula e o material de preenchimento – sugerido por Avesani Neto (2013) como $2/3\phi$, sendo ϕ o ângulo de atrito interno do material de enchimento;

e = adimensional definido como efeito do espraçamento, sendo calculado pela equação a seguir.

$$e = \frac{BL}{(B + 2d)(L + 2d)} \quad (2)$$

Onde:

B = largura do carregamento;

L = comprimento do carregamento.

3 METODOLOGIAS EMPREGADAS PARA A SITUAÇÃO REFORÇADA

A metodologia proposta por Avesani Neto (2013), resumida na equação 1, usa como dado de entrada o Fator de Segurança do mesmo aterro sobre solo mole, porém, sem o uso de reforço. Diferentes métodos podem ser empregados para a sua determinação. No presente estudo, foram empregados três

métodos analíticos consolidados da literatura nacional e internacional: Método de Pinto (1965), Método de Low (1989) e Método de Bishop. Uma breve descrição de cada método é feita na sequência.

3.1 Método de Pinto (1965)

Pinto (1965) analisou o problema de aterros sobre depósitos de solos moles com a coesão crescente linearmente com a profundidade e concluiu que, devido a menor resistência do solo próximo à superfície, os círculos de ruptura tendem a ser mais superficiais. Desta forma, na publicação Pinto (1965) o autor desenvolveu a seguinte formulação da pressão admissível (capacidade de carga):

$$p_u = N_{co} C_o \quad (3)$$

Onde:

N_{co} = fator de carga;

c_o = coesão na superfície do terreno.

Na publicação original, o fator de carga é apresentado em formas de ábacos e dependente da altura do aterro (H), da largura da faixa de carregamento ($2b$), que é a soma da projeção do talude (f – cotangente do ângulo de inclinação do talude) com a largura do platô do aterro (L), da espessura da camada de solo mole de fundação (D), da coesão na superfície do terreno (c_o) e do incremento da coesão com a profundidade (c_1).

Massad (2003) apresenta, como alternativa aos ábacos, expressões matemáticas para obtenção do fator de carga, conforme as equações descritas na sequência. Para o caso de espessura da camada de solo mole finita, o autor recomenda utilizar o maior fator de carga entre as situações finita e infinita.

$$N_{co} \cong 6,1 + 2,1 \frac{c_1 b}{c_o} \Rightarrow \text{para } 0 \leq \frac{c_1 b}{c_o} \leq 2 \text{ e } D = \infty \quad (3)$$

$$N_{co} \cong 7,0 + 1,4 \frac{c_1 b}{c_o} \Rightarrow \text{para } 2 \leq \frac{c_1 b}{c_o} \leq 20 \text{ e } D = \infty \quad (4)$$

$$N_{co} \cong 1,0 + \frac{c_1 b}{c_o} + 1,5 \frac{b}{D} \Rightarrow \text{para } D = \text{finito} \quad (5)$$

Para a determinação do carregamento, Pinto (1965) sugere pesquisar, por tentativas, a ruptura crítica, ou seja, de menor Fator de

Segurança. Esta ruptura crítica pode ser total (englobando toda a extensão do aterro) ou apenas parcial (ocorrendo em um trecho intermediário do aterro). De acordo com o autor, é mais comum ocorrer a ruptura em parte da fundação (ruptura parcial), sendo rara sua ruptura para o aterro inteiro.

3.2 Método de Low (1989)

Low (1989) publicou ábacos que determinam o Fator de Segurança (FS_u) de um aterro sobre o solo mole incorporando não só as características do solo de fundação, mas também os parâmetros de resistência do próprio aterro.

Por este método, o FS_u deve ser calculado para várias superfícies de ruptura a diferentes profundidades (D') na fundação de solo mole, em uma pesquisa da superfície crítica, utilizando a seguinte expressão:

$$FS = N_1 \frac{c}{\gamma_{at} H} + N_2 \left(\frac{c_{at}}{\gamma_{at} H} + \lambda \gamma_{at} \tan \phi_{at} \right) \quad (6)$$

Em que:

N_1 e N_2 = fatores de estabilidade determinados em ábacos que dependem da relação entre a profundidade da superfície crítica de ruptura (D'), altura do aterro (H) e da inclinação do talude do aterro;

c = coesão do solo mole de fundação;

γ_{at} = peso específico do solo do aterro;

H = altura do aterro;

c_{at} = coesão do solo do aterro;

λ = coeficiente determinado por ábacos que dependem da relação entre a profundidade da superfície crítica de ruptura (D') e altura do aterro (H) e da inclinação do talude do aterro;

ϕ_{at} = ângulo de atrito do solo do aterro.

Low (1989) sugere que a influência do crescimento da coesão com a profundidade seja levada em consideração de forma a se obter uma “coesão equivalente” até a profundidade de superfície de ruptura crítica. Para tal, a “coesão equivalente” de toda a camada deve ser obtida pela composição de 35% do valor da coesão na superfície e 65% do valor da coesão na profundidade da superfície crítica de ruptura.

3.3 Método de Bishop

O método de Bishop Simplificado é um método de análise de estabilidade de taludes consagrado no meio técnico-acadêmico. No presente caso foi empregado o software de Equilíbrio Limite Slide v5.0 da empresa Rocscience para a determinação do valor do Fator de Segurança para este método.

4 MODELO NUMÉRICO EMPREGADO

Para avaliação do método de cálculo proposto para a situação reforçada foi assumida a construção de um hipotético aterro sobre uma fundação em solo mole. A avaliação foi conduzida para diferentes alturas do aterro considerando-se um solo de fundação composto por uma argila muito mole com resistência crescente com a profundidade e uma areia como solo de aterro, usado também no preenchimento da geocélula. No modelo empregado, considerou-se drenagem aberta sob a camada de solo mole da fundação.

O solo considerado para a fundação foi uma argila muito mole, com coesão não drenada na superfície igual a 15 kPa e um acréscimo da coesão não drenada com a profundidade de 2 kPa/m. A espessura desta camada de solo mole foi adotada como 5 m. O nível d'água na fundação foi considerado aflorante na superfície.

Para a composição do aterro, foi adotado um solo arenoso, com ângulo de atrito interno de 35°, intercepto de coesão de 5 kPa e peso específico de 18 kN/m³. A altura do aterro foi considerada variando de 1 m a 5 m, de metro em metro, sendo a inclinação do talude igual a 1V:2H.

A Figura 1 apresenta a seção transversal esquemática utilizada, e a Tabela 1 os parâmetros geomecânicos empregados para os solos.

De acordo com diversos autores (Rea e Mitchell 1978, Mitchell et al. 1979, Dash et al. 2001, Avesani Neto 2013), a maior eficiência obtida por um reforço de geocélula ocorre para uma razão de forma próximo de 1. Portanto, para a situação reforçada, foi usado como

reforço uma geocélula com esta razão de forma. Avesani Neto (2013) sugere o uso de uma geocélula com altura superior a 10% da altura do aterro. Assim, foi considerada uma geocélula tanto com altura como largura da célula igual a 80 cm. Considerou-se, ainda, que a geocélula foi composta por material de geogrelha, com resistência à tração igual a 70 kN/m, rigidez de 660 kN/m (a 5% de deformação) e construída diretamente sob o aterro com o mesmo solo empregado neste. O comprimento do reforço de geocélula foi estendido do pé do talude em um valor de 1,60m (2 células, conforme sugestão de Avesani Neto 2013). Detalhes da construção de um reforço de geocélula utilizando tiras de geogrelha pode ser consultado em Bush et al. (1990).

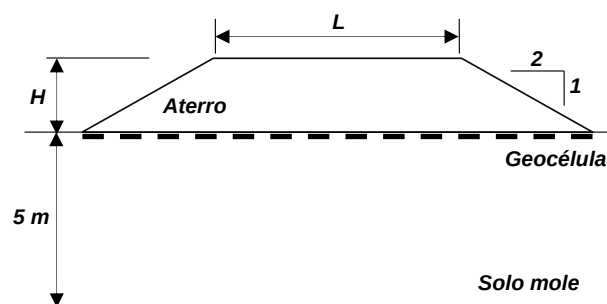


Figura 1. Seção transversal esquemática.

Para avaliação dos métodos de cálculo foram utilizadas simulações numéricas computacionais, pelo software de elementos finitos Plaxis 3D Foundation. O modelo computacional construído tinha por intuito representar uma faixa da seção em tamanho real. As dimensões do modelo eram: profundidade de 2.5 m, comprimento de 15 m e altura de 11 m, sendo os extremos mantidos em condições de continuidade.

A malha gerada continha 6.428 elementos, 19.400 nós, sendo o tamanho médio dos elementos da malha igual a aproximadamente 10 cm. Foi empregado um elemento de interface entre a geocélula e o solo de preenchimento com uma redução de 0,7 da resistência da interface.

Tabela 1. Parâmetros geomecânicos.

Solo	Fundação	Aterro
Tipo de solo	Argila	Areia
Condição	Não drenada	Drenada
γ (kN/m ³)	16	18
c' (kPa)	-	5
ϕ' (°)	-	35
s_u (kPa)	15	-
s_u incremental (kPa/m)	2	-
ν	0.35	0.35
E (MPa)	1.5	40

As etapas de cálculo consideradas nas simulações compreenderam os seguintes passos:

- **Fase inicial:** fase com a geometria inicial do problema composta apenas pela camada de solo mole na qual são geradas as tensões in situ;
- **Camada de reforço:** inserção da camada de reforço de geocélula – apenas para a situação reforçada;
- **Execução das camadas de aterro:** inserção de camadas de 1 m de aterro;
- **Estabilidade global:** cálculo dos Fatores de Segurança após cada uma das fases anteriores utilizando a técnica de redução de ϕ e c .

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Situação Não Reforçada

A Figura 3 apresenta os Fatores de Segurança obtidos pelos métodos supracitados e na simulação por elementos finitos (MEF), para cada altura do aterro. E a Tabela 2, na sequência, mostra o erro (diferença normatizada) do FS_u de cada método em relação ao obtido pelo Plaxis.

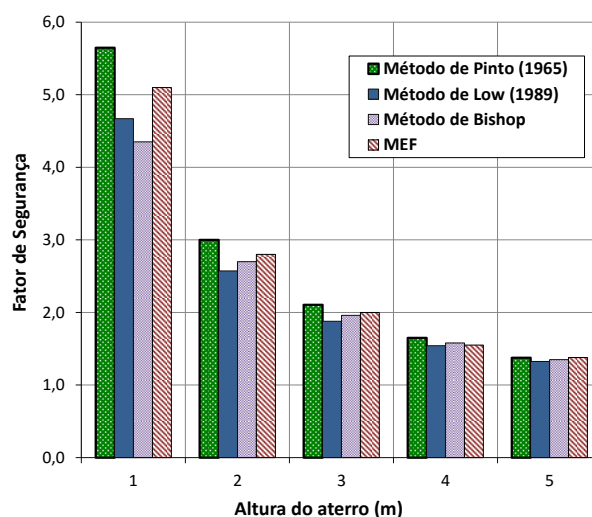


Figura 3. Fatores de Segurança obtidos pelos diferentes métodos para a situação não reforçada.

Tabela 2. Comparação do FS_u de cada método em relação ao MEF.

Altura do aterro, H (m)	Pinto (1965)	Low (1989)	Bishop
1	11%	-8%	-13%
2	7%	-8%	-4%
3	5%	-6%	1%
4	6%	-1%	4%
5	0%	-4%	-2%
Média	6%	6%	5%
Máximo	11%	-1%	4%
Mínimo	0%	-8%	-13%

De forma geral, observa-se que os valores calculados pelos diferentes métodos se mostraram bem próximos a partir de 2 m de altura do aterro, viabilizando o emprego de todos.

Especificamente para cada caso, o método de Pinto (1965) foi o que gerou maiores valores de Fator de Segurança, independente da altura. Para o aterro com 5m de altura, ele foi o que obteve o melhor resultado. Seu erro máximo foi 11% e a sua média foi de 6%.

O método de Low (1989) foi o que teve menor variação, apresentando erros máximos e mínimos dentro da faixa de -1% a -8%, sendo o erro médio também de 6%. Contudo, consistentemente o FS calculado por ele foi sempre abaixo do valor obtido no MEF.

O método de Bishop apresentou a menor média. Contudo, apresentou também a maior variação do erro (-13% a 4%).

5.2 Situação Reforçada

Para os valores considerados para os solos e reforço empregados, tem-se: $h/d = 1$; $\delta = 2/3\phi = 23^\circ$; $K_0 = 0.43$; e (efeito do espraçamento) igual a 1 (devido a reduzida relação da largura da geocélula pela largura do aterro - d/B); f/H constante e igual a 2 (talude com inclinação de 1V:2H). Portanto, empregando-se a equação proposta por Avesani Neto (2013), obtém-se o valor do Fator de Segurança para a situação reforçada (FS_r) em função do Fator de Segurança da situação não reforçada (FS_u) para a dada geometria e características do aterro e do reforço:

$$FS_r = FS_u + 0,5 \cdot \frac{2}{1} \cdot [4 \cdot 1 \cdot 0,43 \cdot 1 \cdot \tan 23^\circ + (1-1)]$$

(8)

∴

$$FS_r = FS_u + 0,73$$

Com os Fatores de Segurança da situação não reforçada calculados no item anterior, foi possível determinar o FS_r usando a equação proposta para cada um dos métodos considerados.

A Figura 4 apresenta os Fatores de Segurança obtidos pela metodologia proposta, que adiciona os métodos supracitados para determinação do Fator de Segurança para a situação não reforçada ao equacionamento desenvolvido por Avesani Neto (2013). A Figura também mostra os resultados pela simulação por elementos finitos (MEF), para cada altura do aterro. E a Tabela 3, na sequência, mostra o erro (diferença normatizada) do FS_r de cada método em relação ao obtido pelo Plaxis.

Inicialmente, verifica-se a elevação do FS com o uso da geocélula. Observa-se uma elevação entre 15% e 50% na segurança devido ao uso da geocélula como reforço. No caso do aterro com 5m, por exemplo, a situação não reforçada apresentou um Fator de Segurança de 1,35, inferior ao mínimo recomendado para uma obra definitiva. Com o uso da geocélula, o FS passou para praticamente 2, um valor quase 50% maior e acima do recomendado para uma obra definitiva.

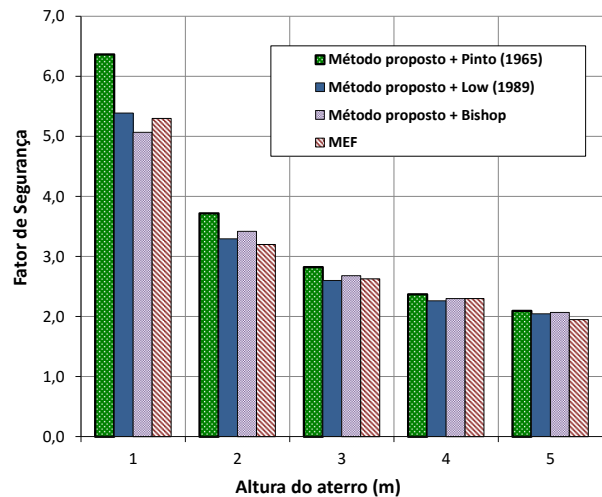


Figura 4. Fatores de Segurança obtidos pelos diferentes métodos adicionados pela metodologia proposta por Avesani Neto (2013) para a situação reforçada.

Tabela 3. Comparação do FS_r de cada método, usando a proposta de Avesani Neto (2013) em relação ao MEF.

Altura do aterro, H (m)	Pinto (1965)	Low (1989)	Bishop
1	20%	2%	-4%
2	16%	3%	7%
3	7%	-1%	2%
4	3%	-2%	0%
5	7%	5%	6%
Média	11%	2%	4%
Máximo	20%	5%	7%
Mínimo	3%	-2%	-4%

De maneira geral, observa-se que os valores calculados pela metodologia proposta por Avesani Neto (2013), usando os diferentes métodos não reforçados, geraram valores adequados comparado ao MEF, mostrando viabilidade de aplicação. A partir do segundo metro de altura do aterro todos os métodos se ajustaram de forma satisfatória ao equacionamento proposto.

O método de Pinto (1965) mais uma vez foi o que gerou maiores valores de Fator de Segurança, independente da altura. Parte deste valor superestimado do FS_r se deve ao cálculo já mais elevado do FS_u . Sua faixa de erro variou de 3% a 20%, sendo a média igual a 11%. Para o caso reforçado, o método de Low (1989) foi o que teve menor variação, apresentando erros máximos e mínimos dentro da faixa de -2% a -5%, e menor erro médio (2%).

O método de Bishop apresentou uma

variação intermediária entre os métodos (-4% a 7%), assim como a média (4%).

Avesani Neto (2013) complementou as análises aqui descritas com outras simulações variando as características do solo mole de fundação, do solo do aterro e de sua geometria. Igualmente foram empregados os mesmos métodos para obtenção do Fator de Segurança não reforçado, e em todos os casos a metodologia proposta calculou Fatores de Segurança muito próximos aos obtidos pelas simulações numéricas.

4 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma avaliação de uma metodologia de cálculo de aterros reforçados com geocélulas sobre solos moles proposta por Avesani Neto (2013). O equacionamento proposto é um ajuste de um método de cálculo de melhora da capacidade de carga devido ao uso da geocélula, avaliado por meio de ensaios de placa de laboratório (Avesani Neto 2013; Avesani Neto et al. 2013, 2014a, 2014b, 2015a, 2015b, 2015c). Esta metodologia empregou os métodos de Pinto (1965), Low (1989) e Bishop para a determinação do Fator de Segurança da situação não reforçada, parâmetro de entrada do equacionamento proposto, e foi avaliada por meio de simulações numéricas por um software de elementos finitos tridimensional – Plaxis 3D Foundation. Com base nos resultados, as seguintes conclusões podem ser feitas:

- Pelas simulações com elementos finitos se verificou que o reforço do aterro com geocélula possibilitou elevar os Fatores de Segurança em até 50%;
- As três metodologias de determinação do Fator de Segurança de aterros sobre solos moles sem a presença de reforço (Pinto, 1965, Low, 1989 e Bishop) calcularam valores muito próximos dos obtidos nas simulações numéricas, para todas as alturas do aterro;
- O equacionamento proposto se mostrou efetivo na determinação do Fator de Segurança do aterro com o reforço de geocélula em função dos resultados obtidos

por elementos finitos. Pela metodologia desenvolvida, usando os métodos citados para a determinação do FS_u , foram obtidos valores com erros médios inferiores a cerca de 10%. O método de Low (1989) foi o que melhor se ajustou a metodologia proposta por Avesani Neto (2013) para a situação reforçada, gerando um erro na faixa de -2% a 5% em relação ao MEF;

- Do obtido destas análises, pode-se concluir que o modelo de cálculo proposto para aplicações em reforço de aterros sobre solos moles, se mostrou uma alternativa simples e aplicável no cálculo do reforço do aterro em termos de Fator de Segurança. Por fim, vale salientar que o método proposto é uma forma mais simples e direta de aplicação, mas que consegue fornecer resultados compatíveis com os obtidos por software tridimensional de elementos finitos, o qual demanda um elevado consumo computacional e de recursos financeiros (software) e de tempo para a modelagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Escola de Engenharia de São Carlos e a Escola Politécnica, ambas da Universidade de São Paulo (EESC e Poli - USP) pela oportunidade de estudo a Geo Soluções Strata Company pelo o apoio.

REFERÊNCIAS

- Avesani Neto, J. O. (2013). *Desenvolvimento de uma metodologia de cálculo e simulações numéricas aplicadas na melhora da capacidade de carga de solos reforçados com geocélula*. Tese de Doutorado da da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, p. 336.
- Avesani Neto, J. O., Bueno, B. S. e Futai, M. M. (2013). A bearing capacity calculation method for soil reinforced with a geocell. *Geosynthetics International*, 20, No. 3, p. 129-142.
- Avesani Neto, J. O., Bueno, B. S. e Futai, M. M. (2014a). Desenvolvimento de um método de cálculo de solo reforçado com geocélula e avaliação por meio de ensaios de placa de laboratório. *COBRAMSEG 2014*.

- Avesani Neto, J. O., Bueno, B. S. e Futai, M. M. (2014b). Avaliação de métodos de cálculo de capacidade de carga de reforço com geocélula por meio de ensaios de placa de laboratório. *COBRAMSEG 2014*.
- Avesani Neto, J. O., Bueno, B. S. e Futai, M. M. (2015a). Design of a calculation methodology applied in bearing capacity improvement. *15th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*.
- Avesani Neto, J. O., Bueno, B. S. e Futai, M. M. (2015b). Evaluation of bearing capacity calculation methods. *15th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*.
- Avesani Neto, J. O., Bueno, B. S. e Futai, M. M. (2015c). Instrumentação de ensaios de placa em solos reforçados com geocelulas e comparação dos resultados com métodos de cálculo. *REGEO 2015*.
- Avesani Neto, J. O., Bueno, B. S. e Futai, M. M. (2015d). Evaluation of a calculation method for embankments reinforced with geocells over soft soils using finite-element analysis. *Geosynthetics International*, No.-, p. 1-13.
- Bathurst, R.J. e Jarrett, P.M. (1988). Large-Scale Model Tests of Geocomposite Mattresses Over Peat Subgrades. *Transportation Research Record*, 1188, p. 28-36.
- Bush, D. I., Jenner, C. G. e Bassett, R. H. (1990). The design and construction of geocell foundation mattress supporting embankments over soft ground. *Geotextiles and Geomembranes*, 9, No. 1, 83-98.
- Costa Nunes, A. J. e Velloso, D. A. (1961). Problèmes géotechniques de la traversée du Guaíba. *Proceeding of the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Paris, France, pp. 207-216.
- Cowland, J. W. e Wong, S. C. K. (1993). Performance of a road embankment on soft clay supported on a geocell mattress foundation. *Geotextiles and Geomembranes*, 12, No. 8, 687-705.
- Dash, S.K., Krishnaswamy, N.R. e Rajagopal, K. (2001). Bearing capacity of strip footings supported on geocell-reinforced sand. *Geotextile and Geomembranes* 19, p. 235-256.
- Jakobson, B. (1948). The design of embankments on soft clays. *Géotechnique*, 1, No. 2, 80-89.
- Jenner, C. G., Bush, D. I. e Bassett, R. H. (1988). The use of slip line fields to assess the improvement in bearing capacity of soft ground given by a cellular foundation mattress installed at the base of an embankment. *Proc. Int. Geotech. Symp. Theory and Practice of Earth Reinforcement*, Rotterdam, The Netherlands, pp. 209-214.
- Koerner, R.M. (1994). *Designing with Geosynthetics*, Englewood Cliffs, third ed. Prentice Hall, New Jersey, USA, p. 424.
- Krishnaswamy, N. R., Rajagopal, K. e Madhavi Latha, G. (2000). Model studies on geocell supported embankments constructed over a soft clay foundation. *Geotechnical Testing Journal*, 23, No. 2, 45-54.
- Low, B. (1989). Stability analysis of embankments on soft ground. *Journal of Geotechnical Engineering*, 115, No. 2, 211-227.
- Madhavi Latha, G. (2008). Design of Geocell Reinforcement for Supporting Embankments on Soft Ground. *12th IACMAG*, Goa.
- Madhavi Latha, G., Rajagopal, K. e Krishnaswamy, N.R. (2006). Experimental and Theoretical Investigations on Geocell-Supported Embankments. *International Journal of Geomechanics*, 6(1), p. 30-35.
- Pinto, C. S. (1965). Capacidade de carga de argilas com coesão linearmente crescente com a profundidade. *Jornal de Solos*, v.3, nº1. pp. 235-264.
- Zhang, L., Zhao, M., Shi, C. e Zhao, H. (2010). Bearing capacity of geocell reinforcement in embankment engineering. *Geotextiles and Geomembranes*, 28, p. 475-482.