

Desenvolvimento de um método de cálculo de reforço de aterros sobre solos moles usando geocélulas

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, futai@usp.br

RESUMO: O presente artigo apresenta o desenvolvimento de um método de cálculo de reforço de aterros sobre solos moles usando uma camada de geocélula em sua base. O equacionamento proposto para esta aplicação é um ajuste de um método previamente desenvolvido, e verificado, para o cálculo da capacidade de carga de solos reforços com a geocélula. O método original considera a contribuição da fundação, o tipo de solo de preenchimento e a geometria do carregamento e da geocélula. No ajuste desenvolvido, o método passa a considerar, em adição aos parâmetros já citados, a inclinação do talude do aterro e o seu peso próprio. O método desenvolvido propõe usar Fatores de Segurança calculados para a situação não reforçada, por qualquer metodologia, e somar um termo dependente do reforço de geocélula de forma a obter o Fator de Segurança da situação reforçada. A aplicação do equacionamento proposto foi verificada empregando-se o método de Bishop para a determinação do Fator de Segurança não reforçado e os resultados foram comparados com análises pelo Método dos Elementos Finitos tridimensionais.

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos, Reforço 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.

De acordo com a (BS 8006, 1995), de forma geral o reforço na base do aterro atua evitando três mecanismos de instabilização: a extrusão do solo mole da fundação, o espraçamento lateral do aterro e a ruptura global por

escorregamento rotacional, considerada na maior parte dos casos a situação mais crítica. Dentre estes processos, normalmente, a única verificação utilizada nos projetos é a de ruptura global, porque é um tratamento similar ao que se faz para aterros convencionais. O movimento lateral do aterro é pouco comum de ocorrer e a extrusão do aterro deve ser verificada no caso em que a espessura de solo mole é pequena em relação à dimensão do aterro, situação em que não há profundidade disponível para a formação da cunha pela ruptura global.

Sendo a análise de estabilidade global a mais utilizada nos projetos, está também é a mais discutida na literatura técnica. A sua verificação pode ser feita por equilíbrio limite, teoria da plasticidade ou métodos numéricos (como

MEF). Nas análises por equilíbrio limite, na qual o reforço contribui para aumentar o momento resistente e, conseqüentemente, melhorar a estabilidade global, destacam-se os seguintes estudos: Jewell (1982), Milligan e La Rochelle (1984), Rowe e Söderman (1985), Low et al. (1990), Bergado et al. (1994), Palmeira et al. (1998). Usando a teoria da plasticidade, destacam-se os trabalhos de Rowe e Soderman (1987) e Jewell (1996).

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). Diversos autores citaram o uso de forma satisfatória da geocélula no reforço de aterro sobre solos moles, situação onde foi observada redução dos deslocamentos e melhora da capacidade de suporte da fundação. Cowland and Wong (1993) apresentaram uma aplicação de geocélula como reforço de um aterro de rodovia sobre solo mole em Hong Kong. Krishnaswamy et al. (2000) e Zhang et al. (2010) realizaram ensaios em modelo reduzido de um aterro reforçado com geocélula sobre fundação de solo mole e verificaram tanto a melhora do reforço como a redução dos recalques no aterro.

Apesar do elevado registro de ensaios, simulações e aplicações de reforço de geocélula em aterros sobre solos moles, poucos métodos de cálculo foram desenvolvidos. Jenner et al. (1988) propuseram um método baseado na teoria da plasticidade para determinar a capacidade de carga da fundação, e o reforço de geocélula é considerado como uma camada de solo granular equivalente. Madhavi Latha et al. (2006) realizaram ensaios de aterros reforçados com geocélulas sobre solos moles em modelo reduzido e propuseram um método simplificado de projeto, no qual o reforço é considerado como uma camada de solo coesivo equivalente. Madhavi Latha (2008) propôs um método de cálculo com base em análises por elementos finitos, no qual novamente o reforço de geocélula é considerado como uma camada de solo equivalente.

Neste mesmo âmbito e complementando as pesquisas citadas, o presente artigo propõe e

apresenta o desenvolvimento de um método de cálculo de reforço de aterros sobre solos moles usando a geocélula e avalia este método por meio de análises de elementos finitos tridimensional.

2 METODOLOGIA DESENVOLVIDA PARA A SITUAÇÃO REFORÇADA

O presente artigo tem por intuito apresentar a adaptação do método de cálculo do Fator de Segurança da capacidade de carga de aterros não reforçados para a situação reforçada com geocélula, conforme a metodologia proposta por Avesani Neto (2013). Neste estudo foi desenvolvido um método de cálculo da capacidade de carga de solos reforçados com geocélulas que considera dois mecanismos de reforço da geocélula: o efeito laje e o efeito do confinamento. A equação final proposta pelo autor considera um balanço de força na camada de geocélula e determina que a tensão que atua na fundação (sob o colchão de geocélula) é igual a tensão aplicada na superfície (sobre o colchão de geocélula), menos uma tensão dissipada na geocélula pelos efeitos laje e do confinamento. Por fim, o autor estabelece que a capacidade de carga do solo reforçado é igual a capacidade de carga do solo não reforçado (contribuição da fundação) somada pela melhora fornecida pelo reforço (tensão dissipada na camada de geocélula). O equacionamento final desenvolvido por Avesani Neto (2013) é apresentado na sequência.

$$p_r = p_u + 4 \frac{h}{d} k_0 p e \tan \delta + (1 - e) p \quad (1)$$

Em que:

p_r = capacidade de carga do solo reforçado com geocélula;

p_u = capacidade de carga do solo de fundação;

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

K_0 = coeficiente de empuxo em repouso;

p = é a carga aplicada na superfície sobre a geocélula;

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 espraimento, sendo calculado pela equação a seguir.

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

Onde:

B = largura do carregamento;

L = comprimento do carregamento.

Este método foi avaliado de forma satisfatória por meio de diversos ensaios de placa de laboratório com diferentes características como tipo e resistência do solo de preenchimento e de fundação, tipo, geometria e material constituinte da geocélula e formato e dimensão do carregamento, além de instrumentações com células de tensão sobre a camada de geocélula (Avesani Neto 2013; Avesani Neto et al. 2013, 2014a, 2014b, 2015a, 2015b, 2015c).

O mecanismo de reforço da geocélula para aterros sobre solos moles possui uma pequena alteração em relação aquele inicialmente apresentado por Avesani Neto (2013). De acordo com diversos autores (Jakobson 1948, Costa Nunes and Veloso 1961, Pinto 1965, Low 1989), no caso de aterros sobre solos moles, é usual que a ruptura ocorra somente em uma parte da fundação, geralmente próximo ao talude do aterro. Desta forma, o trecho solicitado, reforçado com a geocélula, não está sob o carregamento total do aterro (γH), mas apenas com parte do carregamento correspondente a geometria triangular do talude, carregamento este que diminui o confinamento dentro da geocélula e, por consequência, reduz a sua contribuição. Portanto, um fator de correção para esta situação é necessário de forma a adequar a contribuição da geocélula para um confinamento menor.

No presente artigo, propõe-se o emprego de um fator que relaciona o carregamento correspondente à área triangular do talude com um carregamento constante, pelo qual foi desenvolvido o equacionamento do reforço da

geocélula. Para esta transformação, emprega-se a área do triângulo que forma o talude do aterro, transformando esta carga em um carregamento médio igual à metade da carga da altura do aterro. Sendo a área do triângulo igual à metade de sua altura multiplicada pela sua base, têm-se que o carregamento médio no trecho do talude é igual à metade do peso específico do solo do aterro multiplicado pela altura deste, conforme a Figura 1.

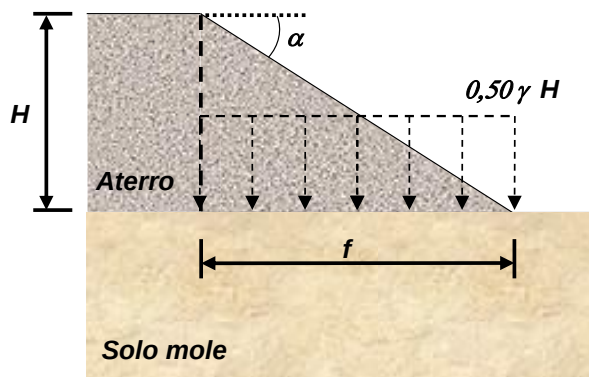


Figura 1. Carregamento equivalente no talude.

Por fim, há a necessidade de considerar a inclinação do talude do aterro na redução/aumento da eficiência do reforço de geocélula. Assim, para taludes mais íngremes, há uma brusca redução do confinamento da geocélula, com consequente diminuição da eficiência do reforço. Por outro lado, para taludes muito abatidos, o confinamento da geocélula se mantém, fornecendo uma maior eficiência do reforço. Portanto, propõe-se o desenvolvimento de um ajuste da eficiência do confinamento em função do ângulo (α) de inclinação do talude por meio do inverso de sua tangente (Figura 1).

Desta forma, considerando o exposto acima, e em função da Figura 1, desenvolveu-se a equação apresentada na sequência, que exprime este fator, nomeado como eficiência do reforço (η). A equação nada mais é que uma razão entre o carregamento médio gerado pelo talude (com forma triangular) por um carregamento constante (considerado na formulação proposta por Avesani Neto 2013), ajustado pela inclinação do talude (inverso da tangente do ângulo de inclinação, α).

$$\eta = \frac{\text{Carregamento talude}}{\text{Carregamento constante}} \cdot \text{inclinação do talude}$$

$$\eta = \frac{0,5\gamma H}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\tan(\alpha)} \quad (3)$$

$$\eta = 0,5 \frac{f}{H}$$

Onde

f = extensão em planta do talude;

H = altura do aterro.

Adicionando esta eficiência do reforço no modelo de cálculo proposto, o equacionamento do reforço de solos moles com a geocélula será:

$$p_r = p_u + \left[4 \frac{h}{d} k_0 p e \tan \delta + (1-e)p \right] \eta \quad (4)$$

Isolando o carregamento (p), a equação anterior pode ser retrabalhada de forma a se agrupar as constantes envolvidas criando um fator adimensional denominado fator de reforço da geocélula (I_G), fator esta função apenas da geocélula:

$$p_r = p_u + \left[4 \frac{h}{d} k_0 e \tan \delta + (1-e) \right] p \eta \quad (5)$$

$$p_r = p_u + I_G p \eta$$

O Fator de Segurança é resultante da divisão da resistência disponível (capacidade de carga do solo reforçado, p_r) pela solicitação (carregamento aplicado, p). Assim, retrabalhando a equação anterior, dividindo ambos os termos pelo carregamento aplicado (p), obtém-se uma relação entre os Fatores de Segurança na condição reforçada (FS_r) e não reforçada (FS_u), dependente do fator de reforço da geocélula (I_G):

$$\frac{p_r}{p} = \frac{p_u}{p} + \frac{I_G p \eta}{p}$$

$$FS_r = FS_u + I_G \eta \quad (6)$$

Substituindo os termos da eficiência do reforço (η) e do fator de reforço da geocélula (I_G), tem-se o equacionamento final:

$$FS_r = FS_u + 0,5 \frac{f}{H} \left[4 \frac{h}{d} k_0 e \tan \delta + (1-e) \right] \quad (7)$$

3 AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO POR ELEMENTOS FINITOS

3.1 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 2 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).

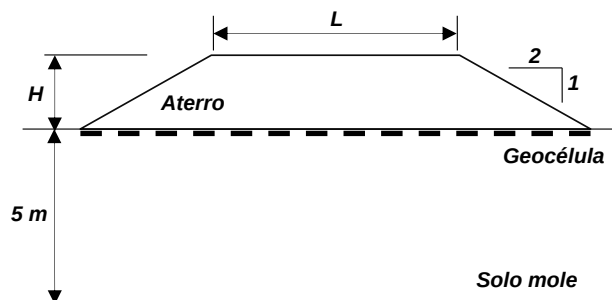


Figura 2. Seção transversal esquemática.

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

Para avaliação do método 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.

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 .

3.2 Determinação dos Fatores de Segurança para a Situação Não Reforçada

Para a determinação do FS para a situação não reforçada foi utilizando o Método de Bishop. Foi empregado o software de Equilíbrio Limite Slide v5.0 da empresa Rocscience na determinação do Fator de Segurança para as diferentes alturas do aterro sem reforço. Este resultado está exposto na Figura 5 e na Tabela 2 apresentadas no item a seguir.

3.3 Determinação dos Fatores de Segurança para a Situação Reforçada

Para a determinação do FS para a situação reforçada foi utilizando técnica de redução de ϕ e c do Plaxis 3D Foundation.

A Figura 3 apresenta as etapas de cálculo e os valores de Fator de Segurança convergido para cada altura do aterro pelo MEF. Os valores dos FS_r obtidos também estão expressos na Figura 4 e na Tabela 2 no item a seguir.

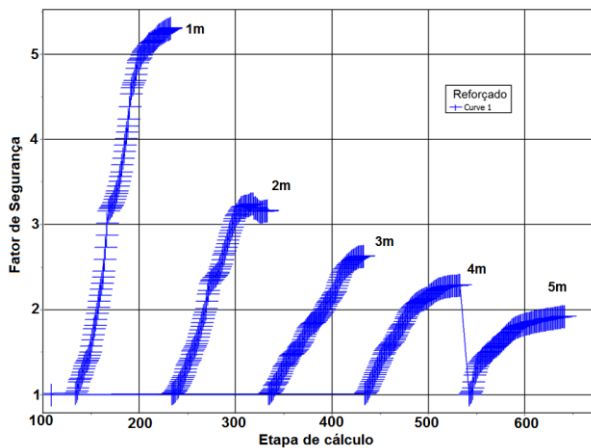


Figura 3. Fatores de Segurança obtidos pelo MEF para a situação reforçada.

3.4 Determinação dos Fatores de Segurança pelo Método Proposto e Análise dos Resultados

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) adaptada para o trecho de talude do aterro (equação 7), 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:

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

$$\therefore FS_r = FS_u + 0,73 \quad (8)$$

Com os Fatores de Segurança da situação não reforçada calculados no item anterior, foi possível determinar o FS_r usando a equação proposta, cujos valores são apresentados na Figura 4 e na Tabela 2 a seguir.

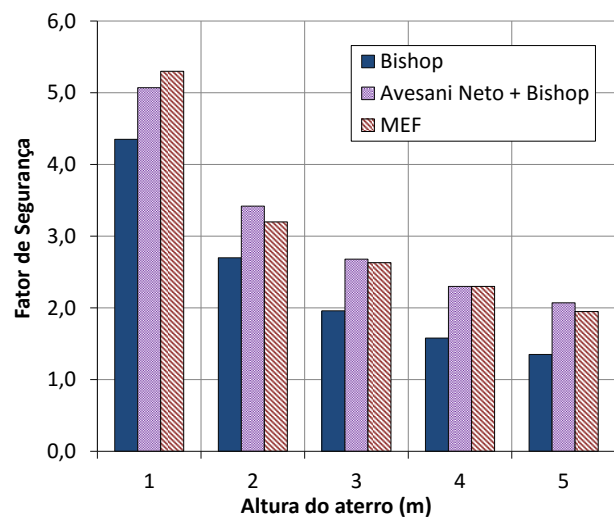


Figura 4. Fatores de Segurança obtidos pelos diferentes métodos.

Tabela 2. Fatores de Segurança obtidos pelos diferentes métodos.

H (m)	FS _u	FS _r		Erro
	Bishop	Avesani Neto+Bishop	MEF	Avesani Neto+ Bishop/MEF
1	4,42	5,09	5,30	-4%
2	2,68	3,41	3,20	7%
3	2,03	2,76	2,63	5%
4	1,61	2,34	2,30	2%
5	1,35	2,08	1,95	7%

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.

Pelos resultados expostos na Figura 4 e na Tabela 2, verifica-se que o equacionamento proposto, utilizando o Método de Bishop para a determinação do FS não reforçado, se mostrou satisfatório para prever a segurança de um aterro reforçado com geocélula sobre solo mole. Este método proposto conduziu a valores muito próximos aos obtidos pelas análises em elementos finitos para todas as alturas do aterro

analisadas. Considerando-se duas casas decimais, o maior erro obtido, do método proposto em relação ao MEF, foi de 7%, sendo que o erro médio para as cinco alturas analisadas foi de 5%.

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. Foram empregados outros métodos para obtenção do Fator de Segurança não reforçado, como o Método de Pinto (1965) e de Low (1989). Em todos os casos a metodologia proposta calculou Fatores de Segurança muito próximos aos obtidos pelas simulações numéricas.

4 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma proposta de metodologia de cálculo de aterros reforçados com geocélulas sobre solos moles. 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, 2015d). Este equacionamento foi avaliado 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%;
- 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 o método de Bishop para a determinação do FS_u , a maior diferença obtida em comparação com o MEF foi de 7%, sendo a média para todas as alturas igual 5%;
- 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 melhoria 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.
- Bergado, D. T., Long, P. V., Lee, C. H., Loke, K. H. e Werner, G. (1994). Performance of reinforced embankment on soft bangkok clay with high-strength geotextile reinforcement. *Geotextiles and Geomembranes*, 13, No. 6-7, 403-420.
- BS 8006 (1995). *Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills*. British Standards Institute, London, United Kingdom, 197 p.
- Bush, D. I., Jenner, C. G. & 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. & 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. & 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. & 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.
- Jewel, R. A. (1982). A limit equilibrium design method for reinforced embankments on soft foundations. *Proceedings of Second International Conference on Geotextiles*, 2, Las Vegas, USA, pp. 671-676.
- Jewel, R. A. (1996). *Soil Reinforcement with geotextiles*, CIRIA and Thomas Telford, London, United Kingdom, 332 p.
- Koerner, R.M. (1994). *Designing with Geosynthetics*, Englewood Cliffs, third ed. Prentice Hall, New Jersey, USA, p. 424.
- Krishnaswamy, N. R., Rajagopal, K. & 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.
- Milligan, V. & La Rochelle, P. (1984). Design methods for embankments over weak soils. *Proceedings Symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering*, Institution of Civil Engineers, London, pp. 95-102.
- Palmeira, E. M., Pereira, J. H. F. & Silva, A. R. L. (1998). Backanalyses of geosynthetic reinforced embankments on soft soils. *Geotextiles and Geomembranes*, 16, No. 5, 273-292.
- 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.
- Rowe, R. H. & Soderman, K. L. (1985). An approximate method for estimating the stability of geotextile reinforced embankments. *Canadian Geotechnical Journal*, 22, No. 3, 392-398.
- Rowe, R. H. & Soderman, K. L. (1987). Reinforcement of embankments on soils whose strength increases with depth. *Proceedings of Geosynthetics '87*, New Orleans, pp. 266-277.
- 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.