

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Avaliação de um método de determinação do fator de melhora do módulo (MIF) de solos reforçados com geocélulas usando ensaios de campo e laboratório

Garcia, Robinson Siqueira

Mestrando, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, robinson.garcia@usp.br

Avesani Neto, José Orlando

Professor Doutor, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, avesani@usp.br

RESUMO: O objetivo do artigo é apresentar a análise de um modelo apresentado por Garcia & Avesani Neto (2021) para a estimativa do Fator de Melhora do Módulo (MIF) ao utilizar geocélulas como reforço do solo, comparando com dados obtidos em ensaios de carregamento de placa e defletoométricos, separados em 11 casos. A comparação mostrou que a previsão que o modelo faz do MIF é compatível com os resultados obtidos nos testes analisados.

PALAVRAS-CHAVE: Fator de Melhora do Módulo, Geocélula, Infraestrutura de Transportes, Ensaio de Carregamento de Placa.

ABSTRACT: This article presents an analysis of a model developed by Garcia & Avesani Neto (2021) which estimates the Modulus Improvement Factor in geocell reinforced soil. For that, results of load plate and FWD tests, separated in 11 cases, were compared with this model. This analysis shows that the model does a compatible estimation of the MIF obtained in the analyzed tests.

KEYWORDS: Modulus Improvement Factor, Geocell, Transport Infrastructure, Load Plate Test.

1 Introdução

A utilização de geocélulas em camadas de solo é uma aplicação geralmente utilizada em obras de infraestruturas de transportes. A incorporação do reforço na matriz (geralmente brita ou areia) faz com que a rigidez do compósito se eleve. O aumento de módulo pode ser expresso pelo fator de melhora do módulo (MIF, da sigla em inglês) que é a razão entre o módulo de elasticidade da camada de solo reforçada e o módulo sem o reforço (Equação 1).

$$\text{MIF} = E_{SG}/E_{un} \quad (1)$$

O trabalho de Garcia & Avesani Neto (2021) apresentou uma proposta de modelo analítico para a estimativa do MIF, considerando os parâmetros constitutivos do solo, os parâmetros elásticos e geométricos da geocélula e o efeito da compactação prévia. Esse artigo visa destacar a comparação do modelo com a análise de ensaios de placa e defletoométricos. Maiores detalhes do modelo e das comparações aqui apresentadas podem ser obtidos no trabalho original.

2 Breve revisão do modelo

De acordo com Garcia & Avesani Neto (2021), o MIF pode ser estimado a partir das equações (2) a (7):

$$\text{MIF} = [\min(K_r; 1)/K_{aa}]^n + 0,5(1/K_{aa})^n/(\beta_2 k_u/k) \quad (2)$$

$$K_{aa} = K_a/[(1 - K_a)/R_f + K_a] \quad (3)$$



$$\beta_2 = \frac{kP_{a\text{deq}}}{2J} \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)^n = \frac{(k/k_u)[K_r^{1-n} - (K_c \text{OCR})^{1-n}][1 + v_d + v_d \frac{1}{K_2}]}{(1-n)[(K_r - K_c \text{OCR}) - (K_{aa} - K_{aa} \text{OCR})]} \quad (4)$$

$$\beta_1 = \frac{kP_{a\text{deq}}}{2J} \left(\frac{\sigma'_{vc}}{P_a} \right)^n = \frac{kP_{a\text{deq}}}{2J} \left(\frac{\sigma'_{v0} \text{OCR}}{P_a} \right)^n = \frac{K_c^2 (1 - K_{aa})^2 [v_0 - K_c (1 - v_0)]}{K_c^n (K_c - K_{aa})^3 (1 - n)} \quad (5)$$

$$v_0 = \frac{K_0}{1 + K_0}, \text{ com } K_0 = 1 - \tan \varphi' \quad (6)$$

$$v_d = \frac{K_d}{1 + K_d}, \text{ com } K_d = K_0 \times \frac{\text{OCR} - \text{OCR}^{\tan \varphi'}}{\text{OCR} - 1} \quad (7)$$

Sendo K_r e K_a os coeficientes de empuxo residual e o coeficiente de empuxo ativo de Rankine, k , k_u , n e R_f parâmetros do modelo hiperbólico para o solo (Duncan et al., 1980), φ' o ângulo de atrito efetivo do solo, d_{eq} o diâmetro equivalente do círculo de mesma área da célula aberta, J o módulo de rigidez da parede da geocélula, β_1 e β_2 os índices de extensibilidade relativa solo/geocélula, σ'_{v0} a tensão vertical geostática do centro da camada considerada e OCR a razão entre a tensão vertical aplicada na compactação (σ'_{vc}) e a tensão geostática.

A formulação permitiu a criação de ábacos para a aplicação mais prática do modelo. Esses ábacos podem ser observados em Garcia & Avesani Neto (2021).

3 Comparação com os ensaios

Dados de 13 trabalhos descrevendo ensaios realizados com geocélulas foram coletados e separados em 11 casos. Os casos estudados estão resumidamente apresentados na Tabela 1. Os tipos de ensaios majoritariamente foram ensaios de carregamento de placa, variando entre ensaios estáticos (monotônicos) e cíclicos e um caso com ensaios com medida de deflexão do pavimento (Al-Qadi & Hughes, 2000).

Os 11 casos foram separados em 3 grandes grupos: 1) Ensaios em laboratório com uma célula isolada; 2) Ensaios de laboratório com múltiplas células e; 3) Ensaios realizados em campo.

Em vários trabalhos ocorreu a falta de informações em relação aos parâmetros necessários para a entrada do modelo. Na falta desses dados, buscou-se estimar esses parâmetros com base na literatura. Os dados faltantes do modelo hiperbólico foram estimados conforme Duncan et al. (1980) e Trautmann et al. (1983). Parâmetros faltantes sobre a geocélula foram estimados por comparação de catálogos de materiais similares ao apresentado nos trabalhos. Para a compactação, nos casos onde não é descrito o processo de compactação ou a disposição do solo foi realizado com o método de chuva de areia, considerou-se não haver compactação prévia (i.e., OCR = 1). Nos casos onde é mencionado o uso de compactador, buscou-se equipamento similar ao descrito e estimou-se a tensão de compactação conforme formulação proposta em Ehrlich & Mitchell (1994).

Mais detalhes de como os dados foram extraídos podem ser lidos em Garcia & Avesani Neto (2021).

3.1 Ensaios de laboratório com uma célula – Casos 1 a 3

Os casos com uma única célula têm sua importância nessa comparação devido a maior similaridade do ensaio com a idealização do modelo desenvolvido. Em todos os casos desse grupo, foi considerado que não houve compactação prévia. Além disso, todos os subleitos dos casos dessa seção podem ser considerados rígidos.

No Caso 1, correspondente ao artigo de Han et al. (2008), o valor do MIF foi obtido partir dos resultados da retroanálise do ensaio de placa utilizando análise numérica feita pelos autores desse trabalho.

No trabalho de Pokharel et al. (2010), apresentado como o Caso 2, quatro tipos diferentes de geocélula, com diferentes módulos de rigidez foram ensaiados. Nos Casos 1 e 2, os autores utilizaram areia proveniente da região do Rio Kansas (classificado como SP), material cujo parâmetros hiperbólicos pode ser extraído em Yang et al. (2010).

Em relação ao Caso 3, correspondente aos resultados dos ensaios com uma célula apresentado por Pokharel et al. (2018), foi utilizado um dos tipos de geocélula utilizados em Pokharel et al. (2010), utilizando como material de preenchimento rejeito de pedra (SP-SC) e agregado britado (GW/GC).



Tabela 1. Casos analisados na comparação com o modelo (adaptado de Garcia & Avesani Neto, 2021).

Caso	Situação	Condição	Tipo de ensaio	Referencia	Geocélula	Altura GCE h (mm)	Classificação do solo (USCS)
1	Laboratório	Única célula	Placa estático	Han et al. (2008)	PEAD	50	SP
2	Laboratório	Única célula	Placa estático	Pokharel et al. (2010)	PEAD	100	SP
					NPA	100	SP
					NPA	100	SP
					NPA	100	SP
3	Laboratório	Única célula	Placa Cíclico	Pokharel et al. (2018)	NPA	100	SP-SC
					NPA	100	GW-GC
4	Laboratório	Múltiplas células	Placa estático	Biswas et al. (2013, 2016) e Biswas & Krishna (2017, 2018)	GG	80	SP
					GG	158	SP
					GG	236	SP
					GG	314	SP
5	Laboratório	Múltiplas células	Placa Cíclico	Tanyu et al. (2013)	PEAD	150	GP-GM
					PEAD	200	GP-GM
					PEAD	150	GP-GM
					PEAD	200	GP-GM
6	Laboratório	Múltiplas células	Placa Cíclico	Pokharel et al. (2018)	NPA	100	SP
					NPA	100	SP-SC
					NPA	100	GW-GC
7	Laboratório	Múltiplas células	Placa Cíclico	Pokharel (2010)	NPA	150	GW-GC
					NPA	300	GW-GC
8	Laboratório	Múltiplas células	Placa Cíclico	George et al. (2019)	PEAD	100	SW
9	Campo	Múltiplas células	FWD	Al-Qadi & Hughes (2000)	NPA	100	SP-SC
10	Campo	Múltiplas células	Placa ^a	Rajagopal et al. (2012)	NPA	100	GW-GC
11	Campo	Múltiplas células	Placa Cíclico	Saride et al. (2016)	PEAD	150	GW ou GP

^a: Sem informações se o carregamento era estático ou cíclico

PEAD: Polietileno de alta densidade

NPA: Liga polimérica

GG: Geocélula produzida com faixas de geogrelhas

FWD: Falling Weight Deflectometer

A Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros adotados no modelo, os valores dos MIF apresentados nos casos analisados (MIF_{exp}) e os obtidos pelo modelo desenvolvido (MIF_{calc}). A comparação mostra a consistência do modelo, obtendo diferenças entre os valores experimentais e calculados pelo modelo entre 0,03 e 0,35, o que corresponde a um erro relativo entre 2% e 18%, com a tendência de subestimar o valor do MIF.

3.2 Ensaios de laboratório com múltiplas células – Casos 4 a 8

Apesar da importância teórica do primeiro grupo, o uso de geocélulas ocorre com a utilização de um painel de células preenchidas, trabalhando em conjunto. As células adjacentes à célula carregada também contribuem para o maior confinamento. Portanto, a comparação com o modelo com esse segundo grupo de ensaios é importante para observar se esse efeito do trabalho em conjunto das células não considerado no



modelo alteraria a predição do MIF de modo significativo. Por outro lado, esse grupo de ensaios ainda tem condições de contorno controladas em laboratório.

Tabela 2. Ensaios com uma célula - MIF experimental e estimado (adaptado de Garcia & Avesani Neto, 2021).

Caso	d_{eq} (mm)	J (kN/m)	h (mm)	ϕ' (°) ^a	k ^a	n ^a	OCR ^c	β_2	MIF _{exp}	MIF _{calc}
1	183	250	50	45	555	0,4	1	2,7	1,88	1,62
	205	465	100	40	555	0,4	1	2,0	1,50	1,63
2	205	390	100	40	555	0,4	1	2,4	1,60	1,57
	205	385	100	40	555	0,4	1	2,5	1,70	1,57
	205	484	100	40	555	0,4	1	2,0	2,00	1,65
3	175	390	100	45	1200	0,4	1	4,7	1,26	1,44
	175	390	100	45	900	0,4	1	3,6	1,32	1,52

a: Quando não disponibilizado, o parâmetro foi estimado de acordo com o tipo de material de preenchimento, com base em Duncan et al. (1980) e Trautmann et al. (1983).

O Caso 4 é composto pelos resultados dos ensaios de carregamento de placa realizados por Biswas et al. (2013, 2016) e Biswas & Krishna (2017, 2018), sendo o único caso com carregamento estático desse grupo. Os autores utilizaram uma geocélula manufaturada composta por tiras de geogrelha, ensaiaram com a gramada granular com 4 espessuras diferentes. Esses autores também alteraram a umidade do material do subsolo, obtendo 4 diferentes resistências não drenadas e rigidezes. A retroanálise dos ensaios para a obtenção dos módulos da camada granular foi realizado utilizando a Teoria da Espessura Equivalente (TEE) (Avesani Neto, 2019; Garcia & Avesani Neto, 2020) com base no recalque de 2% do diâmetro da placa de carregamento e o coeficiente do módulo k ajustado para melhor corresponder aos dados obtidos no ensaio não reforçado. Para efeito de comparação, foi tirado a média do MIF obtido para cada altura (condensando os dados relativo à variação do subleito).

O trabalho de Tanyu et al. (2013), correspondente ao Caso 5, apresentou os resultados de ensaios de carregamento de placa cíclico. Esses autores simularam um subleito flexível utilizando blocos de EPS e testou 4 tipos de geocélulas, com variação de altura e de diâmetro equivalente. Para estimar o módulo da camada granular e o MIF, foi utilizado a TEE, estimando a priori o módulo do subleito flexível.

Os ensaios de placa em múltiplas células realizados por Pokharel et al. (2018) corresponde ao Caso 6. Além dos materiais já citados, eles também utilizaram a Areia do Rio Kansas, também utilizado no trabalho de Han et al. (2008). Nesse ensaio, o subleito utilizado no experimento era rígido.

O Caso 7 corresponde aos dados coletados em Pokharel (2010) de ensaios de carregamento de placa utilizando um subleito flexível.

Desse grupo de ensaios analisados, o trabalho de George et al. (2019), correspondente ao Caso 8, é o único que utiliza asfalto recuperado (RAP) como material de preenchimento. Dado que RAP pode conter um intercepto de coesão elevado (Thakur & Han, 2015), essa comparação é importante para ver o impacto desse fator em um modelo onde considera um material puramente atritivo como hipótese.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos de MIF em laboratório e os estimados pelo modelo testado. Analisando esses dados, observa-se a consistência do modelo em prever a taxa de aumento de rigidez, mesmo para uma situação diferente do ideal admitido nas premissas de seu desenvolvimento, com a tendência de subestimar nos casos de MIF altos e superestimar nos casos de MIF baixo. Entretanto, a dispersão obtida no erro é consideravelmente maior, com erros absolutos do MIF variando de 0,02 a 1,00 (média de 0,37) e erro relativo variando de 1% a 47% (média de 18%). Os maiores erros obtidos foram encontrados no Caso 4 (o ponto correspondente ao ensaio com menor espessura da camada reforçada, com MIF obtido experimentalmente de 3,40) e o Caso 5 (o modelo não conseguiu ter sensibilidade para a diferenciação das espessuras das camadas reforçadas).



Tabela 3. Ensaios com múltiplas células, em laboratório - MIF experimental e estimado (adaptado de Garcia & Avesani Neto, 2021).

Caso	d_{eq} (mm)	J (kN/m)	h (mm)	ϕ' (°) ^a	k ^a	n ^a	OCR ^b	β_2	MIF _{exp}	MIF _{calc}
4	135	240	79,5	40	195	0,4	1	0,8	3,40	2,40
	135	240	157,5	40	195	0,4	1	1,0	2,00	2,10
	135	240	235,5	40	195	0,4	1	1,2	1,70	2,00
	135	240	313,5	40	195	0,4	1	1,3	1,50	1,90
5	242	250	150	45	1200	0,4	30	13,3	3,05	2,25
	242	250	200	45	1200	0,4	30	13,3	2,13	2,25
	192	250	150	45	1200	0,4	30	10,6	1,54	2,26
	192	250	200	45	1200	0,4	30	10,6	2,17	2,26
6	175	390	100	40	555	0,4	1	2,1	2,04	1,65
	175	390	100	45	1200	0,4	1	4,8	1,46	1,44
	175	390	100	45	900	0,4	1	3,6	1,73	1,52
7	183	391	100	45	900	0,4	20,8	4,1	2,50	2,41
	183	391	200 ^c	45	900	0,4	10,4	5,4	1,60	2,28
8	242	250	100 ^d	45	900	0,4	34,0	6,8	2,50 ^d	2,31

a: Quando não disponibilizado, o parâmetro foi estimado de acordo com o tipo de material de preenchimento, com base em Duncan et al. (1980) e Trautmann et al. (1983);

b: Estimado com base nos dados de compactação disponível.

c: Duas geocélulas de 100 mm sobrepostas

d: Assumiu-se que a altura da camada não reforçada de 100 mm

3.3 Ensaios em campo com múltiplas células – Casos 9 a 11

Os ensaios realizados em campo têm sua importância devido a verificação da performance da solução de engenharia em escala real. Todavia, a variabilidade do subsolo e de outros parâmetros pode dificultar o controle do ensaio.

O trabalho de Al-Qadi & Hughes (2000), correspondente ao Caso 9, consiste em uma série de ensaios de FWD realizados na reabilitação de estradas na Pensilvânia/EUA, sendo que a retroanálise dos testes realizados pelos autores, obtendo o valor médio de MIF de 2,00.

O Caso 10 é embasado no trabalho de Rajagopal et al. (2012), que apresenta os resultados dos ensaios realizados em uma estrada não pavimentada na Índia, apresentando o valor do MIF nos testes em campo de 2,75.

No Caso 11, o trabalho de Saride et al. (2016) apresenta os resultados de ensaios de carregamento de placa em uma obra de reabilitação de estrada na Índia. A estimativa dos módulos das camadas granulares foi feita utilizando a TEE, obtendo um fator de melhora experimental de 2,18.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros adotados e o MIF experimental e calculado pelo modelo nesses casos analisados. Observa-se que o modelo teve um bom comportamento na previsão do fator de melhora do módulo. O erro absoluto variou entre 0,08 e 0,32, correspondente a um erro relativo variando entre 4% e 12%.

3.4 Compilação dos resultados

A Figura 1 apresenta os resultados do MIF obtidos nos ensaios e o calculado pelo modelo. Os pontos de geometria aberta (por exemplo, “+”) corresponde aos ensaios realizados em laboratório com uma célula. Os pontos de geometria fechada correspondem aos testes com múltiplas células, sendo que os pontos sem preenchimento indicam os testes realizados em laboratório, enquanto que os pontos com preenchimento indicam os ensaios realizados em campo.



Tabela 4. Ensaios realizados em campo - MIF experimental e estimado (adaptado de Garcia & Avesani Neto, 2021).

Caso	d_{eq} (mm)	J (kN/m)	h (mm)	ϕ' (°) ^a	k ^a	n ^a	OCR ^b	β_2	MIF _{exp}	MIF _{calc}
9	169	250	150	45	1500	0,4	31,9	18,4	2,00	2,23
10	183	960	150	45	1500	0,4	96	3,7	2,75	2,43
11	192	250	150	45	1500	0,4	148	11,5	2,18	2,26

a: Estimado de acordo com o tipo de material de preenchimento, com base em Duncan et al. (1980) e Trautmann et al. (1983);

b: Estimado com base nos dados de compactação disponível.

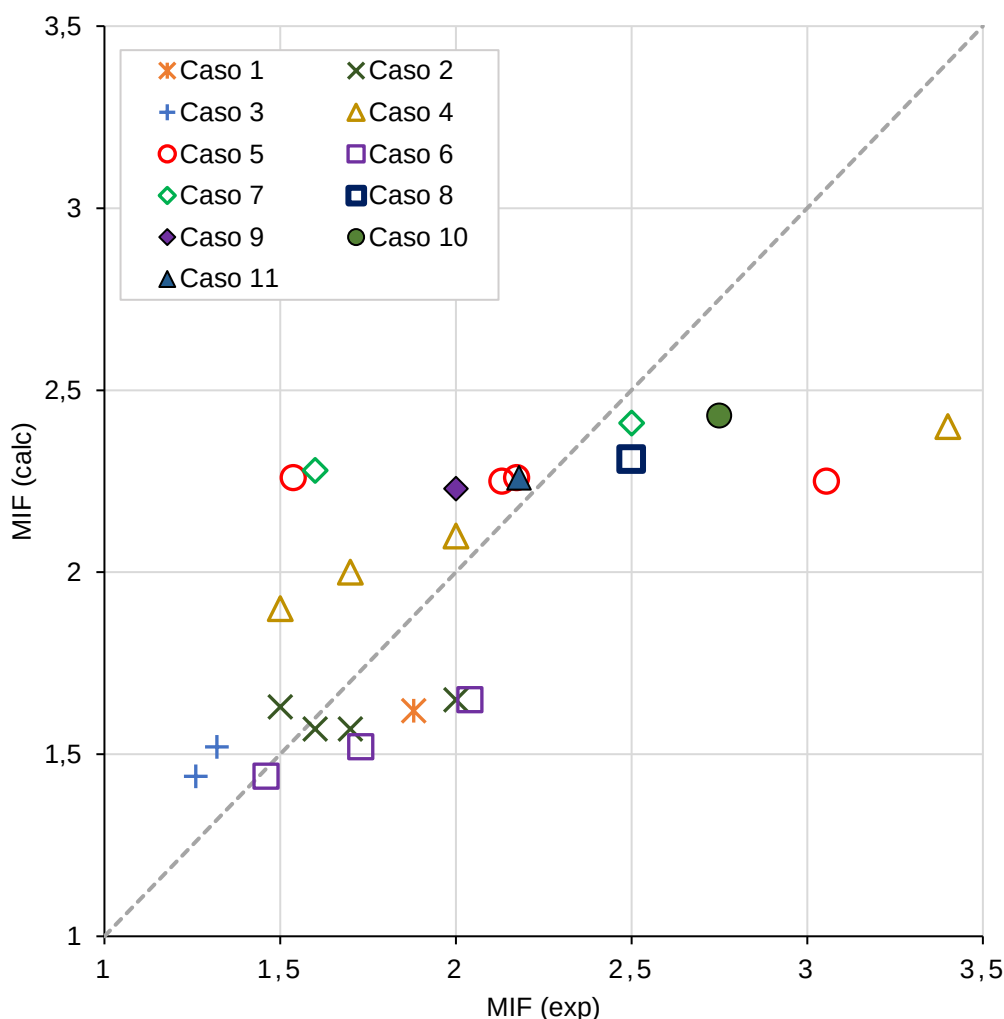


Figura 1 - Compilação das comparações dos ensaios (adaptado de Garcia & Avesani Neto, 2021)

4 Conclusões Finais

A comparação do modelo analítico apresentado em Garcia & Avesani Neto (2021) com ensaios de carregamento de placas e deflectométricos permitiu analisar a viabilidade do modelo em estimar o MIF, mostrando que este gerou resultados compatíveis com os valores dos ensaios analisados. A maior variabilidade ocorrida na comparação ocorreu nos casos dos ensaios com múltiplas células realizadas em laboratório, enquanto que os grupos dos ensaios com uma célula e os ensaios em campo apresentou menor variabilidade. Uma dificuldade enfrentada na comparação do modelo analítico com os resultados experimentais decorreu da



necessidade da estimativa de parâmetros de entrada do modelo, principalmente em relação à rigidez do solo – situação comum em condições de análise “a priori” usualmente presente em etapas de projeto.

A consideração do efeito da compactação é importante na contribuição do aumento do módulo da camada. Isso pode ser visto principalmente nos casos dos ensaios de campo, onde o seu efeito foi considerado no cálculo do MIF. O efeito da espessura da camada também tem sua importância, conforme pode ser observado no Caso 4, entretanto a sua sensibilidade precisa ser melhorada em um futuro desenvolvimento desse modelo. O Caso 8, onde foi aplicado RAP como material de preenchimento, mostra que é possível utilizar o modelo para materiais com intercepto de coesão. Assim, elevada importância foi verificada na modelagem ao considerar tanto a parcela de aumento da rigidez do solo devido ao confinamento e a compactação, quanto a contribuição da rigidez da parede da geocélula na estimativa do MIF.

Concluindo, o modelo mostra-se útil para a estimativa do MIF. Dado a complexidade do fenômeno de aumento de rigidez do solo dentro da geocélula, o modelo apresentou dispersões, sendo necessário eventuais futuros desenvolvimentos matemáticos, além de evidenciar a importância de uma investigação mais completa em termos geotécnicos dos materiais de construção terrosos e pedregulhosos. Importante frisar que a realização de ensaios com os parâmetros constitutivos, além da adequada obtenção das características geométricas são fundamentais para melhorar a precisão do modelo quando for adotado em alguma aplicação prática.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação para o Aperfeiçoamento Pessoal do Ensino Superior (CAPES – 88887.463870/2019-00) por pelo suporte financeiro dado ao primeiro autor, e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP) pelo suporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Qadi, I. L., & Hughes, J. J. (2000). Field Evaluation of Geocell Use in Flexible Pavements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1709(1), 26–35. <https://doi.org/10.3141/1709-04>
- Avesani Neto, J. O. (2019). Application of the two-layer system theory to calculate the settlements and vertical stress propagation in soil reinforcement with geocell. *Geotextiles and Geomembranes*, 47(1), 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2018.09.003>
- Biswas, A., & Krishna, A. M. (2017). Behaviour of circular footing resting on layered foundation: sand overlying clay of varying strengths. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 13(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/19386362.2017.1314242>
- Biswas, A., & Krishna, A. M. (2018). Behaviour of geocell–geogrid reinforced foundations on clay subgrades of varying strengths. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 18(6), 301–314. <https://doi.org/10.1680/jphmg.17.00013>
- Biswas, A., Krishna, A. M., & Dash, S. K. (2013). Influence of subgrade strength on the performance of geocell-reinforced foundation systems. *Geosynthetics International*, 20(6), 376–388. <https://doi.org/10.1680/gein.13.00025>
- Biswas, A., Krishna, A. M., & Dash, S. K. (2016). Behavior of Geosynthetic Reinforced Soil Foundation Systems Supported on Stiff Clay Subgrade. *International Journal of Geomechanics*, 16(5), 04016007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000559](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000559)
- Duncan, J. M., Byrne, P., Wong, K. S. K., & Mabry, P. (1980). Strength, stress–strain and bulk modulus parameters for finite element; analyses of stresses and movements in soil masses -. In *Geotechnical engineering - Research Report UCB/GT/80-01*. Berkeley, California.
- Ehrlich, M., & Mitchell, J. K. (1994). Working Stress Design Method for Reinforced Soil Walls. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(4), 625–645. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1994\)120:4\(625\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:4(625))
- Garcia, R. S., & Avesani Neto, J. O. (2020). Accuracy of the Theory of Equivalent Thickness in Two-Layer System Applications with Geocell-Reinforced Soils. *4th Pan American Conference on Geosynthetics -*



GeoAmericas 2020. Rio de Janeiro.

- Garcia, R. S., & Avesani Neto, J. O. (2021). Stress-dependent method for calculating the modulus improvement factor in geocell-reinforced soil layers. *Geotextiles and Geomembranes*, 49(1), 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2020.09.009>
- George, A. M., Banerjee, A., Puppala, A. J., & Saladhi, M. (2019). Performance evaluation of geocell-reinforced reclaimed asphalt pavement (RAP) bases in flexible pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1587437>
- Han, J., Yang, X., Leshchinsky, D., & Parsons, R. L. (2008). Behavior of Geocell-Reinforced Sand under a Vertical Load. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2045(1), 95–101. <https://doi.org/10.3141/2045-11>
- Pokharel, S. K. (2010). *Experimental study on geocell-reinforced bases under static and dynamic loading* (University of Kansas). Retrieved from <http://hdl.handle.net/1808/7719>
- Pokharel, S. K., Han, J., Leshchinsky, D., & Parsons, R. L. (2018). Experimental evaluation of geocell-reinforced bases under repeated loading. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(2), 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.03.007>
- Pokharel, S. K., Han, J., Leshchinsky, D., Parsons, R. L., & Halahmi, I. (2010). Investigation of factors influencing behavior of single geocell-reinforced bases under static loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(6), 570–578. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2010.06.002>
- Rajagopal, K., Veeragavan, A., & Chandramouli, S. (2012). Studies on geocell reinforced road pavement structures. Retrieved November 19, 2019, from GA 2012 - 5th Asian Regional Conference on Geosynthetics: Geosynthetics for Sustainable Adaptation to Climate Change website: https://www.prs-med.com/wp-content/uploads/2016/11/studies_on_geocell_reinforced_road_pavements-rajagopal_2012.pdf
- Saride, S., Gautam, D., Madhav, M. R., & Vijay, K. R. (2016). Performance evaluation of geocell reinforced granular subbase (GSB) layers through field trials. *Journal of the Indian Roads Congress*, 76(4), 249–257.
- Tanyu, B. F., Aydilek, A. H., Lau, A. W., Edil, T. B., & Benson, C. H. (2013). Laboratory evaluation of geocell-reinforced gravel subbase over poor subgrades. *Geosynthetics International*, 20(2), 47–61. <https://doi.org/10.1680/gein.13.00001>
- Thakur, J. K., & Han, J. (2015). Recent Development of Recycled Asphalt Pavement (RAP) Bases Treated for Roadway Applications. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 2(2), 68–86. <https://doi.org/10.1007/s40515-015-0018-7>
- Trautmann, C. H., Beech, J. F., O'Rourke, T. D., McGuire, W., Wood, W. A., & Capano, C. (1983, February 1). *Transmission-line structure foundations for uplift-compression loading. Final report*. Retrieved from <https://www.osti.gov/biblio/6490493>
- Yang, X., Han, J., Parsons, R. L., & Leshchinsky, D. (2010). Three-dimensional numerical modeling of single geocell-reinforced sand. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 4(2), 233–240. <https://doi.org/10.1007/s11709-010-0020-7>