

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

Modelagem física de fundações reforçadas com inclusões rígidas

Julian Asdrubal Buritica Garcia

Professor, Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, Joinville, Brasil, julian.garcia@ufsc.br

Juan Félix Rodriguez Rebolledo

Professor, Universidade de Brasília UnB, Brasília, Brasil, jrodriguezr72@hotmail.com

Bernardo Caicedo

Professor, Universidade de los Andes, Bogotá, Colômbia, bcaicedo@uniandes.edu.co

RESUMO: As inclusões rígidas têm sido usadas principalmente em projetos de aterros sobre solos moles, mas nas últimas décadas, a técnica também tem sido utilizada como método de fundação para diferentes tipos de estruturas. Neste trabalho, por meio de modelos físicos em escala real (1g) e modelos físicos em centrífuga geotécnica (30g), foi avaliado o mecanismo de transferência de carga desenvolvido numa plataforma de transferência de carga conformada por um material coesivo típico da região do Distrito Federal, Brasil (com e sem adição de cimento). A partir dos modelos físicos foi observada a forma do cone de transferência de carga desenvolvida entre a cabeça da inclusão e o radier. Ao simular uma condição crítica, a plataforma de transferência de carga é estável após a retirada do confinamento, apresentando uma elevada eficiência. Foi observado um importante ganho de resistência do material compactado com cimento e um melhor desempenho das inclusões rígidas quando se utiliza este material. Quando a rigidez e resistência do material da plataforma de transferência de carga aumenta, os recalques diminuem, mas as tensões nas cabeças das inclusões aumentam, o que deve ser considerado no projeto estrutural. A distribuição de cargas não é uniforme, as inclusões centrais recebem a maior parte. Os resultados indicaram a necessidade da construção de um anel periférico de inclusões para aumentar a eficiência do sistema. Os recalques resultam principalmente da deformação do cone de transferência de carga acima da cabeça da inclusão.

PALAVRAS-CHAVE: Centrífuga geotécnica, Modelagem física, Inclusões rígidas, Plataforma de transferência de carga coesiva, Fundações, Melhoramento de solos

ABSTRACT: Rigid inclusions technique has been used mainly in embankments on soft soils, but in recent decades, the technique has also been used as a foundation method for different types of structures. In this work, using full-scale physical models (1g) and centrifuge tests at 30 g, the evaluation of the load transfer mechanism developed in the load transfer platform conformed by a cohesive material typical of the Federal District region, Brazil (with and without cement) was performed. From the physical models, the shape of the load transfer cone developed between the inclusion head and the rigid slab was observed. By simulating a critical condition, the load transfer platform is stable after the removal of the confinement presenting a high efficiency. An important strength gain of the cement compacted material and a better performance of the rigid inclusions when using this material were observed. When the stiffness and strength of the load transfer platform material increase, settlements decrease, but the stresses in the inclusion head increase, which must be considered in structural design. The load distribution is not uniform, the central inclusions receive most. The results indicated the need to build a inclusion peripheral ring to increase the efficiency of the system. The settlements result mainly from the deformation of the load transfer cone above the inclusion head.

KEYWORDS: Geotechnical centrifuge, Physical modelling, Rigid inclusions, Cohesive load transfer platform, Foundations, ground improvement.

1 Introdução

As inclusões rígidas são elementos cilíndricos ou prismáticos não conectados à estrutura que transferem as cargas a estratos mais profundos e mais resistentes por meio de uma camada de material compactado conhecido como plataforma de transferência de carga (PTC), conformada normalmente por material granular reforçado com geossintéticos (Figura 1). As inclusões rígidas são usadas principalmente em projetos de aterros



sobre solos moles, mas nas últimas décadas, a técnica tem sido utilizada frequentemente como método de fundação de pontes, edifícios residenciais, edifícios industriais, tanques de armazenamento, entre outros (Okay et al. 2014). Segundo Chevalier et al. (2011) no caso de fundações reforçadas com inclusões rígidas, os mecanismos de transferência de carga são muito complexos e diferentes dos observados em aterros.

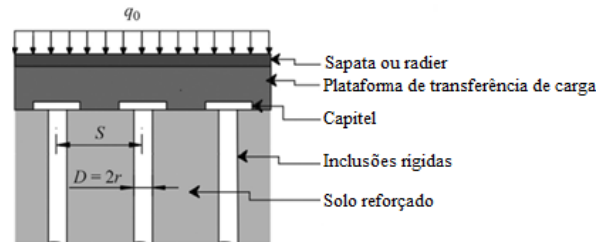


Figura 1. Esquema geral das inclusões rígidas

A técnica de inclusões rígidas tem sido estudado por meio de modelos físicos em escala real, modelos físicos reduzidos em centrífuga geotécnica e modelos numéricos (Rodríguez-Rebolledo & Auvinet, 2006; Ellis & Aslam, 2009; Baudouin et al., 2010; ASIRI, 2011; Blanc et al., 2013; Okay et al., 2014; Girout et al., 2014, 2016; Pérez, 2017; Rodríguez-Rebolledo, et al., 2019; Pérez et al., 2020).

O objetivo desta pesquisa é investigar por meio de modelos físicos, os mecanismos de transferência de carga e mecanismos de ruptura desenvolvidos numa PTC coesiva conformada por material fino típico da região do Distrito Federal (material superficial compactado com e sem adição de cimento), quando se considera que a aplicação de carga é feita por meio de uma placa rígida que representa um radier ou sapata.

2 Plataforma de transferência de carga

Nesta pesquisa foi realizado o estudo de um material alternativo para ser utilizado como PTC, formado por um solo fino tropical compactado (com e sem adição de cimento) abundante em depósitos superficiais e profundos no Distrito Federal e na região centro oeste do Brasil. O material foi classificado pelo sistema unificado de classificação de solos como uma CL (argila arenosa de baixa plasticidade) quando realizado com defloculante e quando é ensaiado sem defloculante como uma SC (areia argilosa). O limite de plasticidade do solo é de 45% e o limite índice de plasticidade de 19%. A classificação MCT tradicional e expedita, classifica o solo como LA'-LG' (solo arenoso laterítico e argiloso laterítico). A partir de um ensaio de compactação foi definida a umidade ótima de 24% e o peso específico seco máximo de 1,59 kN/m³ do material da PTC.

Para comparar dois solos compactados com rigidezes diferentes optou-se por trabalhar com o mesmo material compactado com 6% de cimento Portland tipo 1. Com a adição de 6% de cimento, a resistência à compressão simples aumentou aproximadamente 80%, aumentou a rigidez, a coesão e resistência de pico do material. As propriedades mecânicas foram obtidas por meio de ensaios triaxiais tipo CD (adensados e drenados) executados em corpos de prova de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Os parâmetros de resistência e deformabilidade para o solo natural SN e para o solo cimento SC são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de resistência e deformabilidade da PTC (Garcia et al., 2021)

Material	σ_3 kPa	Resistência pico		Resistência residual		ψ °	ε_f %	q_f kPa	E_{50} MPa
		c' kPa	ϕ' °	c' kPa	ϕ' °				
SN	50					5	4.0	231	13
	100	51	26	34	28	0	4.0	340	17
	200					0	4.7	465	26
SC	50					10	0.5	455	76
	100	66	41	33	42	6	0.8	723	110
	200					4	1.1	1038	108

ε_f é a deformação axial na tensão desviadora última q_f usada para determinação de E_{50}

3 Modelagem física

Nos modelos físicos não foi considerada a contribuição do solo reforçado. Foi feita uma simplificação usando uma placa móvel na parte inferior da PTC que se desloca verticalmente para baixo permitindo a passagem das cabeças das inclusões (através de orifícios na placa), simulando assim o colapso ou recalque do



solo reforçado. A placa móvel tem sido utilizada em outras pesquisas de referência no assunto como é o caso de Rault et al., (2010); Blanc et al., (2013); Okyay et al., (2014); Girout et al. (2016) e Fagundes (2016).

3.1 Modelo físico em escala real

Foi idealizado um modelo físico em escala real para estudar um único elemento que pertence a uma malha hexagonal de um sistema de inclusões rígidas para fundações de prédios. A configuração geométrica do ensaio é baseada no conceito de célula ou área de influência (Schlosser et al., 1984), se considera um grupo infinito de inclusões sob uma laje rígida distribuídas numa retícula hexagonal, nesta retícula cada inclusão tem uma área de contribuição hexagonal, mas para fins práticos, pode ser considerada como circular (Rodríguez-Rebolledo et al. 2019). Com esta configuração o problema se torna axissimétrico, o raio da área de contribuição corresponde à metade da separação (S) entre inclusões. A hipótese da axissimetria somente é válida para as inclusões centrais.

O equipamento usado foi adaptado do construído por Fonseca (2017), ele consiste num cilindro vazio de concreto (manilha de concreto) de 50 cm de altura, diâmetro interno de 1 m (separação entre inclusões, $S = 1$ m). A carga é aplicada por meio de uma placa rígida de 20 mm de espessura reforçada com vigas para aumentar a rigidez à flexão do elemento. As inclusões rígidas foram representadas por meio de cilindros de 10 cm, 15 cm e 20 cm de diâmetro. A seção transversal e equipamento utilizado podem ser observados na Figura 2.

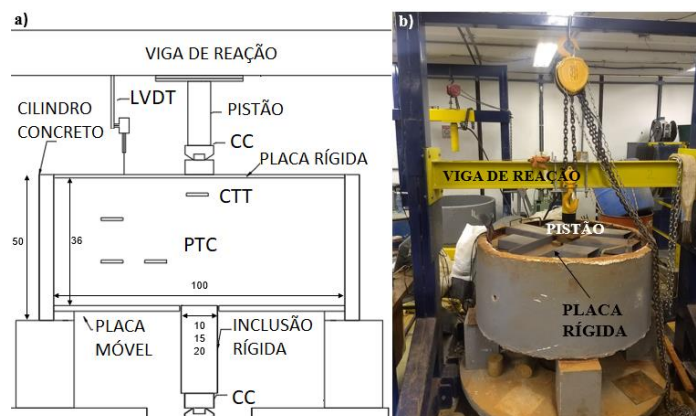


Figura 2. Modelo físico 1g (a) Seção transversal (b) Vista geral do equipamento

Para determinar o valor real da carga aplicada e a carga recebida pela inclusão, o ensaio foi instrumentado com células de carga (CC) com capacidade de 50 kN, além disso, para a determinação da distribuição das tensões dentro da PTC, foram colocadas, células de tensão total (CTT) tipo diafragma com diâmetro de 75 mm e capacidade de 300 kPa. Os deslocamentos verticais da placa rígida (recalques) foram medidos com transdutores de deslocamento linear LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*).

O programa experimental (Tabela 2) consistiu na realização de seis ensaios, mantendo constantes a altura da plataforma de transferência de carga (36cm) e a separação entre inclusões (1 m), com dois tipos de PTC (SN e SC compactado) e três diâmetros de inclusão (10, 15 e 20 cm) que representam taxas de cobertura (α) de 1, 2,25 e 4% respectivamente.

Tabela 2. Campanha experimental modelos físicos 1g

Ensaio	Material compactado	a cm	$H/(s-a)$	α %	γ_{PTC} kN/m ³
D10SN	SN	10	0,40	1,0	16,90
D15SN		15	0,42	2,25	16,39
D20SN		20	0,45	4,0	17,18
D10SC	SC	10	0,40	1,0	17,02
D15SC		15	0,42	2,25	17,46
D20SC		20	0,45	4,0	17,58

$S = 100$ cm $H = 36$ cm

Para cada ensaio, o recalque foi medido na parte superior da placa de aplicação de carga. A Figura 3a,b mostra os recalques medidos para cada uma das seis configurações ensaiadas. O critério de ruptura foi considerado para uma deformação de 4% da altura total da PTC para o SN e 2% para o SC, correspondente à



deformação após o pico (condições residuais) observado nos ensaios triaxiais. O recalque considerado como critério de ruptura é muito menor aos recalques totais máximos permitidos para prédios aporticados.

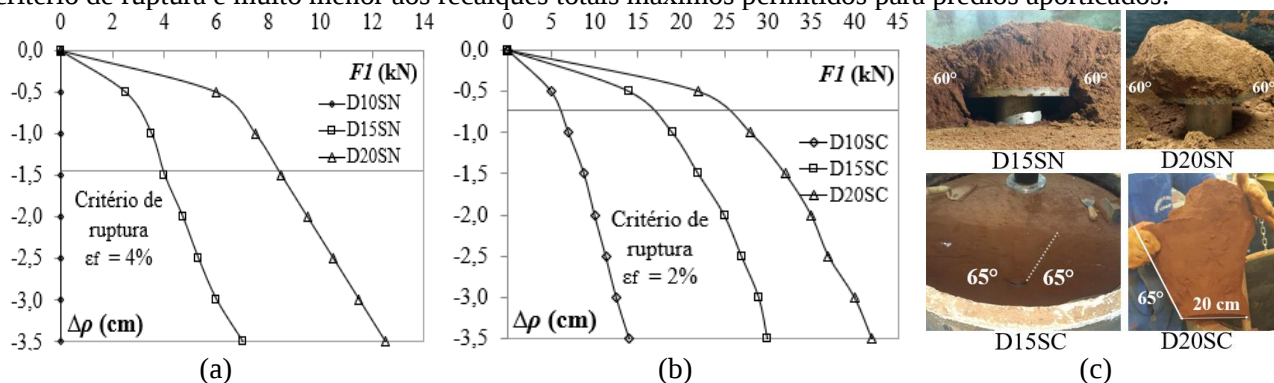


Figura 3. Recalques obtidos versus carga aplicada para o a) SN b) SC c) Forma do cone de transferência de carga desenvolvido na cabeça da inclusão SN e SC

É possível observar que quando o cimento é adicionado à PTC, a rigidez aumenta consideravelmente, e os recalques diminuem significativamente. Por exemplo, para $F_1 = 10$ kN, $\Delta\rho = 2,25$ cm no ensaio D20SN e $\Delta\rho = 0,2$ cm no ensaio D20SC. O recalque para o caso do SC é aproximadamente 10% do recalque do SN.

A partir da auscultação da PTC (Figura 3c) após os ensaios, foi possível identificar a ruptura e determinar a forma do mecanismo de transferência de carga desenvolvida acima da cabeça da inclusão (no material da PTC). O volume acima da cabeça da inclusão forma um cone truncado, o ângulo externo é diferente para o caso do SN e do SC, o que evidencia que dito ângulo varia dependendo da resistência ao cisalhamento do material da PTC. Para o SN o ângulo β médio observado foi de 60° e para o SC de 65° .

3.2 Modelo físico em centrífuga geotécnica

Foi idealizado um modelo físico em escala reduzida em centrífuga geotécnica (30g) para avaliar a interação entre um grupo de inclusões rígidas e a PTC constituída por SN e SC compactado. Além de avaliar os mecanismos de transferência de carga e mecanismos de ruptura da PTC, podem ser observadas as diferenças entre o comportamento das inclusões centrais e inclusões de borda.

A centrífuga geotécnica utilizada, pertence ao laboratório de modelos geotécnicos da *Universidad de los Andes* em Bogotá, Colômbia. A centrífuga de porte meio tem um braço efetivo de 1,9 m, suporta modelos até de 400 kg e um campo de aceleração radial máximo de 200 g, possui 50 canais de instrumentação. Na Figura 4 é possível observar a centrífuga com as partes principais. 1) sistema de aquisição de dados, 2) braço, 3) caixa de modelagem, 4) caixa de contrapeso, 5) motor e eixo principal.



Figura 4. Centrífuga geotécnica utilizada nos modelos físicos 30g.

O protótipo consiste num grupo de 14 inclusões rígidas com diâmetros de 38,1 e 76,2 cm com espaçamento entre eixos de 180 cm, espessuras da PTC entre 100 e 166 cm. Laje rígida de 750 cm de diâmetro e PTC formada por solo natural compactado (SN) e solo cimento compactado (SC). A contribuição do solo reforçado foi omitida usando uma placa móvel na parte inferior de PTC, com orifícios que permitem a passagem das cabeças das inclusões simulando o recalque do solo reforçado.

O protótipo representado e o equipamento fabricado em alumínio são apresentados na Figura 5. O material da PTC foi compactado externamente num cilindro metálico.

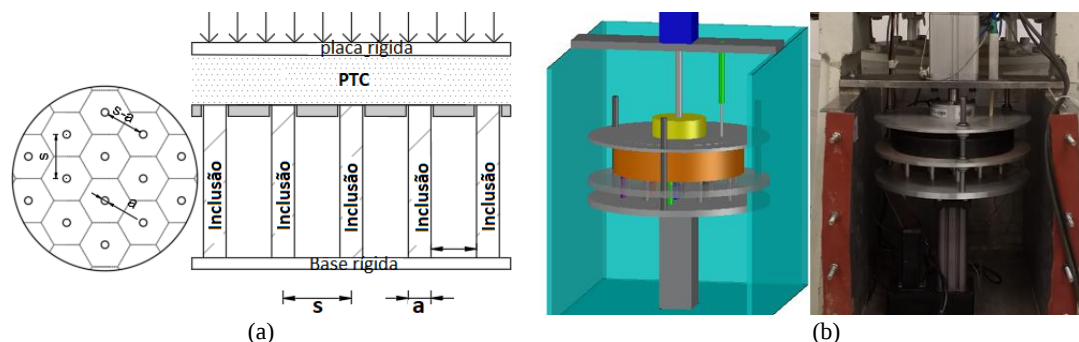


Figura 5. Comparativo do fenômeno. a) Protótipo, vista em planta da distribuição de inclusões, b) modelo físico em centrífuga geotécnica

O modelo físico foi montado sobre uma placa de alumínio, base para ancorar as inclusões e os rolamentos lineares que são guias para evitar inclinação das outras placas durante o ensaio. A placa de alumínio central é móvel, descendente com auxílio de um atuador elétrico e perfurada para permitir que a PTC se apoie nas inclusões. A placa superior está unida a um atuador pneumático para aplicação de cargas uniformes.

O modelo físico tem 14 inclusões das quais, 5 foram instrumentadas com células de carga miniaturas para verificar a carga na cabeça das inclusões centrais e periféricas, o atuador pneumático superior tem célula de carga para verificar a carga aplicada ao modelo. O atuador elétrico e a placa perfurada estão conectadas por meio de uma célula de carga para verificar a pressão aliviada na placa 2 durante o deslocamento da placa móvel. As células de carga instrumentadas foram distribuídas de acordo com a hipótese de simetria para poder calcular a carga total recebida pelo grupo de 14 inclusões.

Os ensaios foram realizados com aceleração da gravidade de 30 g. O programa experimental consistiu na realização de 11 ensaios centrífugos, mantendo constante a separação entre inclusões, com dois tipos de PTC (SN e SC compactado), dois diâmetros de inclusão e várias alturas de PTC, em todos os casos o diâmetro da placa de aplicação de cargas no modelo foi de 25 cm que representa um radier de 7,5 m de diâmetro. A Tabela 3 mostra as características do modelo de cada uns dos 11 ensaios realizados junto com a equivalência dessas características no protótipo representado. O processo de ensaio simula uma condição crítica onde a placa inferior é removida com o objetivo de desencadear os mecanismos de transferência de carga e ruptura sem considerar a contribuição do solo reforçado.

Tabela 3. Campanha experimental modelos físicos em centrífuga geotécnica (30g)

Ensaio	ID	Modelo			Protótipo			H/s (%)	H/(s-a)	α (%)
		a (cm)	s (cm)	H (cm)	a (cm)	s (cm)	H (cm)			
1	D1H1SN	1,27	6	4,00	38,1	180	120,0	66,7	0,85	4,5
2	D1H2SN	1,27	6	4,56	38,1	180	136,8	76,0	0,96	4,5
3	D1H3SN	1,27	6	5,37	38,1	180	161,1	89,5	1,14	4,5
4	D2H1SN	2,54	6	4,00	76,2	180	120,0	66,7	1,16	17,9
5	D2H2SN	2,54	6	4,68	76,2	180	140,4	78,0	1,35	17,9
6	D2H3SN	2,54	6	5,54	76,2	180	166,2	92,3	1,60	17,9
7	D1H1SC	1,27	6	3,36	38,1	180	100,8	56,0	0,71	4,5
8	D1H2SC	1,27	6	4,44	38,1	180	133,2	74,0	0,94	4,5
9	D2H1SC	2,54	6	3,50	76,2	180	105,0	58,3	1,01	17,9
10	D2H2SC	2,54	6	4,60	76,2	180	138,0	76,7	1,33	17,9
11	B-D2H1SN	2,54	6	3,40	76,2	180	102,0	56,7	0,98	17,9

A Figura 6 apresenta um exemplo dos resultados típicos obtidos no ensaio D1H1SN e D2H1SN. Na Figura 6a (ensaio D1H1SN), durante primeira etapa do ensaio, onde o deslocamento da placa móvel acontece, é possível observar que o peso da PTC ($W = 803,2$ kN) passa a ser transferida parcialmente ao grupo de inclusões (F_i) enquanto alivia parcialmente a carga inicial da placa móvel (F_p). Durante a descida da placa uma parte da PTC se apoia na cabeças das inclusões e o restante rompe parcialmente por puncionamento. Durante a aplicação de carga, é evidente que à medida que aumenta a carga nas inclusões (F_i), a carga na placa (F_p) também aumenta, o que mostra que acontece a ruptura do sistema por puncionamento, a PTC se apoia na placa móvel. A ruptura por puncionamento da PTC se observa na Figura 7a.



Na Figura 6b (ensaio D2H1SN), no início da fase 1, a placa e as inclusões estavam no mesmo nível (posição 1) o peso próprio da PTC ($W=882,7$ kN) se apoiou parcialmente na placa e parcialmente no grupo de inclusões. Durante o deslocamento da placa móvel, num primeiro momento, o peso da PTC passa a ser transferida ao grupo de inclusões (F_i) enquanto alivia carga da placa móvel (F_p). A placa móvel não descarrega totalmente durante a fase 1, devido a rupturas parciais da PTC nas bordas do modelo.

É possível observar que durante a fase de carregamento (fase 2) a força na placa F_p permanece quase constante, enquanto F_i aumenta, indicando que a carga aplicada está sendo distribuída ao grupo de inclusões. A estabilidade do sistema e as rupturas parciais podem ser observadas na Figura 7b e Figura 7c.

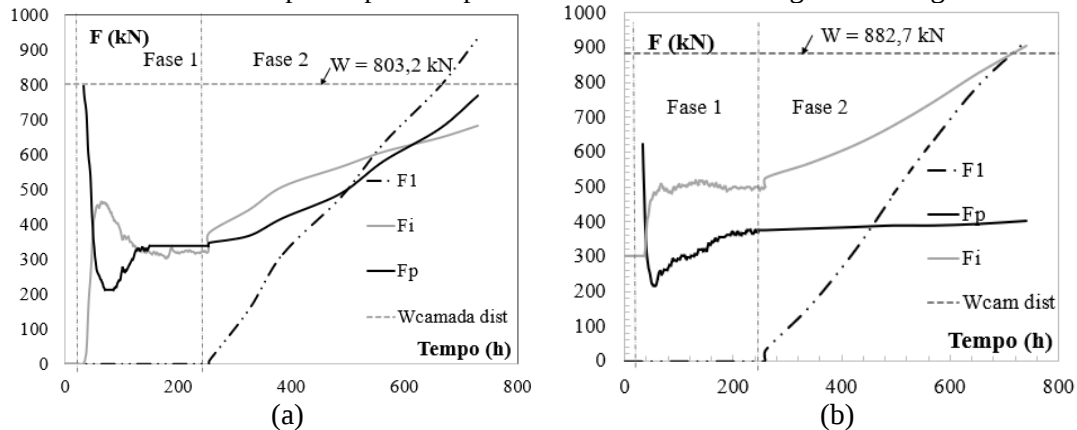


Figura 6. F_1 , F_i e F_p versus tempo durante o ensaio (a) D1H1SN, (b) D2H2SN

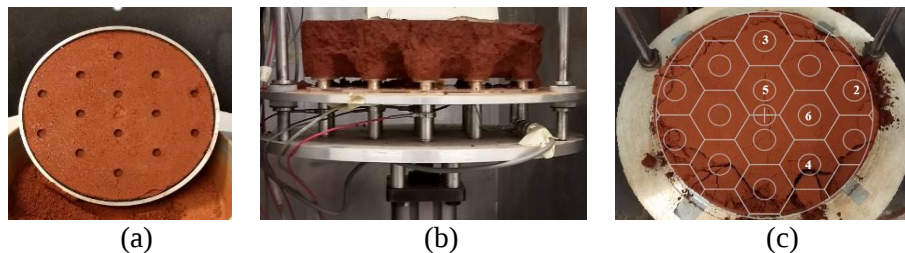


Figura 7. (a) Puncionamento D1H1SN, (b) rupturas parciais perimetrais D2H1SN, (c) rupturas B-D2H1SN.

Os resultados obtidos para SC mostraram total estabilidade do sistema durante todas as fases de ensaios, inclusive par o grupo de inclusões de menor diâmetro (diâmetro = 38,1 cm), as tensões na cabeça das inclusões são muito mais elevadas que no caso da PTC conformada por SN. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de que a rigidez do SC é mais de 4 vezes a rigidez do SN.

A Figura 8 apresenta a distribuição de cargas durante a fase 2 de aplicação de cargas para o ensaio D2H1SC e a porcentagem de carga recebida por cada inclusão instrumentada.

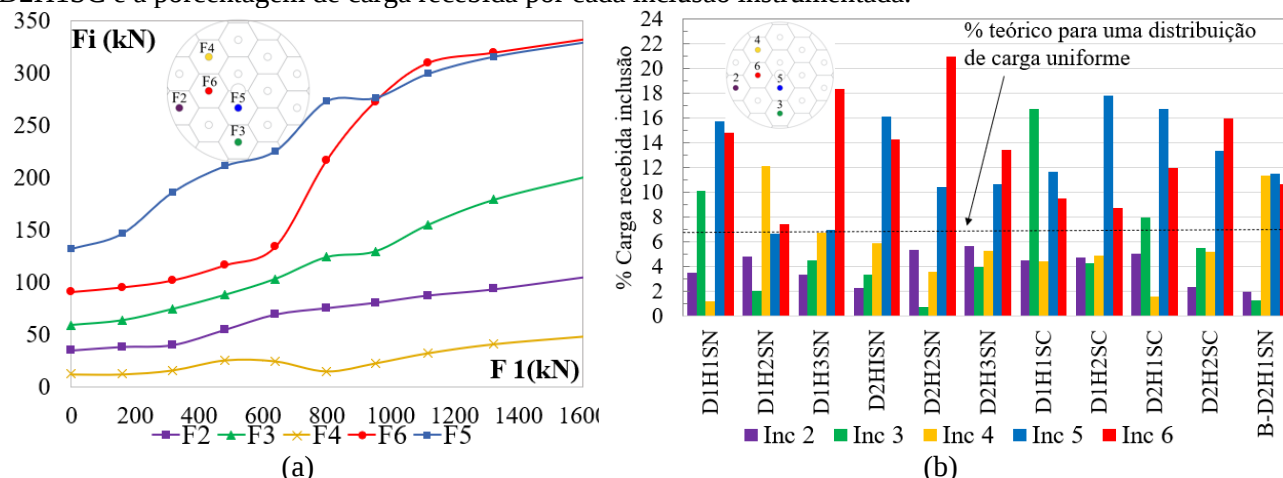


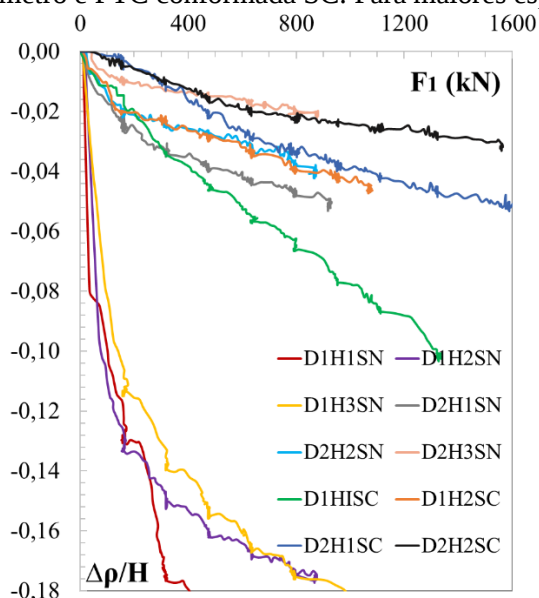
Figura 8. Resultados centrífuga: a) Força na cabeça da inclusão para D2H1SC, b) Porcentagem de carga recebida por cada inclusão instrumentada



Considerando todos os ensaios, as inclusões centrais (inclusão 5 e 6) receberam entre 10 e 21 % da carga total aplicada. Por outro lado, as inclusões periféricas (inclusão 2, 3 e 4) recebem entre 1 e 7% da carga. Com base nos resultados pode se concluir que quando os valores médios são analisados, a carga nas inclusões centrais é da ordem de 12.8%, enquanto que para as inclusões periféricas em torno de 5%.

Com respeito à geometria da ruptura (Figura 9b), os ângulos observados são compatíveis com os ângulos encontrados no modelo físico 1g e os ensaios triaxiais. Para os ensaios com o menor diâmetro foi difícil observar a geometria da ruptura. Após ensaios foi realizada a auscultação na PTC e foram observados cones truncados de concentração de tensões acima da cabeça da inclusão com ângulo próximo de 60° para o SN e ângulos próximos a 65° para o SC, é possível visualizar o arqueamento do solo.

A Figura 9a mostra os recalques normalizados com a altura da PTC para todos os ensaios centrífugos realizados. As deformações máximas foram observadas para os modelos com o menor diâmetro e PTC conformada por SN. Por outro lado, as deformações mínimas correspondem aos ensaios realizados com o maior diâmetro e PTC conformada SC. Para maiores espessuras da PTC, são observados menores recalques



(a)



(b)

Figura 9. a) Recalque total normalizado ($\Delta\rho/H$) versus carga aplicada (F_1), b) geometria da ruptura

5 Conclusões

Para cada um dos materiais utilizados foi possível obter a forma do cone de transferência de carga desenvolvida entre a cabeça da inclusão e o radier. Tanto nos ensaios físicos 1g e ensaios centrífugos 30g foi observado um volume de concentração de tensões em forma de cone truncado invertido, o ângulo externo para o solo natural foi de aproximadamente 60° e para o solo cimento de aproximadamente 65°. Os ângulos externos do cone são coerentes com o ângulo do plano de ruptura dos ensaios triaxiais e são compatíveis com a teoria de Coulomb ($\beta = 45 + \frac{\phi}{2}$).

Ao simular uma condição crítica, os modelos físicos, com exceção dos ensaios D10SN, D1H1SN, D1H2SN e D1H3SN, mostraram que a plataforma de transferência de carga é estável após a retirada do confinamento, apresentando uma elevada eficiência. Foi observado um importante ganho de resistência do material compactado com cimento e um melhor desempenho das inclusões rígidas com este material. Quando a rigidez e resistência do material da PTC aumenta, os recalques medidos diminuem, mas as tensões nas cabeças das inclusões aumentam, o que deve ser considerado no dimensionamento estrutural do radier.

A distribuição de cargas nos ensaios centrífugos não é uniforme, as inclusões centrais recebem a maior parte da carga, a PTC sofre rupturas parciais nas laterais devido à perda do confinamento. É possível comprovar a necessidade da construção de um anel periférico de inclusões para aumentar a eficiência do sistema. Os recalques resultam principalmente da deformação do cone de transferência de carga acima da cabeça da inclusão e a eficiência do mecanismo de transferência de carga depende principalmente do ângulo β , espessura da PTC, o diâmetro da inclusão, a separação entre inclusões, a resistência e a rigidez do material da PTC.



AGRADECIMENTOS

À Universidade de Brasília e *Universidad de los Andes* pelo apoio e suporte com a modelagem física. À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal FAPDF e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES pelo apoio financeiro por meio das seguintes bolsas e projetos: 9885.56.40280.07042016, CAPES-PDSE; FAPDF, 00193-00001138/2021-11.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASIRI. (2011). Recommendations for Design, Construction and Control of Rigid Inclusion Ground Improvements. ASIRI National Project. Institute for Applied Research and Experimentation in Civil Engineering (IREX), Presses des Ponts, France, 317 p.
- Baudouin, G., Thorel, L., Rault, G., (2010). 3D load transfer in pile-supported earth platforms over soft soils: centrifuge modeling, in: Springman, Laue, Sowards (Eds). *7th ICPMG Int con fon physical modelling in geotechnics*, Taylos & Francis, Zurich pp. 1303-1308.
- Blanc, M., Raul, G., Thorel, L., and Almeida, M. (2013). "Centrifuge investigation of load transfer mechanisms in a granular mattress above a rigid inclusions network." *Geotext. Geomembranes*, 36. 92-105.
- Briançon, L., Dias, D., & Simon, C. (2015). Monitoring and numerical investigation of a rigid inclusions–reinforced industrial building. *Canadian Geotechnical Journal*, 52(10), 1592-1604.
- Chevalier, B., Villard, P., and Combe, G. (2011). Investigation of load transfer mechanisms ing geotechnical earth structures with thin fill platforms reinforced by rigid inclusions. *International Journal of Geomechanics*. 11 (3): 12
- Ellis, E., Aslam, R. (2009 a,b). Arching in piled embankments: comparison of centrifuge tests and predictive methods. Part 1 of 2. *Ground Engineering* 42, 34-38; 28-31
- Fagundes, D. F. (2016). *Modelagem Centrífuga de Aterros Estruturados*, Tese de doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- Garcia, J.A.B. (2021). *Estudo do mecanismo de transferência de carga na camada de distribuição em fundações reforçadas com inclusões rígidas*. PhD Tesis. Universidade de Brasilia, Brazil.
- Garcia, J.A.B., Rodríguez Rebolledo, J.F., Mutzenberg, D.V., Caicedo, B., & Gitirana JR, G.F.N. (2021). Experimental Investigation of a Load-Transfer Material for Foundations Reinforced by Rigid Inclusions. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 147 (10), 04021110. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002649.
- Girout, R., Blanc, M., Dias, D., Thorel, L. (2014). Numerical analysis of a geosynthetic-reinforced piled load transfer platform – validation on centrifuge test. *Journal Geotextiles and geomembranes* 42. 525-539.
- Girout, R., Blanc, M., Thorel, L., Fagundes, D.F., Almeida, M.S., (2016). Arching and deformation in a piled embankment: centrifuge test compared to analytical calculations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 04016069.
- Okyay, U. S., Dias, D., Thorel, L., and Rault, G. (2014). "Centrifuge modelling of a pile-supported granular earth-platform." *J. Geotech. Geoenviron.*, 140(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001004](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001004).
- Pérez, R.F., Rodríguez-Rebolledo, J.F., Camapum de Carvalho, J. and Monteiro, F. (2020). Study of the stresses below a raft founded on collapsible soil reinforced with rigid inclusions. *Geotecnia*, 150, pp. 63-86. <http://doi.org/10.24849/j.geot.2020.150.05>
- Rault G, Thorel L, Néel, A (2010). Mobile tray for simulation of 3D load transfer in pile-supported earth platforms. In *Proceedings of the 7th ICPMG International Conference on Physical Modelling in Geotechnics* (Springman S, Laue J and Seward L (eds)). Taylor and Francis, Zurich, Switzerland, pp. 261–266.
- Rodríguez-Rebolledo, J.F. and Auvinet, G. (2006). Rigid inclusions in Mexico City soft soils. *Proc. Int. Symp. Rigid Inclusions in Difficult Soft Soil Conditions*, Mexico City, v.1, pp. 197-206.
- Rodríguez-Rebolledo, J.F., Leon R.F.P, and Camapum de Carvalho, J. (2019). Performance Evaluation of Rigid Inclusion Foundations in the Reduction of Settlements. *Soils and Rocks*, 42(3), 265-279. <https://doi.org/10.28927/SR.423265>.
- Schlösser, F.; Jacobsen, H.M; & Juran, I. (1984). Le renforcement des sols. *Revue Française de Géotechnique*, 29:7-33.