

Ensaio de arrancamento de pequeno porte para avaliação do comportamento de interface solo-geossintéticos

Leonardo Vinícius Paixão Daciolo

Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, leonardodaciolo@gmail.com

Fernando Henrique Martins Portelinha

Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, fportelinha@ufscar.br

RESUMO: Em projetos de estruturas de solos reforçados, a resistência de interface solo-reforço deve ser analisada na fase de dimensionamento para garantir que a estrutura não se comporte inadequadamente devido ao arrancamento ou deslizamento do reforço em relação ao solo. Esses ensaios são normalmente realizados em equipamentos de grande porte, tornando-os onerosos e de difícil execução e controle de parâmetros. Em termos de pesquisas, o uso de equipamento de grande porte dificulta, em alguns momentos, análises de parâmetros de influência do comportamento de interface, por demandar numerosa quantidade de ensaios. Dessa forma, o uso de equipamentos menores e com maior facilidade de execução podem viabilizar pesquisas nesta área. No entanto, deve-se considerar as limitações do uso de equipamento de menor porte. Com isso, a presente pesquisa propõe a realização de ensaios de arrancamento de pequeno porte, reduzindo o custo e a dificuldade de realização de ensaios de interface. Para isso, foram realizadas adaptações do equipamento de ensaios de cisalhamento direto existente no Laboratório de Geotecnia da UFSCar (LabGEO/UFSCar), de forma a permitir a execução de ensaios de arrancamento com dimensões inferiores às presentes na literatura. Neste artigo, descreve-se sobre as alterações efetuadas, bem como resultados de ensaios realizados como uso do novo equipamento. Os resultados mostraram que o novo aparato apresentou adequada repetibilidade de resultados, além de mostrar um bom funcionamento para fins de análises paramétricas de comportamento mecânico de interface entre solos e geossintéticos. É importante destacar que o equipamento mostrou-se também adequado para capturar o comportamento de dilatação durante o arrancamento.

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos, Arrancamento, Resistência de interface, Equipamento

1 INTRODUÇÃO

Em projetos de muros de solo reforçado com geossintéticos, a resistência de interface solo-reforço deve ser analisada na fase de dimensionamento para garantir que a estrutura não se comporte inadequadamente devido ao arrancamento ou deslizamento do reforço em relação ao solo. Dessa forma, os mecanismos de interação solo-geossintético têm sido pesquisados de forma especial nos últimos tempos (Ochiai et al. 1996, Moraci e Recalcati 2006, Palmeira 2004, Khoury 2011, Esmaili et al. 2014), não somente em virtude da sua

importância no dimensionamento e desempenho dos projetos, mas também na busca do real entendimento e quantificação considerando as variáveis que atuam nas condições de campo. Muitos destes estudos são realizados através de vários equipamentos e ensaios para a determinação de fatores correlatos à interação solo-geossintético, sendo os mais comuns o ensaio de cisalhamento-direto de interface, ensaios de rampa (Palmeira 2004, Ferreira 2003) e ensaios de arrancamento de geossintéticos (Teixeira 2003).

No entanto, Alves (2012) descreve que alguns procedimentos e ensaios ainda não são

normatizados nacionalmente e os equipamentos regidos por normas internacionais geralmente são adaptados para a obtenção de resultados mais precisos ou práticos. Recomenda-se que as dimensões de caixas para ensaios em geossintéticos sejam 10 vezes maiores que a maior partícula de solo e/ou que a abertura do geossintético. Contudo, os equipamentos de grandes dimensões, apesar de possuírem a fidedignidade do comportamento no campo e a quantificação adequada dos parâmetros da interface, possuem a desvantagem de serem onerosos, apresentarem dificuldade na repetibilidade e no controle de parâmetros, além de demandarem maior tempo de execução e complexidade na montagem (Kakuda 2005, Teixeira 2003). Decorrente desses fatos, equipamentos de dimensões reduzidas podem ser utilizados, a fim de atender às necessidades existentes, sem serem necessárias a utilização de grandes volumes de solo e a onerosidade nos ensaios.

Na literatura encontram-se diversos equipamentos desenvolvidos para o ensaio de arrancamento. Nos trabalhos realizados por Teixeira (1999), Teixeira (2003) e Kakuda (2005), utilizou-se caixas de arrancamento de dimensões reduzidas (250 x 300 x 150) mm, sob a justificativa apresentada anteriormente. Esses equipamentos têm mostrado resultados satisfatórios nas pesquisas analisadas, apresentando dados semelhantes aos equipamentos de grandes dimensões, como constatou Teixeira (2003), cujo estudo confronta resultados de equipamentos de pequenas e grandes dimensões. No mesmo trabalho, o autor também realiza uma abordagem ampla nos fatores que influenciam nesta interação solo-geogrelha, através de uma bateria de testes em equipamentos de ambos os portes.

Kakuda (2005), utilizou um equipamento de pequenas dimensões para analisar os resultados de ensaios de arrancamento sob a interface solo-geogrelha em solos finos passantes na peneira de malha 2 mm. Suas verificações conduziram a resultados positivos na utilização dessa combinação solo-geogrelha. Neste ponto, surge a indagação da possibilidade da maior redução nas dimensões da caixa de ensaios e sua

viabilização em ensaios com novas interfaces solo-geogrelhas e solo-geotêxteis.

Visando a necessidade da construção de equipamentos reduzidos para a otimização dos ensaios de arrancamento e melhor controle de parâmetros, o referido trabalho tem por objetivo a confecção de uma caixa de dimensões inferiores às encontradas na literatura, para verificação da viabilidade em sua utilização. Este equipamento é proveniente da adaptação de ensaios de cisalhamento direto, para que também possa realizar ensaios de arrancamento de geossintéticos. Por fim, pretende-se estudar os resultados obtidos com este aparato e concluir sobre sua viabilidade no uso em pesquisas paramétricas de comportamento de interface solo-geossintéticos. A adequação deste sistema, neste primeiro momento, visa sua utilização acadêmica, não contemplando sua aplicação em ensaios para projetos que utilizam geossintéticos.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Solo

O solo utilizado consiste em um material areno argiloso, sendo um SC segundo a classificação unificada. As propriedades características do solo são apresentadas na Tabela 1. Na Figura 1 é apresentada a curva de distribuição granulométrica do solo.

Tabela 1. Características do solo.

Propriedades	Normas	Solo SC
% de finos	NBR 7181 (1984)	44%
IP (%)	NBR7180(1984) e NBR6459 (1984)	14
w _{ot} (%)	NBR7182 (1986)	14,4
$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN/m ³)	NBR7182 (1986)	18,7
k _{sat} (m/s)	NBR14545 (2000)	2,4x10 ⁻⁵

Para os ensaios de arrancamento, o solo foi compactado na caixa de arracamento no teor ótimo de compactação da energia de Proctor Normal (Tabela 1), e com o grau de compactação de 95%.

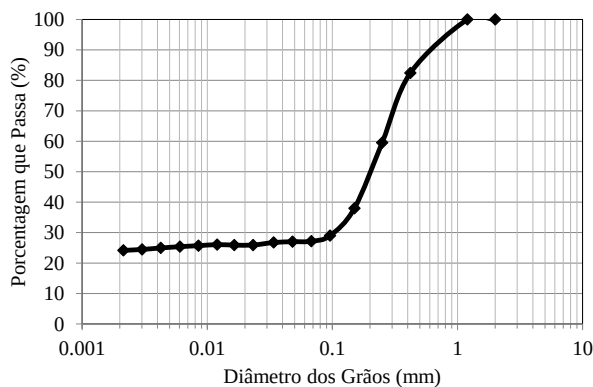


Figura 1. Curva granulométrica do solo utilizado no experimento.

2.2 Geogrelha

Foi utilizado como reforço uma geogrelha de poliéster tecida, com resistência à tração longitudinal da ordem de 55 kN/m e transversal da ordem de 30 kN/m. A abertura de sua malha possui 20 mm e sua deformação nominal na ruptura possui o valor máximo de 12%.

2.3 Caixa de arrancamento de pequeno porte

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio de arrancamento se resume em uma caixa de teste de interfaces, um mecanismo que aplica a força de arrancamento, um sistema que permita regular a tensão de confinamento do solo e um sistema de sensores capazes de monitorar as respostas do ensaio.

A construção da caixa consiste na adaptação do aparelho de cisalhamento direto de pequeno porte existente no Laboratório de Geotecnia da UFSCar (LabGEO/UFSCar), com algumas alterações em suas dimensões. As dimensões internas da caixa são 180 mm de comprimento, 150 mm de largura e 100 mm de altura, obtendo um volume aproximado de 0,0027 m³ e foi confeccionada em aço latão. Na parte frontal da caixa, foi realizada uma abertura para possibilitar o deslocamento do geossintético durante o arrancamento e fixação na aparelhagem que irá tracioná-lo. Tal abertura possui dimensão de 5 mm, suficiente para a passagem do material. Na Figura 2 é apresentado o equipamento de pequeno porte para ensaios de arrancamento. Na Figura 3 são mostradas fotografias do aparato completo.

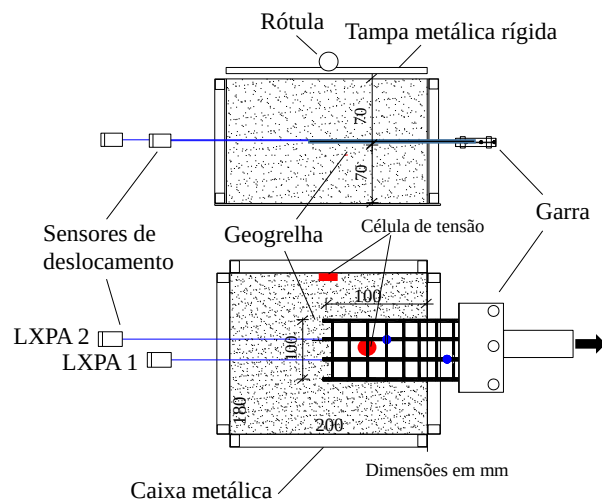


Figura 2. Ilustração esquemática do ensaio de arrancamento com dimensões e instrumentação.

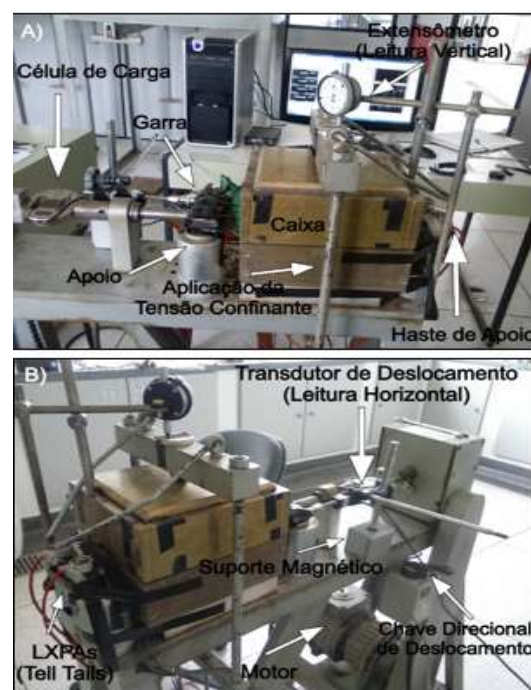


Figura 3. Ensaios de arrancamento de pequeno porte.

2.4 Medidas realizadas

Para monitoramento da força de arrancamento, foi utilizada uma célula de carga tipo “S” para medidas automatizadas de cargas de tração. A aquisição de dados correspondentes a esta célula foi realizada por meio do uso da aquisidora de dados D4 da Vishay.

Para monitoramento do deslocamento da garra de tração foi instalado um extensômetro analógico (relógio comparador), com capacidade de 25 mm e precisão de 0.002 mm,

para verificação desse deslocamento horizontal, perante a velocidade média de utilização do equipamento. Os deslocamentos verticais foram monitorados utilizando um transdutor digital de deslocamento, tipo LVDT.

Durante os ensaios, foram monitoradas também as tensões no centro da geogrelha no intuito de evidenciar tensões verticais induzidas durante o arrancamento. Além disso, uma célula de tensão total foi posicionada na lateral da caixa de arrancamento, no intuito de verificar o efeito de tensões laterais devido a diminuição da área de confinamento. Foram utilizadas duas células de tensões totais que apresentam capacidade de leitura de 200 kPa. A célula é da marca Kyowa com diâmetro de 30 mm.

Os deslocamentos horizontais internos da geogrelha foram medidos ao longo dos ensaios com o uso do sistema “tell-tales” que consiste na fixação de uma extremidade de fios inextensíveis em diferentes pontos ao longo da amostra de geogrelha e, a outra extremidade ligada à transdutores de deslocamento potenciométricos (LXPA). A aquisição de dados utilizada tanto para o LXPA como para o transdutor de deslocamento vertical foi realizada com o uso do DAQ-NI-USB6002 da National Instruments.

2.5 Procedimento de ensaio

O solo a ser ensaiados foi seco ao ar e sombra e posteriormente teve seu teor de umidade corrigido a fim de obter o teor de umidade ótimo para a compactação na energia de Proctor Normal. Compactou-se o solo com o grau de compactação de 95%, adotando-se quatro camadas de compactação de 35 mm. Cada camada correspondeu, respectivamente, à metade e bordo da parte inferior da caixa de ensaios e consequente metade e bordo de sua parte superior, com volume aproximado de 945 cm³ por camada. A compactação foi realizada com uso de soquete manual de madeira. As camadas pós-compactadas são escarificadas para recebimento da camada compactada

Cabe informar que, com o objetivo de mitigar o efeito do atrito das paredes internas a caixa sobre o solo, sugerido por Jewel (1980), as paredes foram revestidas com sanduíche de

folhas de Poliéster (marca Mylar), em que uma camada de silicone é aplicada entre estas folhas.

De forma a evitar o efeito de tensões concentradas na parede frontal da caixa de arrancamento (rígida), esta foi revestida com uma camada de borracha flexível, simulando a deformação frontal do solo (condição de campo). Estes procedimentos foram frutos da investigação prévia de ensaios preliminares.

No término da segunda camada de compactação é inserida a amostra do geossintético, de modo que fique entre a segunda e terceira camada compactada (na abertura da caixa inferior). As amostras de geossintéticos foram cortadas com a largura padrão de 100 mm e comprimento tal que permitissem se alocar em metade da caixa, ou seja, 100 mm, conforme ilustra a Figura 4. Esta distância de embutimento do geossintético no solo denominamos de comprimento de ancoragem (l).



Figura 4. Instalação da geogrelha.

Após a inserção da quarta camada de solo, o procedimento de compactação foi realizado de forma que a camada acabada fique a cerca de 2,0 mm abaixo da borda superior da caixa, para acomodação da chapa metálica, garantindo maior homogeneidade na aplicação da sobrecarga.

Por fim, o cabeçote foi então colocado sobre a caixa, o conjunto fixado no mecanismo de aplicação da força de arrancamento, o sistema de sobrecarga é iniciado resultando no valor determinado de pressão atuante e então o geossintético é preso à garra de tração. Nesta garra foram utilizados dois grampos para a sua fixação com o intuito de minimizar o acúmulo de tensões nesta região (Figura 4).

O ensaio consistiu no monitoramento da

força de arrancamento, tensões normais e deslocamentos verticais e horizontais com o pistão puxando o geossintético para fora da caixa de arrancamento com uma velocidade da ordem de 2,4 mm/min.

2.6 Ensaios realizados

O programa experimental para o trabalho em questão se constituiu de 11 ensaios para a determinação da análise de repetibilidade proveniente do equipamento, bem como a determinação da envoltória de resistência ao arrancamento, característica desta interação solo-geogrelha. Todos os ensaios possuíam como variáveis fixas o tipo de solo (SC), tipo de geossintético (Geogrelha Fortrac 55/25), grau de compactação (95%), velocidade de arrancamento (2,4 mm/min) e teor de umidade inicial. A designação e as tensões confinantes aplicadas em cada ensaio são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características do programa experimental.

Designação	Tensão Confinante (kPa)
SCG-15A	15
SCG-15B	15
SCG-15C	15
SCG-25A	25
SCG-25B	25
SCG-25C	25
SCG-25D	25
SCG-50A	50
SCG-50B	50
SCG-50C	50
SCG-50D	50

3 RESULTADOS

Na Figura 5 são apresentadas as curvas que relacionam a força de arrancamento e o deslocamento do atuador que promove o deslocamento. Na mesma figura, são mostradas também o comportamento de deslocamento vertical durante o processo de arrancamento. Cabe observar que o comportamento de dilatação com expansão durante arrancamento são dados escassos na literatura, cujo comportamento é permitido de ser capturado com o uso do equipamento proposto. São apresentadas neste artigo a análise de

repetibilidade dos ensaios realizados com 50 kPa de tensão vertical. No entanto pode-se dizer que a repetibilidade para os outros níveis de tensões são tão adequadas quanto à apresentada. Na Figura 5a fica evidente que o aparato de arrancamento de pequeno porte apresentou uma repetibilidade razoável, tanto no que compete a força de arrancamento mobilizada quanto ao deslocamento de ruptura da interface. Os ensaios em que ocorreram a ruptura da geogrelha foram desconsiderados durante a fase de teste do equipamento, uma vez que o comportamento de interface é o principal foco do uso do equipamento proposto. Na Figura 5b pode-se observar que para o ensaio com tensão confinante de 50 kPa houve um comportamento de dilatação durante o arrancamento. Ainda, a figura mostra que, embora a repetibilidade não tenha sido tão adequada quanto a Figura 5a, pode-se assumir que o ensaio capturou de forma adequada (qualitativa) as medidas de deslocamento vertical durante o arrancamento. Como verificado nos ensaios de Teixeira (2004) e Kakuda (2010), a interface entra em ruptura a partir de deslocamentos da geogrelha com esta ordem de grandeza.

Na Figura 6 são apresentadas as medidas de tensão vertical no centro do comprimento ancorado (Figura 6a) e na parede lateral da caixa de arrancamento (Figura 6b). As tensões apresentadas na Figura 6 referem-se às tensões desenvolvidas durante o arrancamento. Nota-se na Figura 6a que para os ensaios de arrancamento com tensões verticais de 50 kPa, as tensões verticais induzidas medidas apresentaram valores entre 55 e 75 kPa. Isso indica que as tensões induzidas foram aproximadas às tensões verticais aplicadas. De certa forma, esse comportamento pode estar associado ao fenômeno de dilatação observado. Em outras palavras, para haver expansão, as tensões induzidas durante o arrancamento devem ser maior que a tensão vertical confinante. Neste caso, o comportamento dilatante observado é coerente uma vez que as tensão induzida está muito próxima da tensão confinante, considerando a variabilidade das medidas registradas.

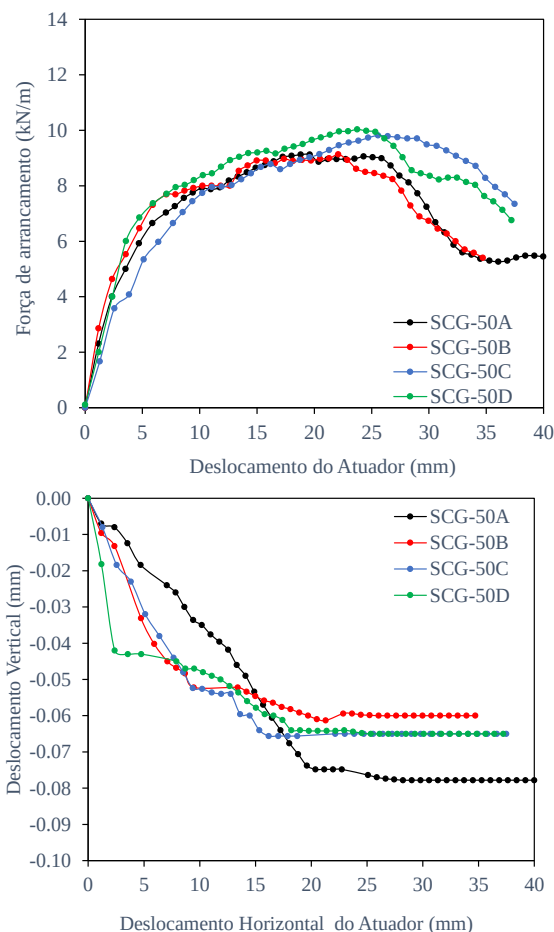


Figura 5. Resultados dos ensaios de arrancamento para 50 kPa de tensão confinante: (a) força x deslocamento do atuador; (b) deslocamento vertical x deslocamento do atuador.

No que se refere às tensões mobilizadas na lateral da caixa de arrancamento, a Figura 6b mostra que as tensões medidas estiveram entre 2 e 10 kPa. Isso indica que, embora pequenas, houveram tensões transferidas às laterais da caixa de arrancamento, o que pode afetar o valor da força de arrancamento.

A tensão na parede da caixa, idealmente teria que ser nula, para não influenciar nas demais variáveis do ensaio. Contudo, existe um efeito de borda, ainda que mitigado, que propicia esta influência. Este efeito é reduzido, através da implantação de um sistema para redução do atrito lateral (tiras lubrificadas, por exemplo). No entanto, pode-se dizer que as tensões são relativamente baixas o que mostra que o uso do aparato de pequeno porte pode ser adequado para fins comparativos e qualitativos, porém não adequados para efeito de projeto de estruturas de solo reforçado.

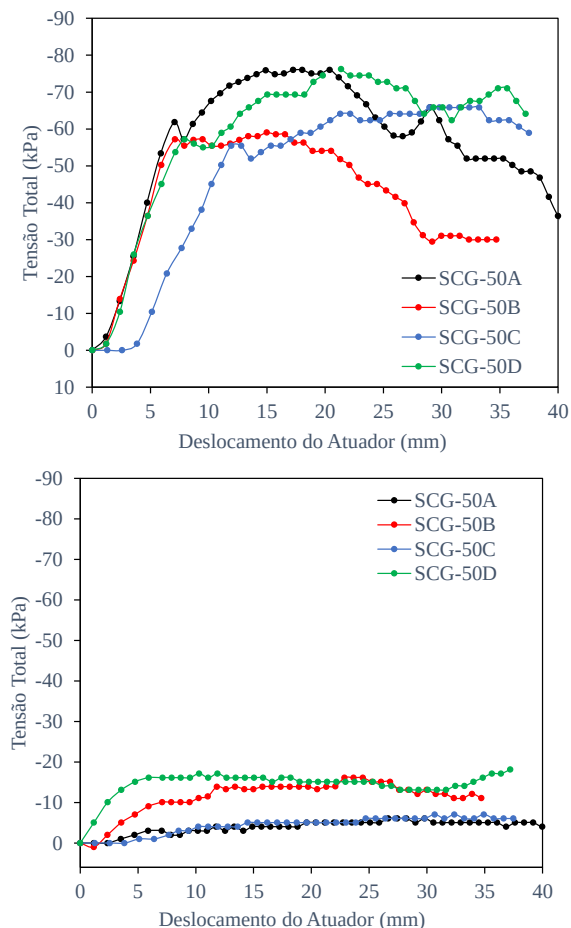


Figura 6. Tensões registradas durante o arrancamento: (a) tensões verticais no centro do comprimento de ancoragem; (b) na parede lateral da caixa de arrancamento.

Na Figura 7 são mostradas as curvas de força de arrancamento versus os deslocamentos internos medidos pelo sistema de Tell-tales, conforme indicado na Figura 1. Observa-se medidas coerentes de deslocamentos internos, compatíveis com as medidas de deslocamento do atuador. No entanto, nota-se que os deslocamentos internos medidos não convergem em um único valor ao final do arrancamento. Isso indica uma deformação acumulada durante o arrancamento. Possivelmente, a deformação acumulada consiste na deformação do ponto de medida externamente ao trecho embutido (LXPA 1 da Figura 1). Esse deslocamento é de em torno de 1 mm, podendo conter neste valor um deslocamento interno também do trecho embutido no solo. Nota-se que este comportamento foi verificado em ambos os ensaios SCG-50A e SCG-50B. Com isso,

recomenda-se sempre que os deslocamentos nas proximidades da garra sejam monitorados, ou que algum sistema de enrijecimento deste trecho externo seja providenciado.

Na Figura 8 é plotada a envoltória de resistência de interface solo-geogrelha com base nos ensaios apresentados na Tabela 2. A envoltória obtida apresentou valores de adesão de interface de 61 kPa e ângulo de atrito de 31°. Estes valores são coerentes com a condição não saturada do solo, no entanto devem ser comparados a ensaios de grande porte para uma melhor análise. No trabalho de Pereira (2010), estes valores para o mesmo solo SC, utilizando também um equipamento de pequeno porte, porém com o uso de uma geogrelha tecida de poliéster com resistência última de 100 kN/m, foram de 100 kPa de adesão de interface e 8° de ângulo e atrito, porém a velocidade de arrancamento foi de 1 mm/min.

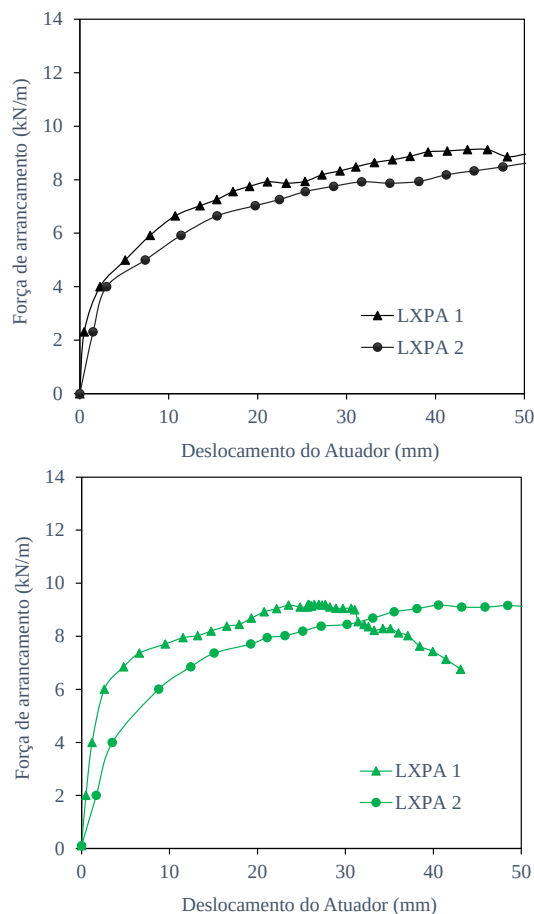


Figura 7. Curvas força x deslocamento interno medidos pelos Tell-tales; (a) Ensaio SCG-50A; (b) SCG-50D.

Nos ensaios conduzidos por Teixeira (2004),

com o uso de equipamento de grande porte, os parâmetros de adesão de interface e ângulo de atrito foram de 18 kPa e 29°, respectivamente. No entanto, com o uso de uma geogrelha de 35 kN/m de resistência última. Estes valores são mais coerentes com os encontrados nesta pesquisa, muito embora a comparação não possa ser conduzida de maneira direta uma vez que a geogrelha utilizada apresenta geometria diferente. Trabalhos comparativos devem ser conduzidos para avaliar os valores da envoltória de resistência. Mesmo assim, os autores consideram que análises comparativas destes parâmetros possam ser conduzidas com o uso deste equipamento de pequeno porte.

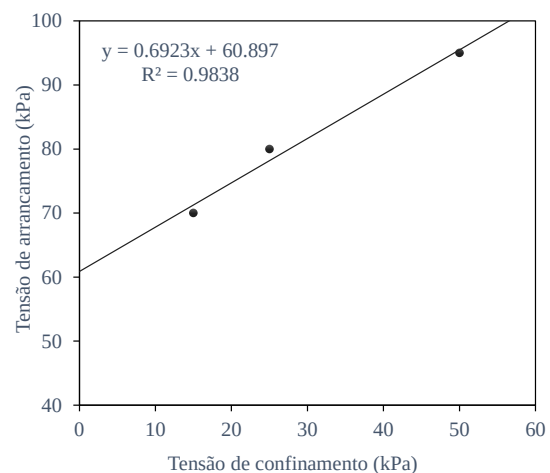


Figura 8. Envoltória de resistência de interface obtida com base nos ensaios da Tabela 1.

4 CONCLUSÃO

O artigo apresenta um aparato de arrancamento de pequeno porte para avaliação de comportamento mecânico de interfaces solo-geossintético. O equipamento consiste na adaptação do ensaio de cisalhamento direto existente no LabGEO/UFSCar. O programa experimental buscou avaliar os ensaios produzidos por este equipamento no sentido de verificar a adequação do mesmo para estudos paramétricos experimentais. Avaliaram-se a repetibilidade dos diferentes parâmetros de arrancamento, assim como as tensões registradas no solo e nas paredes laterais da caixa de arrancamento. Com base nos ensaios realizados as seguintes conclusões foram obtidas:

- Os ensaios de arrancamento conduzidos

com o aparato de pequeno porte mostraram uma adequada repetibilidade das curvas força versus deslocamento. No que tange ao comportamento de variação volumétrica, a repetibilidade não se mostrou tão adequada quanto ao comportamento de força de arrancamento, no entanto, o sistema capturou de forma adequada o comportamento de dilatação do ensaio;

- Verificou-se que as tensões verticais registradas no meio do comprimento ancorado foram bastante consistentes com o comportamento de dilatação observado. Durante o arrancamento, observou-se uma tensão vertical desenvolvida entre 40 e 70 kPa, sendo que a tensão vertical aplicada foi de 50 kPa. Isso resultou em um comportamento de dilatação, mostrando que a tensão induzida pelo arrancamento não foi suficiente para expansão;
- As tensões laterais nas paredes foram menores que 10 kPa. Idealmente, estas tensões deveriam ser nulas, no entanto, para fins comparativos, pode-se dizer que as tensões laterais foram baixas e menores do que o esperado;
- Os deslocamentos internos registados pelos Tell-tales mostraram que há uma deformação da parte externa a caixa de arrancamento que deve ser sempre monitorada e considerada nas análises. Outra solução seria o enrijecimento da porção externa da geogrelha;
- A envoltória de resistência obtida apresentou valores coerentes, porém demandam de mais comparações para certificações de comportamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de iniciação científica e pelo constante apoio as pesquisas na UFSCar.

REFERÊNCIAS

- ABINT, Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos. Manual Brasileiro de Geossintéticos. São Paulo. Edgard Blucher LTDA, 2004.
- ALVES, Débora Fonseca. Estudo experimental do atrito da interface areia-geomembrana. 2012, 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- ESMAILI, Danial et al. Influence of matric suction on geotextile reinforcement-marginal soil interface stretch. *Geotextiles and Geomembranes*, Norman, v. 42, p 139 - 153, fevereiro. 2014.
- FERREIRA, Vinícius Roberto de. Ensaios de rampa para o estudo da resistência de interfaces solo-geossintéticos. 2003, 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- KAKUDA, Francis Massashi. Estudo de ensaios de arrancamento de geogrelha com utilização de um equipamento reduzido. 2005, 145 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- KHOURY, Charbel N. et al. Unsaturated soil – geotextile interface behavior. *Geotextiles and Geomembranes*, Norman, v. 29, p 17 -28, agosto. 2011.
- MORACI, N., RECALCALT, P.(2006). Factors affecting the pullout behaviour of extruded geogrids embedded in a compacted granular soil, *Geotextiles and Geomembranes*, 24, No. 4, pp. 220 – 242
- OCHIAI, H., OTANI, J., Hayashic, S., Hirai, T. (1996). The pull-out resistance of geogrid in reinforced soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 14, No. 1, pp. 19 – 42.
- PALMEIRA, E. M. 2004. Bearing force mobilisation in pull-out tests on geogrids. *Geotextiles and Geomembranes*, 22, No. 6, pp. 481–509.
- RAJU, D. M.; LO, S. C. R.; GOPALAN, M.; GAO, J. On large-sacel laboratory pull-out testing. *Geotechnical Engineering Journal* (29) No, 2, 123-155. 1998.
- TEIXEIRA, Sidnei Helder Cardoso. Construção e calibração de um equipamento de ensaios de arrancamento de geossintéticos. 1999, 236 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- TEIXEIRA, Sidnei Helder Cardoso. Estudo da interação solo-geogrelha em testes de arrancamento e a sua aplicação na análise e dimensionamento de maciços reforçados. 2003, 236 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- TEIXEIRA, S. H. C; BUENO, B. S. Um equipamento para ensaios de arrancamento em geossintéticos. *Geossintéticos* 99, Rio de Janeiro. 1999. p 215-222.