

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO SOLO UTILIZANDO GEOGRELHA

Aline Cecconi

Engenheira Civil pela Universidade de Caxias do Sul

aline_cecconi@hotmail.com

Jaqueline Bonatto

Professora do curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul

jbonatto4@ucs.br

Gisele Corteze Pozzebon

Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Caxias do Sul

gcpozzebon1@ucs.br

Resumo. *O reforço de solo encontra nas geogrelhas uma opção que permite otimizar resistência, custo e rapidez na execução. O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar a resistência dos sistemas formados por solo e duas geogrelhas de resistências nominais distintas, tendo em vista a alteração das espessuras de camada de solo. Foram realizados ensaios de caracterização do solo, como umidade natural do solo, granulometria, peso específico dos grãos, limite de liquidez e limite de plasticidade, além dos ensaios de compactação e compressão simples do solo e do solo com geogrelha. A análise global dos resultados permite afirmar que a melhor situação encontrada foi aquela em que se alternou duas camadas de geogrelha de menor resistência com três camadas de solo compactado, comprovando a importância da compactação para a resistência de um solo reforçado e da interação entre o solo e o mecanismo de reforço.*

Palavras-chave: *Solo reforçado. Geogrelha. Compactação.*

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, é frequente a iniciativa de incorporação de materiais alternativos e inovadores aos tradicionais métodos utilizados na construção civil. A busca por elementos que representem baixo custo e elevada qualidade é incessante, visando a solução de problemas, ou mesmo, o melhoramento de sistemas.

A técnica de solo reforçado é um exemplo de solução tecnológica do século XXI. O aumento da segurança na execução de obras geotécnicas e a redução nos fatores que podem prejudicar o meio ambiente tornam este um método de elevado potencial no meio da construção. A partir disso, materiais possíveis de substituírem componentes naturais, com alto controle de qualidade, rápida instalação e aplicações diversas, que é o caso dos geossintéticos, tornam-se requisitos para utilização nesse tipo de sistema (TUPA, 2006).

A maioria dos tipos de solos apresenta alta resistência a esforços de compressão e baixa resistência aos esforços de tração. A função dos geossintéticos aplicados ao solo é absorver e redistribuir os seus esforços, impondo limites às deformações laterais sofridas pelo solo reforçado (SIEIRA, 2006).

As geogrelhas surgiram como um eficiente componente de reforço, sendo constituídas por elementos resistentes à tração em formato de grelha (TEIXEIRA, 2006). As estruturas nas quais são aplicadas já mostram um bom desempenho, melhoram e evitam situações corriqueiras no ambiente da construção, mas que continuam pouco comuns atualmente devido ao uso restrito desse sistema de reforço.

Estudos e testes sobre o comportamento da geogrelha diante de características intrínsecas do solo e outros fatores relacionados podem mostrar aos profissionais da área as potencialidades desse material, ampliando cada vez mais o seu uso. Observar a resistência obtida e a consequente diminuição de recalques através da variação das espessuras das camadas compactadas quando geogrelhas são aplicadas em obras de Engenharia Civil pode trazer mais economia e eficiência à obra.

O objetivo dessa pesquisa é avaliar a resistência dos conjuntos formados por solo e duas geogrelhas distintas, tendo em vista a alteração das espessuras de camada de solo é uma das formas de verificar a funcionalidade do sistema e apresentar a melhor opção de utilização. Para isso, são realizados ensaios de caracterização da geogrelha e caracterização física do solo, através da umidade natural, granulometria, peso específico dos grãos, limite de liquidez e limite de plasticidade. Por fim, são executados os ensaios de compactação e compressão simples.

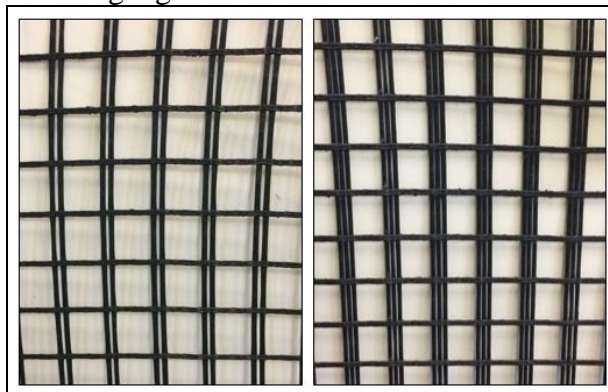
2. METODOLOGIA

Para que se obtivesse conhecimento do tipo de solo selecionado para o estudo, assim como das suas particularidades intrínsecas, foram realizadas a sua caracterização, classificação, compactação e compressão. O

procedimento de caracterização foi realizado também para as geogrelhas utilizadas nos ensaios.

As geogrelhas utilizadas neste trabalho são a Basetrac Grid PET 40/40-25 T e a Basetrac Grid PET 65/65-25 T, apresentadas na Fig. 1, da empresa Huesker, ambas de malha 25x25 milímetros e resistência nominal de 40x40 kN/m, à esquerda e 65x65 kN/m, à direita. Os modelos disponibilizados pela empresa são geogrelhas tecidas, com função de reforço, produzidas em poliéster de alto módulo e baixa deformação e envolvidas em um revestimento polimérico, que atua como proteção contra danos de instalação, ataques químicos, biológicos e ambientais.

Figura 1. Geogrelha de 40 kN/m à esquerda e geogrelha de 65 kN/m à direita



Fonte: Autora (2018).

O solo selecionado para a execução dos ensaios foi coletado na rua Guerino Sanvitto, bairro Sanvitto, na cidade de Caxias do Sul, conforme Fig. 2 e 3. O local se situa no Reserva Toscana, um loteamento minimamente ocupado e que possui poucas obras comerciais e residenciais concluídas. Nas proximidades, o ponto de referência é o *Shopping Iguatemi*, representado em azul na Fig. 2.

Figura 2. Local de coleta do solo para estudo



Fonte: Autora (2018).

Figura 3. Local da coleta do solo para estudo



Fonte: Autora (2018).

Após a coleta, foi realizada a preparação das amostras de solo para a caracterização e a compactação do solo, conforme NBR 6457 (ABNT, 2016). Em seguida, iniciaram-se efetivamente os ensaios de caracterização: granulometria, segundo NBR 7181 (ABNT, 2016); limite de liquidez, com base na NBR 6459 (ABNT, 2016); limite de plasticidade, de acordo com a NBR 7180 (ABNT, 2016); umidade natural do solo, conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016); e peso específico dos grãos, segundo NBR 6458 (ABNT, 2016).

Os últimos ensaios realizados foram a compactação do solo e do solo com geogrelha, com base na NBR 7182 (ABNT, 2016); e a compressão do solo e do solo com geogrelha, conforme NBR 12770 (ABNT, 1992). Neste último, foram utilizados corpos de prova de dimensões 5x10 centímetros e ruptura imediata após a moldagem.

O ensaio de compactação com a inserção de geogrelha foi realizado adotando-se a norma, no entanto, como não se trata um material convencional, foram necessárias algumas adaptações. O experimento com corpos de prova divididos em três camadas de solo e duas camadas de geogrelha de 40 kN/m seguiu à risca o que diz a norma, utilizando soquete de Proctor na energia normal com aplicação de 26 golpes por camada. O que difere para o ensaio que utilizou geogrelha de 65 kN/m foi a divisão das camadas: os corpos

de prova foram divididos em duas camadas, visto que o objetivo do estudo era avaliar espessuras de camada diferentes com geogrelhas de resistências nominais distintas.

Dividir a amostra em duas camadas foi a solução encontrada para que se obtivesse uma compactação uniforme em todo o corpo de prova e para que a geogrelha ficasse centralizada, já que repartindo o corpo de prova em três camadas de compactação ou a geogrelha ficaria deslocada do centro, estando localizada acima do primeiro ou do terceiro terço, ou, no caso de a geogrelha estar centralizada, o grau de compactação de toda a amostra não seria uniforme, já que ou a porção inferior ou a superior seria dividida em duas camadas e, portanto, mais compactada que o restante, assim obteve-se melhores resultados na compactação das amostras no corpos de prova.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados de caracterização física do solo utilizado no estudo.

Tabela 1. Resumo dos resultados de caracterização do solo

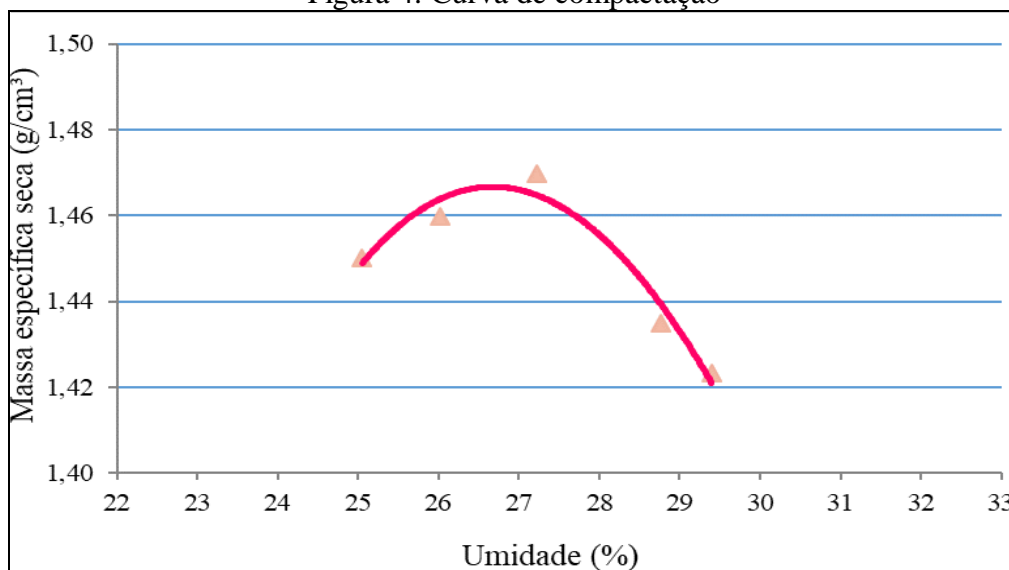
Umidade Natural do Solo (%)	Granulometria	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Consistência	Índice de Plasticidade (%)	Peso Específico dos Grãos (kN/m ³)
35,87	Arenoso com presença de finos	38,78	26,17	0,23 Solo mole no estado plástico	12,61 Solo medianamente plástico	24,87

Fonte: Autora (2018).

O solo analisado foi caracterizado como arenoso com presença de finos, por não ter tido a oportunidade de realizar o ensaio de sedimentação, não foi possível verificar a quantidade da presença de material finos na amostra. O solo estudado caracterizou-se como medianamente plástico e com índice de consistência mole. O peso específico dos grãos obtido apresentou valores característicos para o tipo de solo enquadrado.

A Fig. 4 apresenta os resultados encontrados no ensaio de compactação do solo por meio da curva de compactação. Após análise dos dados, constataram-se massa específica aparente seca máxima de 1,47 g/cm³ e umidade ótima de 27,22%.

Figura 4. Curva de compactação

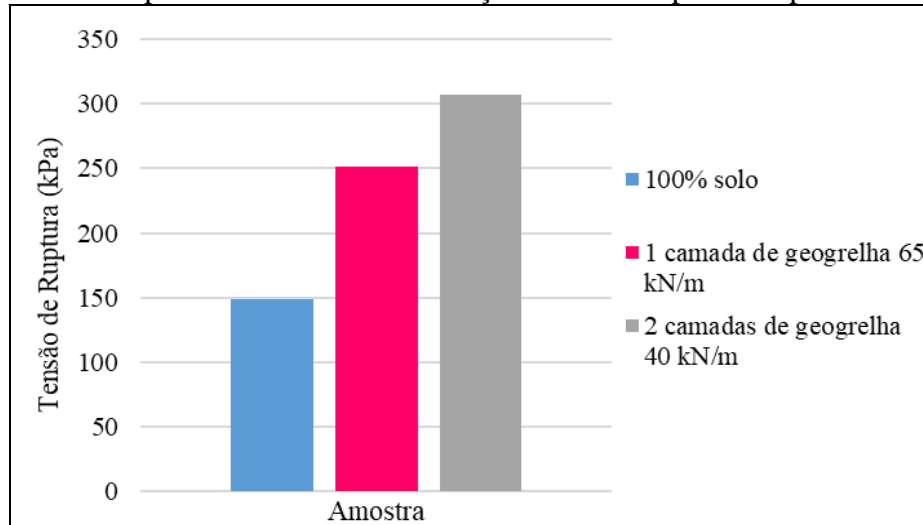


Fonte: Autora (2018).

Após o ensaio de compactação do solo, foi realizado o ensaio de compressão simples. A Fig. 5 apresenta as tensões suportadas até a ruptura para os três casos ensaiados. Para cada situação

ensaiada, foram utilizados três corpos de prova, com ruptura imediata após a moldagem. Já a Fig. 6 mostra os corpos de prova de cada situação após a ruptura, na sequência em que foram ensaiados.

Figura 5. Comparativo entre as três situações ensaiadas para compressão simples



Fonte: Autora (2018).

Figura 6. Corpos de prova após a ruptura



Fonte: Autora (2018).

Para os corpos de prova compostos de 100% de solo, a média aritmética das tensões de ruptura foi de 148,91 kPa. Os corpos de prova divididos em duas camadas iguais de solo e, portanto, de maior espessura em relação à situação ensaiada na sequência, com inserção de uma camada de geogrelha de resistência nominal de 65 kN/m chegaram a uma média

aritmética de 251,69 kPa para a tensão de ruptura. Por fim, para os corpos de prova divididos em três camadas de solo de menor espessura e duas camadas de geogrelha de resistência nominal de 40 kN/m intercaladas entre elas, a média aritmética de tensão de ruptura encontrada foi de 306,84 kPa.

Após a ruptura dos corpos de prova, os mesmos foram abertos na divisão de suas camadas para verificação do estado da geogrelha, como observa-se na Fig. 7.

Figura 7. Abertura do corpo de prova entre as camadas



Fonte: Autora (2018).

Vale ressaltar a grande dificuldade que se teve na moldagem destes corpos de prova: inúmeros dos corpos de prova já saíam estratificados no ato da desmoldagem, nem sendo levados à prensa pela caracterização de ruptura na camada. As hipóteses a cerca desse fato são a pouca compactação do solo, em função de as camadas serem mais espessas, ou de a malha da geogrelha ser mais aberta, não se adaptando facilmente ao molde cilíndrico utilizado. Para facilitar essa desmoldagem, buscou-se realizar o processo de forma mais lenta e sem que houvesse muito impacto no corpo de prova que estava sendo extraído.

Não se observou outra forma de realizar o ensaio, visto que dividindo o corpo de prova em três camadas de compactação ou a geogrelha ficaria deslocada do centro, estando inferior ou a superior seria dividida em duas camadas e, portanto, mais compactada que o restante.

No segundo corpo de prova moldado nesta condição, constatou-se a ruptura da geogrelha, conforme mostra a Fig. 8, o que indica que a carga aplicada ultrapassou a sua resistência nominal.

Figura 8. Ruptura da geogrelha na segunda amostra com uma camada de geogrelha



Fonte: Autora (2018).

Comparando as três amostras ensaiadas, observa-se que a resistência foi crescendo conforme se compactava mais o solo e se acrescentava mais camadas de geogrelha. Conforme é visto no Gráfico 4, a coluna cinza, que representa a amostra com três camadas de solo e duas camadas de geogrelha de resistência nominal de 40 kN/m teve seu crescimento dobrado em relação à coluna azul, correspondente à amostra composta de 100% de solo, afirmando-se como a melhor situação utilizada.

Os resultados obtidos são condizentes com o esperado. A situação em que o solo é dividido em três camadas permite mais claramente que se chegue à compactação máxima. A explicação para isso é que a tensão confinante dentro do molde é maior com camadas menos espessas e a dilatação deste solo fica restringida pelas paredes desse molde. Além disso, considerando-se que o número de golpes foi o mesmo para as três situações, a

compactação se torna mais eficiente com espessuras menores de solo, em função de que os golpes de soquete abrangem uma quantidade maior de solo desde o começo de sua aplicação, o que com camadas maiores vai acontecendo gradativamente, conforme o solo que se encontra mais acima na camada vai sendo compactado e aproximado à porção de solo que fica mais abaixo.

Outro fator a ser considerado para a análise dos resultados é a interação entre o solo e a geogrelha. Constata-se que, havendo maior interação, que é o caso de duas camadas de geogrelha estarem interagindo com o solo, resulta em um aumento da resistência à ruptura em relação à situação em que se tinha apenas uma camada de geogrelha inserida no solo. O que se mostra é uma massa de solo em continuidade, através da malha vazada, reforçada em dois pontos diferentes, fazendo com que todo o solo da amostra esteja envolvido, sem que haja porções de solo muito distantes do elemento de reforço.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sobre o solo estudado, foram obtidos valores de umidade ótima de 27,22% e massa específica aparente seca máxima de 1,47 g/cm³ e, analisando resultados de Limite de Liquidez e Índice de Consistência, pode-se chegar à conclusão de que se trata de um solo bastante compressível, com potencial para que o estudo desse certo, visto que necessita de reforço para promover sua estabilidade diante de qualquer obra geotécnica.

Observando os resultados obtidos com o ensaio de compressão simples, constatou-se que os corpos de prova moldados em três camadas compactadas de solo com duas camadas de geogrelha de resistência nominal à tração de 40 kN/m intercaladas entre elas oferecem os maiores valores de resistência à ruptura. As tensões suportadas representam um aumento de 106,06% em relação às sofridas

pelas amostras compostas de 100% de solo até sua ruptura, e superam a situação ensaiada com apenas uma camada de geogrelha de resistência nominal à tração de 65 kN/m intercalada entre duas camadas de solo compactado em 21,91%. Já esta última amostra citada incorpora um aumento de 69,03% na resistência à ruptura quando comparada com o corpo de prova constituído de solo em sua totalidade.

Sieira (2003), em sua análise de ensaios triaxiais com o aumento de camadas de reforço, constata que há ganhos de resistência significativos conforme se aumenta o número de camadas de material geossintético. A autora ainda afirma que os geossintéticos interceptam os planos potenciais de ruptura, aumentando a tensão cisalhante.

Percebe-se que o que realmente importa é o funcionamento do conjunto solo-geogrelha para a obtenção das maiores resistências. Acrescentar ao solo geogrelhas de maior resistência nominal promove um certo aumento na tensão de ruptura suportada, como observou-se na segunda situação ensaiada. No entanto, para a obtenção de maiores resistências e minimização de recalques ou escorregamentos, por exemplo, é mais importante que se faça uma boa compactação do solo, podendo-se até utilizar geogrelhas menos resistentes.

5. REFERÊNCIAS

AGUIAR, Vinícius Roberto de. **Ensaio de rampa para estudo da resistência de interfaces solo-geossintético**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6458:** Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6459:** Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7180:** Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181:** Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7182:** Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 12770:** Solo coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada. Rio de Janeiro, 1992.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações.** 6. ed. ver. ampl. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

CENTURIÓN, Carlos Antônio; VILELA, Augusto Alza; MARQUINA, Miguel Rivera. **Uso de geogrelhas para a redução da espessura de pavimento e melhoramento de subleito em solos de baixa capacidade de suporte.** Revista Fundações & obras geotécnicas. Ano 3. n. 24. p. 56-62, set. 2012.

CHANG, Dave Ta-Teh; SUN, Tsang-Sheng; HUNG, Fan-Yi. **Pullout mechanism of geogrids under confinement by sandy and clayey soils.** Chung Yuan University, Taiwan, 1995.

FRANÇA, Fabrício Carlos. **Estabilização química de solos para fins rodoviários: estudo de caso com o produto “RBI GRADE 81”.** 2003. 104 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

KOERNER, Robert M. **Designing with geosynthetics.** 2. ed. New Jersey: Englewood Cliffs, 1989.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretta da. **Apostila de estabilização de solos.** Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2004.

PEREIRA, Vinícius Rocha Gomes. **Influência da pressão da água intersticial na resistência ao arrancamento de geogrelha em solo coesivo.** 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SIEIRA, Ana Cristina Castro Fontenla. **Geossintéticos e obras de terra.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

TEIXEIRA, Christiano Faria. **Análise numérica de ensaios em solo reforçado com geogrelha.** 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

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. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2003.

TUPA, Néstor. **Utilização de geossintéticos para proteção de tubulações pressurizadas enterradas.** 2006. 154 f. Tese (Doutorado em

Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

VERTEMATTI, José Carlos. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo: Blucher, 2004.

ZAMPIERI, Lucas Quiocca. **Comportamento mecânico de um solo mole orgânico cimentado com aglomerantes variados**. 2015. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.