



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



ESTUDO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA DE UM SOLO ARTIFICIAL A BASE DE CAULIM

Luiza Vargas Eichelberger

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande - FURG
luiza_ve@hotmail.com

Camila Larrosa Oliveira

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande - FURG
camila.larrosa@yahoo.com.br

Cezar Augusto Burkert Bastos

Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande - FURG
cezarbastos@furg.br

Antonio Marcos de Lima Alves

Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande - FURG
antonioalves@furg.br

Diego de Freitas Fagundes

Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande - FURG
dffagundes@gmail.com

Resumo. *A resistência não drenada (S_u) constitui um dos principais parâmetros de projeto em obras geotécnicas envolvendo solos finos moles. Diferentes técnicas experimentais podem ser empregadas na avaliação de S_u em laboratório. O presente trabalho tem por objetivo principal avaliar a resistência não drenada de solos artificiais, produzidos a partir de caulim e previamente adensados, utilizando-se de ensaios de compressão triaxial não adensados não drenados (UU), ensaio de palheta de laboratório e ensaios de cone de queda livre. Os resultados confirmam a elevação da resistência não drenada com o adensamento do material, entretanto os valores diferem significativamente conforme a técnica empregada.*

Palavras-chave: *Resistência não drenada. Solos artificiais. Ensaio de laboratório.*

1. INTRODUÇÃO

Uma das propriedades geotécnicas de grande interesse nos projetos envolvendo solos finos é a resistência não drenada (S_u), entendida como a resistência ao cisalhamento oferecida pelo solo quando solicitado rapidamente, sem que haja condição de drenagem da água intersticial. Logo, trata-se de um parâmetro imprescindível nas fases de concepção de soluções, dimensionamento e avaliação de segurança das obras geotécnicas. O presente trabalho tem por objetivo principal avaliar em laboratório a resistência não drenada (S_u) de solos artificiais, produzidos a partir de caulim e previamente adensados empregando diferente técnicas. O Grupo de Pesquisa Geotecnia FURG tem histórico em estudos experimentais com solos artificiais. Como exemplo, Alves *et al.* [1] apresentam ensaios de palheta de laboratório em misturas de caulim, bentonita e água destilada.

2. METODOLOGIA

Na pesquisa foi utilizado caulim rosa produzido pela Indústria de Calcários Caçapava. Com o caulim foram realizados os ensaios de caracterização geotécnica (análise granulométrica, limites de Atterberg e peso específico dos grãos). O solo artificial foi produzido a partir de uma lama de caulim e água destilada elaborada com teor de umidade de até 2x o limite de liquidez e homogeneizada em misturadora elétrica. Depois de homogeneizada, a lama de caulim foi disposta em moldes metálicos e adensada com carregamentos por pesos metálicos sobrepostos. Os carregamentos em cada molde verificam as tensões de adensamento selecionadas de 12,5, 25 e 50 kPa. Os recalques da lama em cada molde foram monitorados no tempo, permitindo acompanhamento do processo de adensamento. Os solos adensados foram identificados como T(0-0)-12,5kPa, T(0-0)-25kPa e T(0-0)-50kPa. Na lama adensada (agora solo artificial) foram realizados ensaios triaxiais, de palheta e de penetração de cone de queda livre para determinação de S_u , assim como moldados anéis metálicos para determinação de índices físicos. Detalhes sobre os métodos de preparação do solo artificial e de realização dos ensaios são encontrados em Bastos *et al.* [2]

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização do solo artificial

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise granulométrica com uso de defloculante e os resultados de plasticidade do solo através dos limites de Atterberg. As frações granulométricas foram definidas segundo ABNT NBR 6502/95 (Solos e Rochas). A Fig. 1 apresenta a curva granulométrica obtida do caulim.

Tabela 1. Granulometria e plasticidade

Granulometria					
Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
0	1	2	12	50	35

Plasticidade		
Limite de liquidez (wl)	Limite de plasticidade (wp)	Índice de plasticidade (IP)
(%)	(%)	(%)
39	32	7

Pedregulho: > 2 mm; areia grossa: 0,6-2 mm; areia média: 0,2-0,6 mm; silte: 0,002-0,06 mm; argila: < 0,002 mm. IP = wl – wp

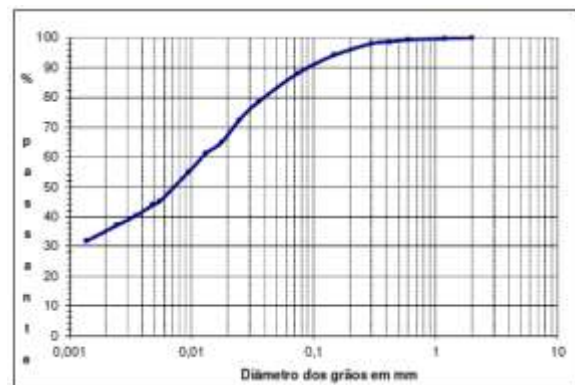


Figura 1. Curva granulométrica do caulim

3.2. Resistência não drenada

A resistência não drenada dos solos adensados sob três diferentes tensões foi avaliada por três métodos distintos: por ensaios triaxiais do tipo UU, por ensaios de palheta e por ensaios de cone de queda livre. Os dois primeiros podem ser considerados métodos diretos de determinação, com uma base teórica para determinação de S_u . Já para o ensaio de cone de queda livre foi empregada uma correlação empírica penetração x S_u , dado pela Eq. 1 (Hansbo *et al.* [3]).

$$S_u = K (Q/d^2) \quad (1)$$

onde: Q = massa do cone; d = penetração na massa de solo e K = constante que depende, dentre outros fatores, do ângulo do cone. Este último parâmetro ganhou o nome de Fator de Cone de Hansbo.

A Tabela 2 traz os resultados de resistência não drenada dos solos T(0-0)-25kPa e T(0-0)-50kPa referentes aos ensaios triaxiais. A Fig. 2 apresenta as curvas deformação específica x tensão desviadora dos ensaios triaxiais realizados.

Tabela 2. Valores de resistência não drenada a partir dos ensaios triaxiais UU.

Solo	Teor de umidade (%)	Índice de vazios	Su (kPa)	Su médio (kPa)
T(0-0) 25kPa	26,2	0,796	4,6	5,3
T(0-0) 25kPa	40,3	0,791	6	
T(0-0) 50kPa	40,6	0,698	9,5	9,5

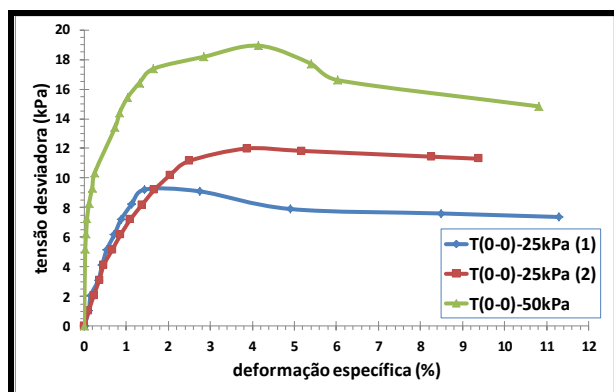


Figura 2. Curvas deformação específica x tensão desviadora dos ensaios triaxiais.

O solo T(0-0)-12,5kPa, muito mole, não permitiu a moldagem do corpo de prova para o ensaio triaxial. Por outro lado o solo T(0-0)- 25kPa teve dois corpos de prova ensaiados, neste caso os resultados individuais e médio são apresentados.

A outra medida direta da resistência não drenada foi dada pelo ensaio de palheta. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos com os ensaios.

Tabela 3. Valores de resistência não drenada a partir dos ensaios de palheta.

Solo	Teor de umidade (%)	Torque médio (N.mm)	Su médio (kPa)
T(0-0) 12,5kPa	44,4	10,9	2,5
T(0-0) 25kPa	40,3	15,3	3,6
T(0-0) 50kPa	40,6	24,1	5,6

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos com os ensaios de cone de queda livre. Constam os valores médios de penetração (em mm) e a estimativa de S_u a partir da Equação 1, utilizando-se o fator de cone $K = 0,89$, obtido a partir do estudo de correlação com ensaios de palheta conduzido por Bastos *et al.* [4].

Tabela 4. Valores de resistência não drenada a partir dos ensaios de cone de queda livre.

Solo	Teor de umidade (%)	Penetração do cone média (mm)	Su médio (kPa)
T(0-0) 12,5kPa	44,4	21,1	1,6
T(0-0) 25kPa	40,3	14,9	3,1
T(0-0) 50kPa	40,6	13,2	4,0

A Fig. 3 reúne os valores de S_u obtidos por diferentes técnicas para os solos artificiais adensados. Observa-se que a tendência esperada de acréscimo da resistência não drenada é confirmada.

Entretanto, os valores diferem significativamente em termos relativos. Valores menores do índice de vazios obtidos de corpos de prova para os ensaios triaxiais podem explicar em parte os valores maiores de S_u . Os espécimes foram moldados de porções mais superiores do cilindro de solo artificial adensado, onde era perceptível que a drenagem era mais efetiva em relação à porção mediana (onde os ensaios de palheta

e cone foram executados). Mesmo entre valores de resistência obtidos diretamente de ensaios de palheta e estimados a partir dos ensaios de cone de queda livre existe uma diferença significativa. Cabe destacar que o fator de cone empregado foi obtido de relações estatísticas estabelecidas com os mesmos equipamentos deste trabalho e empregando solos artificiais com diferentes composições a partir de caulim, bentonita e areia (Ref. [4]).

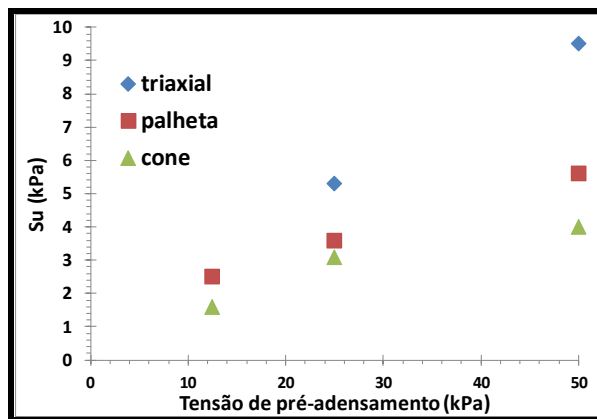


Figura 3. Resultados da resistência não drenada obtidos em cada ensaio.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio a pesquisa na forma de bolsas de iniciação científica.

4. REFERÊNCIAS

- [1] Alves, A.M.L.; Costa, S.C.K.; Bastos, C.A.B. “Resistência ao cisalhamento de misturas caulim-bentonita através de ensaio de palheta miniatura”. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2010, Gramado/RS. Anais... Gramado/RS: ABMS, 2010. CD-ROM.
- [2] Bastos, C.A.B.; Alves, A.M.L.; Vargas, L.E.; Oliveira, C.L. “Avaliação da resistência não drenada de solo artificial a base de caulim empregando diferentes técnicas”. In: IX Seminário de Engenharia Geotecnia do Rio Grande Do Sul, 2017, Caxias do Sul/RS. Anais... ABMS e UCS, 2017, p.481-490.
- [3] Hansbo, S. “A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test”. Proceedings Royal Swedish Geotechnical Institute, nº 14, 1957, p.7-47
- [4] Bastos, C.A.B.; Alves, A.M.L.; Pereira, M.C.; Rosa, K.L.; Viegas, M.R.; Jesus, S.H.G. “Estudo sobre a resistência não drenada de solos finos pelo ensaio de cone de queda livre empregando amostras de solos artificiais”. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2014, Goiânia/GO. Anais... Goiânia/GO: ABMS, 2014. CD-ROM

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho proposto atingiu seu objetivo ao obter resultados de resistência não drenada de solos artificiais produzidos com um caulim silto-argiloso medianamente plástico. Os solos foram pré-adensados sob diferentes tensões (12,5, 25 e 50 kPa) e tiveram Su avaliado diretamente por ensaios triaxiais não adensados não drenados e ensaios de palheta de laboratório, e, indiretamente, por ensaios de cone de queda livre de laboratório. Os resultados confirmam a elevação da resistência não drenada com o adensamento do material, entretanto os valores diferem significativamente conforme a técnica empregada. A pesquisa tem continuidade com a realização do mesmo rito experimental para solos artificiais de composição diversificada a partir da incorporação de bentonita em diferentes teores.