



ESTUDO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA DE SOLOS ARTIFICIAIS REMOLDADOS ATRAVÉS DO ENSAIO DE CONE DE QUEDA

Camila Larrosa de Oliveira

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

Luiza Vargas Eichelberger

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

Antônio Marcos de Lima Alves

Professor/Pesquisador da Escola de Engenharia - FURG
antonioalves@furg.br

Cezar Augusto Burkert Bastos

Professor/Pesquisador da Escola de Engenharia - FURG
cezarbastos@furg.br

Resumo. Foi aplicado o ensaio de cone de queda ao estudo da resistência ao cisalhamento não drenada de solos artificiais remoldados, produzidos a partir de misturas de caulim, bentonita e água destilada. As amostras de solo foram confeccionadas segundo dois diferentes traços dos materiais, e submetidas ao ensaio de cone de queda livre e ao ensaio de palheta de laboratório, para comparação.

Palavras-chave: Ensaio de cone de queda. Resistência ao cisalhamento não drenada. Solos artificiais.

1. INTRODUÇÃO

Uma das propriedades geotécnicas de maior interesse na maioria dos projetos geotécnicos é a resistência não drenada das argilas (s_u), entendida como a resistência ao cisalhamento oferecida pelo solo argiloso quando solicitado rapidamente, sem que haja condição de drenagem da água intersticial. Esta situação costuma ser crítica, pois são comuns condições onde a aplicação das cargas ocorre em tempo menor à possibilidade de drenagem do material.

Logo, um grande número de projetos geotécnicos exige o conhecimento deste parâmetro nas fases de concepção de soluções, dimensionamento e avaliação de segurança.

O cone de queda de laboratório, ou “fall cone test”, foi inventado em 1915 por John Olsson, secretário da “Geotechnical Commission of the Swedish State Railways” (Massarsch e Fellenius [1]). Na Figura 1 encontra-se uma gravura de um dos primeiros equipamentos utilizados.

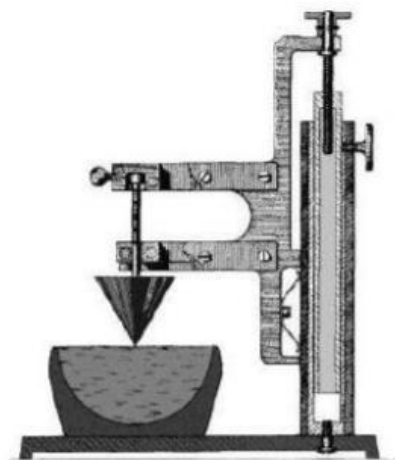


Figura 1. Cone Sueco (Ref. [1])

O ensaio foi concebido originalmente para avaliações da resistência ao cisalhamento não drenada e sensibilidade de argilas remoldadas (Hansbo [2]). Estudos experimentais da resistência ao cisalhamento de argilas com base no ensaio de cone foram realizados por Karlsson [3] e Wood [4], por exemplo. Análises teóricas do ensaio com base na Teoria da Plasticidade foram realizadas por Houlsby [5] e Koumoto e Houlsby [6].

O ensaio é realizado preparando-se uma amostra de solo, e colocando-a em um recipiente padronizado. Um cone de peso e dimensões prescritas é posicionado com sua ponta apenas tocando a superfície da amostra. O cone é liberado a partir do repouso, caindo em queda livre. A distância percorrida após um período prescrito (5 s) é medida. Após o período prescrito, a expectativa é de que o cone esteja quase em repouso, com qualquer movimento subsequente (devido a efeitos de fluência) sendo muito lento.

Este tipo de ensaio é não drenado porque a penetração do cone no solo é muito rápida, não havendo tempo hábil para que a poropressão se dissipe. A norma britânica BS 1377 [7] orienta os procedimentos básicos do ensaio de cone de queda.

A interpretação dos resultados de cone de queda livre, visando a estimativa da resistência não drenada, depende de correlações empíricas desenvolvidas a partir de outros ensaios de laboratório ou de análises teóricas (estáticas e dinâmicas) da penetração do cone.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Dois solos artificiais foram produzidos em laboratório, a partir de misturas fluidas de caulim e bentonita, com os seguintes traços: T0-0 (solo formado apenas com caulim) e T30-0 (solo formado por 30% de bentonita e 70% de caulim). Os materiais secos ao ar foram misturados manualmente e passados na peneira de abertura de 0,42 mm, visando eliminar eventuais partículas de

maior tamanho. A quantidade de água destilada na produção das pastas dos diferentes traços foi calculada para alcançar um teor de umidade próximo de duas vezes o limite de liquidez encontrado na fase de caracterização (pelo método de Casagrande). As misturas úmidas foram então postas para bater durante uma hora em misturador elétrico.

Um recipiente cilíndrico foi utilizado para formar os corpos de prova com as pastas provenientes da mistura, variando-se o teor de umidade do solo a cada bateria de ensaios. As amostras assim confeccionadas foram então submetidas aos ensaios de palheta de laboratório e cone de queda.

No ensaio de palheta de laboratório, o s_u é obtido a partir do torque máximo medido na rotação de uma palheta padronizada, no momento da ruptura, a uma profundidade de 6,3 cm abaixo da superfície da amostra. Os ensaios de palheta de laboratório seguiram o roteiro descrito em Head [8]. O ensaio de palheta foi realizado no centro de cada amostra, conforme mostrado na Fig. 2.

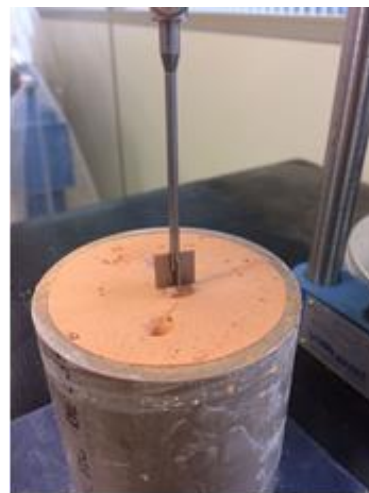


Figura 2. Ensaio de palheta

Já no ensaio de cone de queda, o s_u é estimado a partir da penetração do cone no solo, caindo em queda livre a partir da superfície da amostra. Na Ref. [2] e em Wood e Wroth [9] encontram-se demonstrações de uma relação teórica entre s_u e a penetração do cone, dada pela Eq. (1):

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

onde Q é o peso do cone, d é a penetração do cone na massa de solo, e K é uma constante que, dentre outros fatores, do ângulo do cone. Na Ref. [3] é sugerido o valor de K igual a 0,8 para cones com ângulo de 30° de ápice. O ensaio de cone de queda foi realizado em três pontos ao longo da linha diametral das amostras, conforme mostrado na Fig. 3.



Figura 3. Ensaio de cone

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No gráfico da Figura 4 é mostrada a relação entre a resistência não drenada medida no ensaio de palheta (chamada de s_{uv}), em escala logarítmica, e o teor de umidade (w) das amostras ensaiadas. É mostrada também a equação da reta de melhor ajuste aos pontos experimentais. Observa-se um bom ajuste linear aos pontos experimentais, o que está de acordo com resultados teóricos baseados nas ideias da Mecânica dos Solos dos Estados Críticos (Schofield e Wroth [10]).

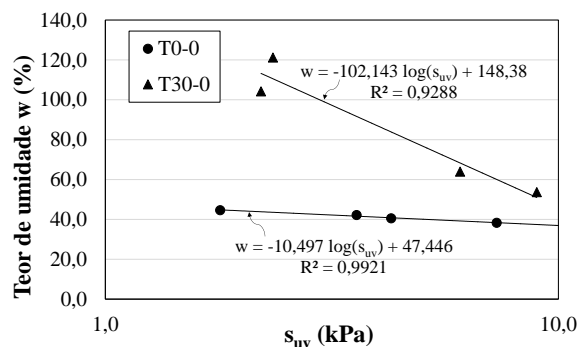


Figura 4. s_{uv} x Teor de umidade (w)

Na Figura 5, mostra-se a comparação entre os resultados do ensaio de palheta de laboratório (em termos da resistência ao cisalhamento não drenada s_{uv}) e do ensaio de cone (em termos da penetração média d), para as amostras ensaiadas.

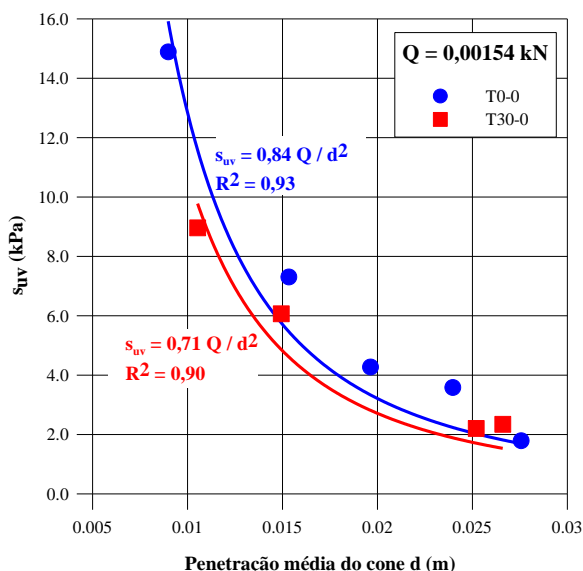


Figura 5. Penetração d x s_{uv}

Foi realizado um procedimento para determinação dos valores da constante K que conduziam ao melhor ajuste entre os pontos medidos e a função matemática expressa pela Eq. (1). Na Figura 5, os valores obtidos para a constante K também são mostrados. Para o solo com traço T0-0, obteve-se um valor de K igual a 0,84, com um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,93. Já para o solo com traço T30-0, foi obtido um coeficiente K igual a 0,71, com R^2 igual a 0,90. Os valores ajustados do fator K estão

muito próximos de 0,8, valor proposto na Ref. [3].

Verifica-se boa concordância entre os resultados experimentais e o modelo teórico apresentado nas Refs. [2] e [9], que indica a proporcionalidade entre a resistência não drenada e a razão entre o peso do cone e o quadrado da profundidade de penetração.

4. CONCLUSÕES

Apesar dos poucos pontos experimentais disponíveis na presente fase da pesquisa, observa-se que a função matemática deduzida nas Refs. [2] e [9] apresenta bom ajuste aos dados experimentais, fato corroborado pelos altos coeficientes de determinação encontrados no procedimento de ajuste de curvas. Além disso, os valores ajustados para o fator K estão muito próximos daquele proposto na Ref. [3], igual a 0,8.

Os resultados da presente pesquisa apóiam o ensaio de cone de queda como valorosa ferramenta expedita na estimativa da resistência ao cisalhamento não drenada de solos argilosos.

5. REFERÊNCIAS

- [1] K.R. Massarsch and B.H. Fellenius, “Early swedish contributions to geotechnical engineering”, in Proceedings of the 2012 GeoCongress, Oakland, pp. 239-256.
- [2] S. Hansbo, “A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test”, in Proceedings of the 1957 Royal Swedish Geotechnical Institute, Stockholm, n° 14.
- [3] R. Karlsson, “Suggested improvements in the liquid limit test, with reference to flow properties of remolded clays”, in Proceedings of the 1961 International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, vol. 1, pp. 171-184.
- [4] D.M. Wood, “Some fall cone tests”, Geotechnique, vol. 35, n° 1, 1985, pp. 64-68.
- [5] G.T. Houlsby, “Theoretical analysis of the fall cone test”, Geotechnique, vol. 32, n° 2, 1982, pp. 111-118.
- [6] T. Koumoto and G.T. Houlsby, “Theory and practice of the fall cone test”, Geotechnique, vol. 51, n° 8, 2001, pp. 701-712.
- [7] BSI, “Methods of test for soils for civil engineering purposes”, BS 1377 (Part 2), Milton Keynes, British Standards Institution, United Kingdom, 1990, 68 p.
- [8] K.H. Head “Manual of soil laboratory testing”, Vol. 2, Pentech Press, London, 1982, 454 p.
- [9] D.M. Wood and C.P. Wroth, “The use of the cone penetrometer to determine the plastic limit of soils”, Ground Engineering, vol. 11, n° 3, 1978, p. 37.
- [10] A.N. Schofield and C.P. Wroth, “Critical State Soil Mechanics”, McGraw-Hill, New York, 1968, 228 p.