

A Diferença nos Resultados dos Ensaios de Caracterização Realizados com e sem Secagem Prévia em Solo Saturado.

Luiz Carlos de Oliveira

Técnico do Laboratório de Geotecnia, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, lcarlos@coc.ufrj.br

Graziella Maria Faquim Jannuzzi

Professora, Escola Politécnica e COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, jannuzzi@coc.ufrj.br

Carolina Buzato Maciel Barreiros Neves

Graduanda, Escola Politécnica da UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, carolbarreiros@poli.ufrj.br

Matheus Araujo Pereira

Graduando, Escola Politécnica da UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, matheus.araujo@poli.ufrj.br

Maurício do Espírito Santo Andrade

Professor, Instituto Politécnico da UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, mandrade@ufrj.br

RESUMO: Os ensaios de caracterização são fundamentais na classificação dos solos. Ensaios mais sofisticados como Triaxiais, Triaxiais cíclicos, DSS, DSS cíclico, adensamento edométrico, CRS, entre outros, utilizam a densidade real dos grãos de solo (G_s) para o cálculo do índice de vazios e do grau de saturação. Adicionalmente, várias correlações utilizam os Limites de Atterberg para estimar os parâmetros do solo. Os ensaios apresentados neste trabalho foram realizados de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O presente trabalho tem por objetivo realizar ensaios de caracterização sem secagem e com secagem prévia, no solo mole, mostrando as diferenças obtidas nos parâmetros de caracterização. Todos os ensaios foram realizados com temperatura controlada de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$. Pôde-se observar grande diferença nos resultados realizados sem e com secagem, respectivamente: LL, 127% e 99%; LP 46%, 36%; G_s , 2,440 e 2,547, granulometria com sedimentação, fração argila 84%, 58%, silte 14% e 33%, areia 2% e 7%. Cabe ressaltar que nos ensaios realizados com secagem prévia, o solo foi seco ao ar.

PALAVRAS-CHAVE: Densidade Real dos Grãos de Solo, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade, Ensaio de Granulometria com Sedimentação, Solo Mole

ABSTRACT: Characterization tests are fundamental tests used in soil classification. More sophisticated tests such as Triaxial, cyclic Triaxial, DSS, cyclic DSS, oedometer consolidation tests, CRS, among others, use specific gravity (G_s) for void index calculation and degree of saturation. Additionally, several correlations use Atterberg Limits to estimate soil parameters. The tests presented in this work were carried out in accordance with the standards of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT). This work aimed to carry out characterization tests with and without pre-drying on soft soil, showing the difference between the results. All tests were carried out at controlled temperature of $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$. It can be observed a big difference in the results obtained without and with drying, respectively: LL, 127% and 99%; LP 46%, 36%; G_s , 2.440 and 2.547, grain size distribution, clay fraction 84%, 58%, silt 14% and 33%, sand 2% and 7%. It should be noted that in the tests carried out with pre-drying, the soil was air-dried.

KEYWORDS: Specific Gravity, Liquid Limit, Plastic Limit, Grain size distribution, Soft Clay.

1 INTRODUÇÃO

Os ensaios de caracterização são fundamentais na Mecânica dos Solos e na Engenharia Geotécnica. Tais ensaios como limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP), densidade real dos grãos (G_s) e granulometria com sedimentação são utilizados na classificação dos solos. Ensaios mais sofisticados como Triaxiais, Triaxiais cíclicos, direct simple shear (DSS), DSS cíclico, adensamento edométrico, constant rate of strain (CRS), entre outros, utilizam a densidade real dos grãos de solo para o cálculo do índice de vazios e do grau de saturação. Adicionalmente, várias correlações utilizam os Limites de Atterberg para estimar parâmetros do solo. No que diz respeito ao estudo do efeito de velocidade, pode-se citar, por exemplo, a influência do índice de plasticidade (IP) no comportamento não drenado das argilas moles.

Os ensaios, apresentados neste trabalho, foram realizados de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 6457/2016 Amostras de Solo - Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização; NBR 6459/2017 Solo - Determinação do Limite de Liquidez; NBR 7180/2016 Solo - Determinação do Limite de Plasticidade; NBR 6458/2017 Grãos de Pedregulhos Retidos na Peneira de Abertura 4,8 mm - Determinação da Massa Específica, da Massa Específica Aparente e da Absorção de Água; NBR 7181/2018 - Solo - Análise Granulométrica.

O presente trabalho aborda as diferenças obtidas nos resultados dos ensaios de caracterização realizados sem secagem e com secagem ao ar. A amostra ensaiada foi coletada no depósito de solo mole de Sarapuú II, na região Metropolitana do Rio de Janeiro.

2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é comparar os diferentes parâmetros de caracterização obtidos a partir de ensaios realizados com e sem secagem prévia, no solo mole de Sarapuú II, na profundidade nominal de 3 m.

3 O CAMPO EXPERIMENTAL DE SARAPUÚ II

O campo experimental de Sarapuú II está localizado na região Metropolitana do Rio de Janeiro, onde existe um depósito de argila orgânica muito mole. As duas primeiras pesquisas em Sarapuú II foram relacionadas a fundações (Francisco, 2004 e Alves, 2004). Várias outras se seguiram, relacionadas à caracterização e estudo de comportamento do depósito através de ensaios de campo (Jannuzzi, 2009) e laboratório (e.g., Jannuzzi, 2013, Aguiar, 2014, Tortureli, 2016.), ao desenvolvimento do piezocone torpedo (e.g., Porto et al., 2010) e ao desenvolvimento da estaca-torpedo (Freitas, 2014, Guimarães, 2015). Projetos de pesquisas em cooperação com a Petrobras estão em andamento e.g., estaca torpedo, subsidência, início da cabeça de poço, onde teses, dissertações e projetos finais de curso estão sendo desenvolvidos. As características geotécnicas deste depósito podem ser vistas em Jannuzzi et al. (2015) e Danziger et al. (2019). Na Figura 1 são apresentadas algumas destas características. Cabe ressaltar a elevada plasticidade do depósito, com IP entre 60% e 170%.

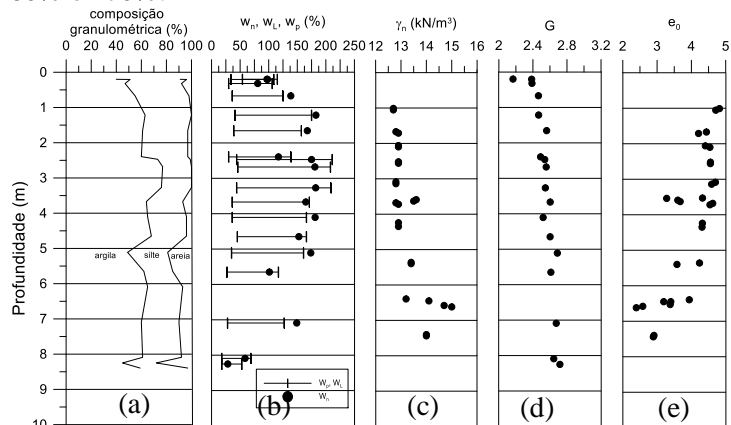


Figura 1. Dados de Sarapuú II: (a) composição granulométrica; (b) teor de umidade natural (w_n), limites de liquidez (w_L) e plasticidade (w_P), (c) peso específico natural (γ_n); (d) densidade real dos grãos (G_s) e (e) índice de vazios (e_v) (adaptado de Jannuzzi, 2013)

4 METODOLOGIA

Os ensaios de caracterização com e sem secagem prévia foram realizados no Laboratório de Ensaios de Campo e Instrumentação Prof. Márcio Miranda Soares, da COPPE/UFRJ, com temperatura controlada de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

4.1 Limite de Liquidez

No que diz respeito aos ensaios de Limite de Liquidez a norma brasileira que padroniza esse ensaio é intitulada Solo - Determinação do Limite de Liquidez (LL) – NBR 6459/2017.

O Limite de Liquidez é definido como o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura nele feita com o cinzel, numa concha, requer 25 golpes para se fechar, ao longo de 13mm de comprimento. A velocidade empregada é de 2 voltas por segundo e o intervalo é de 35 a 15 golpes. O solo ensaiado é o passante na peneira com abertura de 0,425mm.

A ISO 17892-12:2018 Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 12: Determination of liquid and plastic limits, descreve dois métodos para a determinação do Limite de Liquidez: fall cone e Casagrande. Essa norma menciona que: i) sempre que possível o ensaio deve ser realizado com o solo no estado natural; ii) os solos normalmente não devem ser secos em estufas antes dos ensaios, mas se necessário o seu uso, o mesmo deve ser relatado; iii) Para solos que são suscetíveis à oxidação quando expostos ao ar, os ensaios devem ser realizados imediatamente após a extrusão, ou se realizado mais tarde, o corpo de prova deve ser selado até a realização do ensaio.

A Figura 2 ilustra algumas etapas do ensaio de Limite de Liquidez

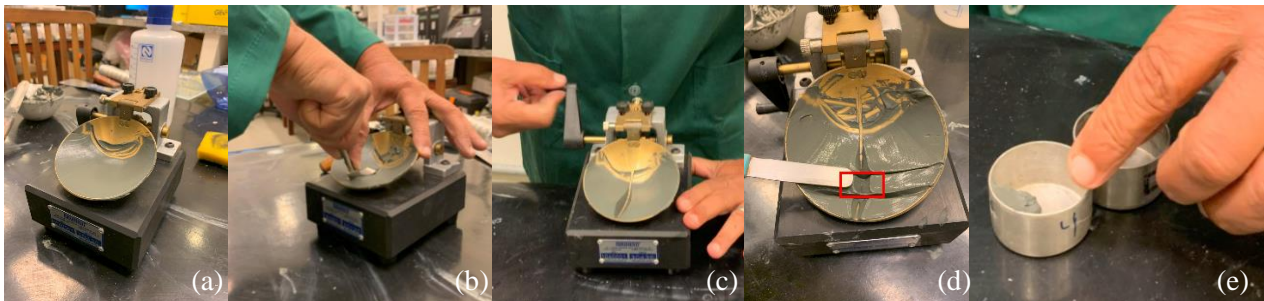


Figura 2. Algumas etapas do ensaio de Limite de Liquidez: (a) moldagem do solo na concha, (b) ranhura sendo realizada com o cinzel, (c) ensaio sendo realizado com a velocidade de 2 voltas por seg, (d) fechamento da ranhura ao longo dos 13 mm, (e) retirada da parte da ranhura que fechou para a determinação da umidade.

4.2 Limite de Plasticidade

No que concerne ao Limite de Plasticidade a norma brasileira que padroniza esse ensaio é intitulada Solo - Determinação do Limite de Plasticidade (LP) – NBR 7180/2016. A amostra utilizada é cerca de 200 gf passante na peneira 0,42mm.

O Limite de Plasticidade é o teor de umidade correspondente à amostra de solo que ao ser moldada no formato de um cilindro com diâmetro de 3 mm e comprimento da ordem de 100 mm (o que se verifica com o gabarito de comparação) necessariamente fatura, tornando, portanto, o referido cilindro um meio descontínuo. As partes fragmentadas devem ser transferidas para um recipiente para se determinar a umidade conforme a ABNT NBR 6457. A Figura 3 ilustra algumas etapas do ensaio de Limite de Plasticidade.

De acordo com a ISO 17892-12:2018 Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 12: Determination of liquid and plastic limits para cada determinação de LP são necessários 3 corpos de prova. Como a norma prescreve a média de 2 determinações, são necessários no mínimo 6 corpos de prova. Ainda de acordo com a ISO 17892-12:2018, se dois resultados de determinações do teor de umidade do limite de plasticidade diferirem mais do que 2 % em valores absolutos para valores de LP menores ou iguais a 40%, ou mais do que 5% para valores de LP maiores do que 40%, o ensaio de limite de plasticidade deve ser repetido.

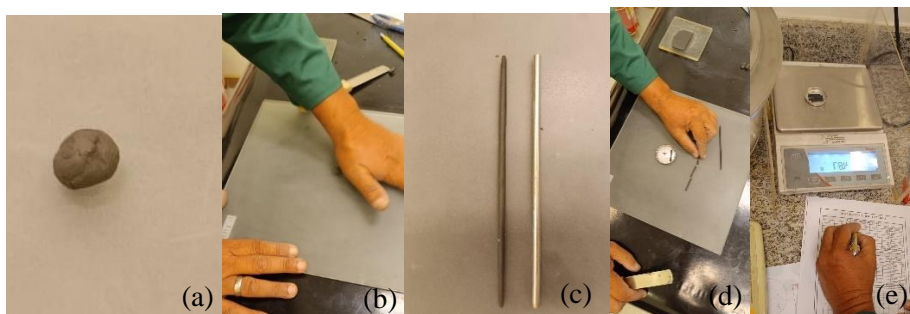


Figura 3. Algumas etapas do ensaio de Limite de Plasticidade: (a) amostra de solo a ser moldada; (b) moldagem do corpo de prova; (c) cilindro fissurado com 3mm de diâmetro e 10 mm de comprimento; (d) separação das partes fissuradas para determinação da umidade; (e) pesagem do cilindro de solo fissurado para determinação da umidade após a secagem com constância de peso em estufa.

4.3 Densidade real dos grãos

A norma brasileira que padroniza este ensaio é intitulada - Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água (NBR 6458/2017). Deve-se destacar que a NBR 6508 foi cancelada, e o conteúdo desta norma encontra-se descrito no anexo B da NBR 6458/2017 que trata da determinação da massa específica dos grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm por meio de picnômetro, com realização de pelo menos 2 ensaios. Na preparação da amostra para o ensaio, toma-se cerca de 250 g da amostra preparada de acordo com a ABNT NBR 6457, quantidade tal que a massa seca esteja em torno de 50 g para solos argilosos e siltosos, e de 60 g para solos arenosos, quando for empregado picnômetro de 500 cm³. Se for utilizar o picnômetro de 1 000 cm³, tomar o dobro da quantidade. Esta norma prescreve o método por meio de picnômetro, através de pelo menos dois ensaios. Cabe salientar a importância da calibração dos picnômetros para a realização do ensaio. A massa específica dos grãos do solo pode ser calculada através da equação (1).

$$\rho_s = \frac{M_1 \cdot \frac{100}{(100+W)}}{\left[\frac{M_1 \cdot \frac{100}{(100+W)}}{100} \right] + M_3 + M_2} \cdot \rho_w(T) \dots \dots \dots (1)$$

Onde:

ρ_s é a massa específica dos grãos do solo, expressa em g/cm³;

M_1 é a massa do solo úmido;

M_2 é a massa do picnômetro ou balão volumétrico adicionado de solo e água, à temperatura T de ensaio;

M_3 é a massa do picnômetro ou balão volumétrico preenchido com água até a marca de referência, à temperatura T de ensaio;

w é a umidade inicial da amostra;

$\rho_w(T)$ é a massa específica da água, à temperatura T de ensaio, obtida na Tabela A.1 da NBR 6458/2017.

A densidade real dos grãos, G_s , é definida como a razão entre a massa específica do solo sobre a massa específica da água na temperatura de 4°C. Assim, a expressão para a determinação do G_s é dada por:

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

A Figura 4 apresenta algumas etapas do ensaio de densidade real dos grãos.



Figura 4. Algumas etapas do ensaio de determinação da densidade real dos grãos: (a) solo imerso em água; (b) dispersão por 15 min; (c) introdução da amostra no picnômetro, (d) aplicação de vácuo; (e) banho maria para estabilizar a temperatura, (f) pesagem do picnômetro contendo água destilada e solo.

4.4 Granulometria com sedimentação

A norma brasileira que padroniza este ensaio é intitulada - Solo – Análise Granulométrica (NBR 7181/2018). Esta norma descreve o procedimento do peneiramento grosso, da sedimentação e do peneiramento fino.

Em linhas gerais no que concerne ao peneiramento grosso, o material retido na peneira de 2,0 mm, é lavado a fim de eliminar o material fino aderente e, em seguida, seco, até constância de peso, em estufa a $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$. O material assim obtido é usado no peneiramento grosso.

No que diz respeito à sedimentação de forma geral, toma-se, do material passado na peneira de 2,0 mm, cerca de 120 g, no caso de solos arenosos, ou, 70 g no caso de solos siltsos e argilosos para fins de realização dos ensaios de sedimentação e peneiramento fino. A umidade higroscópica (w) do material é determinada de acordo com a ABNT NBR 6457/2024. Na sequência, o material assim obtido é transferido para um béquer de 250 cm³ e acrescido o defloculante, com auxílio de proveta; Posteriormente, o béquer é agitado até que todo o material fique imerso e, em seguida, mantido em repouso, por no mínimo 12 h; Em seguida, a mistura é vertida no copo de dispersão e adiciona-se água destilada até que seu nível fique 5 cm abaixo das bordas do copo. A mistura é submetida à ação do aparelho dispersor durante 15 min; Toda a dispersão é então transferida para a proveta, onde adiciona-se água destilada até se atingir nela o volume correspondente a 1 000 cm³. A proveta é em seguida colocada no tanque para banho ou em local com temperatura constante com o objetivo de que a dispersão atinja a temperatura de equilíbrio. Posteriormente, a proveta é tomada e, tampando-lhe a boca com uma das mãos, executam-se, com o auxílio da outra, movimentos enérgicos de rotação durante 1 min. Imediatamente após a referida agitação, a proveta é colocada sobre uma mesa e anota-se a hora exata do início do ensaio sedimentação, o densímetro é então mergulhado cuidadosamente na dispersão. A seguir, leituras do densímetro correspondentes aos tempos de sedimentação são feitas sendo que as três primeiras leituras são repetidas.

Com relação ao peneiramento fino, após a última leitura do ensaio de sedimentação, o material da proveta é vertido na peneira de 0,075 mm. O material é ainda lavado na peneira mencionada empregando-se água potável a baixa pressão. O material retido na peneira de 0,075 mm é então seco em estufa, até constância de peso, à temperatura de $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$. O material assim obtido é usado no peneiramento fino.

A Figura 5 apresenta algumas etapas do ensaio de granulometria com sedimentação.

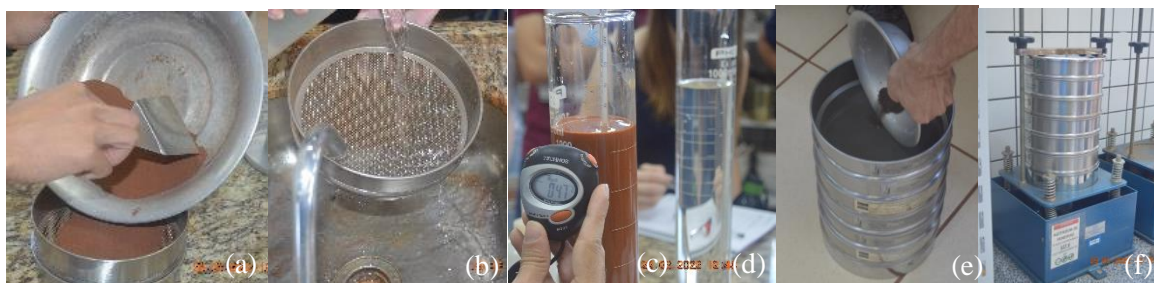


Figura 5. Algumas etapas do ensaio de granulometria com sedimentação: (a) material utilizado; (b) material retido na peneira de 2mm para o peneiramento grosso; (c) leituras iniciais do ensaio; (d) material sendo colocado na série de peneiras do peneiramento fino; (e) agitador de peneiras.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 6 apresenta os resultados do ensaio de Limite de Liquidez realizados (a) sem secagem prévia e (b) com secagem prévia ao ar. Observa-se que o erro relativo foi de 22% tanto para os resultados do Limite de Liquidez quanto para os de Plasticidade, sendo os valores superiores dos ensaios sem secagem prévia.

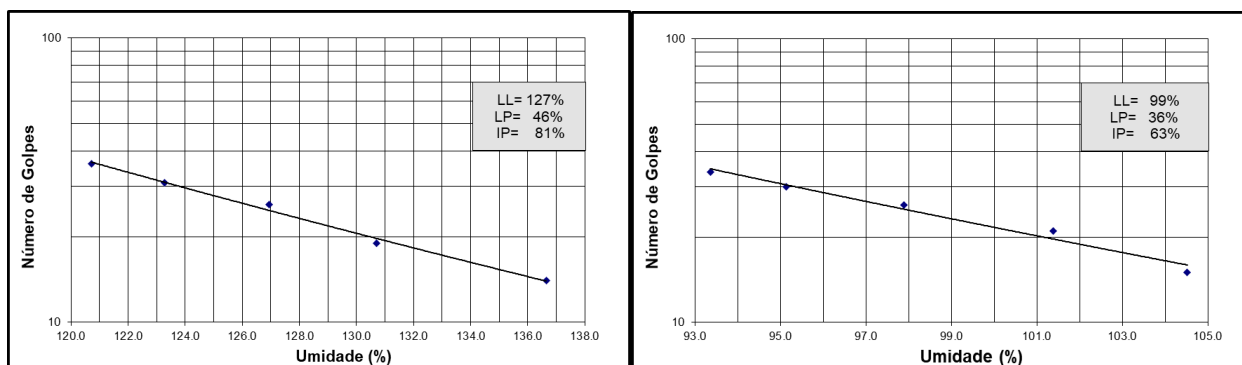


Figura 6. Resultado do ensaio de Limite de Liquidez sem secagem prévia (a) e com secagem prévia (b).

A Figura 7 apresenta as curvas de distribuição granulométrica obtidas em amostras realizadas com (curva em vermelho) e sem (curva em azul) secagem prévia, plotados em conjunto. A Tabela 1 resume os resultados obtidos dos ensaios de caracterização realizados no Campo Experimental de Sarapuí II na profundidade nominal de 3m.

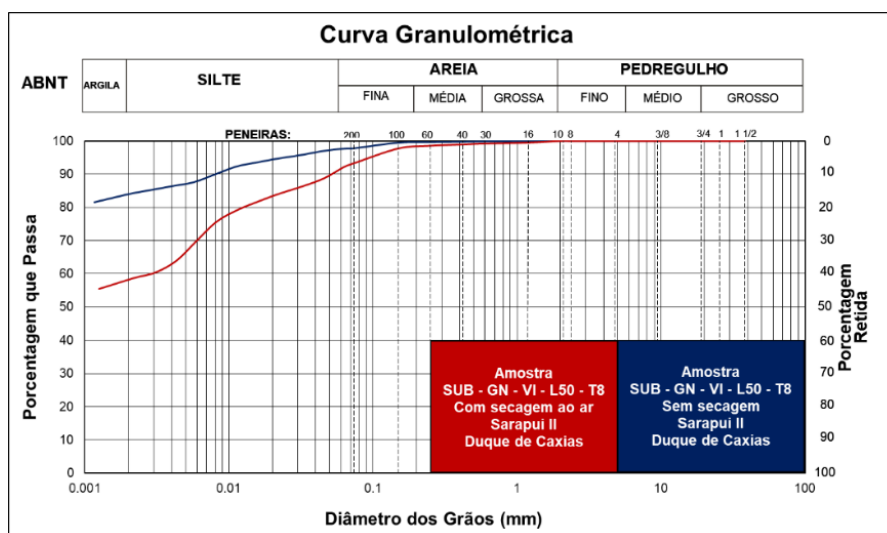


Figura 7. Resultado do ensaio de granulometria com sedimentação sem secagem prévia e com secagem prévia.

Analisando a figuras 6 e a tabela 1, observa-se que o erro relativo foi de 22% tanto para os resultados do Limite de Liquidez, 127% e 99 % sem e com secagem prévia respectivamente, quanto para os de Plasticidade, 46% e 36% sem e com secagem prévia ao ar respectivamente. Valores superiores foram encontrados nos ensaios sem secagem prévia. Este fato pode ter origem em diversos fatores, entre eles a impossibilidade de destorroar o solo de modo a fragmentá-lo nas dimensões de suas partículas originais e ou na oxidação da amostra no caso dos ensaios realizados com secagem prévia.

Na determinação da densidade real dos grãos (G_s) a diferença encontrada foi de 4%, 2,440 e 2,547, ensaios realizados sem e com secagem prévia ao ar respectivamente. O ensaio realizado com secagem prévia pode conter fragmentos de conchas que não foram possíveis de serem removidos na peneira número 0,425mm, peneira número 40, conforme ocorre quando o ensaio é realizado sem a secagem prévia.

Avaliando a figura 7 e a tabela 1, observa-se que os ensaios de granulometria com sedimentação realizados sem e com secagem prévia ao ar mostraram resultados distintos. Pode-se verificar que parte da

fração de argila constatada no ensaio sem secagem prévia (84%) foi depositada como silte e areia no ensaio realizado com secagem.

Tabela 1. Resumo dos ensaios de caracterização com e sem secagem prévia ao ar.

Ensaio	Via Úmida	Via Seca secagem ao ar	Erro relativo (%)
LL (%)	127	99	22
LP(%)	46	36	22
IP(%)	81	63	22
G_s	2,440	2,547	4
Granulometria com sedimentação			
Argila (%)	84	58	31
Silte (%)	14	33	136
Areia Fina (%)	2	7	250
Areia Média (%)	0	1	
Areia Grossa (%)	0	1	
Pedregulho (%)	0	0	

Pode-se verificar através da Carta de Plasticidade de Casagrande, Figura 10, que embora os resultados dos índices de consistência sejam distintos, os mesmos encontram-se no interior de uma mesma faixa, sendo então classificados como argila de alta plasticidade.

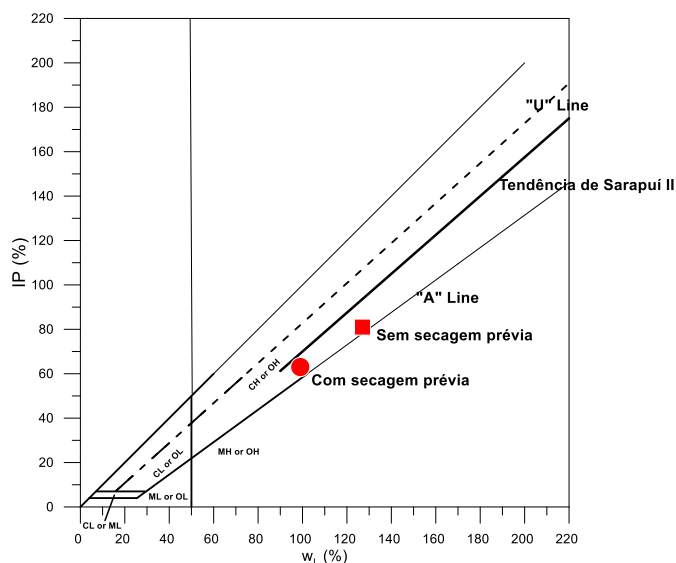


Figura 10. Carta de Plasticidade de Casagrande

6 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Ensaio de limites de liquidez e plasticidade, densidade real dos grãos, granulometria com sedimentação foram realizados no solo mole de Sarapuí II na profundidade nominal de 3m. As normas brasileiras permitem que os ensaios de caracterização sejam realizados com e sem secagem prévia. Assim, para verificar a influência das duas metodologias nos resultados dos ensaios de caracterização, ensaios foram realizados previamente com secagem ao ar e sem secagem. Nos ensaios para a obtenção dos índices de consistência, o erro encontrado foi de 22% tanto para os resultados do Limite de Liquidez, 127% e 99 % sem secagem e com secagem prévia ao ar respectivamente, quanto para os de Plasticidade, 46% e 36% sem e com secagem prévia respectivamente. Na determinação da densidade real dos grãos (G_s) a diferença encontrada foi de 4%, 2,440 e 2,547, nos ensaios realizados sem secagem e com secagem prévia respectivamente. Ensaio de granulometria com sedimentação realizados sem e com secagem prévia mostraram resultados distintos. As diferenças entre

as duas metodologias permitidas não são desprezíveis. Os autores recomendam, portanto, que os ensaios de caracterização em solos saturados sejam realizados sem secagem prévia. No entanto, caso o ensaio seja realizado com secagem, que o fato seja mencionado no relatório de ensaio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colaboradores do Laboratório de Ensaio de Campo e Instrumentação Professor Márcio Miranda Soares, um dos Laboratórios de Geotecnia Professor Jacques de Medina da Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela ajuda na coleta de amostras e realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, V.N. (2014). *Contribuição ao Estudo das Relações Tensão-Deformação-Resistência-Tempo das Argilas Moles*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Alves, A.M.L. (2004). *A influência da Viscosidade do Solo e do Tempo após a Cravação na Interação Dinâmica Estaca-solo em Argilas*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2024). NBR 6457. *Solos – Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180. *Solo — Determinação do limite de plasticidade*. RJ.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 6459. *Solo - Determinação do limite de liquidez*. RJ.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). 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.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 7181. *Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Danziger, F.A.B., Jannuzzi, G.M.F, and Martins, I.S.M. (2019). *The relationship between sea-level change, soil formation and stress history of a very soft clay deposit*. AIMS Geosciences, no. 5: 461-479. Disponível em: <<https://doi.org/10.3934/geosci.2019.3.461>>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- Francisco, G.M. (2004). *Estudo dos Efeitos do Tempo em Estacas de Fundação em Solos Argilosos*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Freitas, A.C. (2014). *Comportamento à Tração de Estaca-Torpedo - Modelo Em Argila Mole*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Guimarães, G.V.M. (2015). *Comportamento de Estaca-Torpedo Modelo Instrumentada em Prova de Carga Horizontal em Argila Mole*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- International Organization for Standardization (2018). ISO 17892-12. *Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 12: Determination of liquid and plastic limits*.
- Jannuzzi, G.M.F. (2009). *Caracterização do Depósito de Solo Mole de Sarapuú II através de Ensaio de Campo*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Jannuzzi, G.M.F. (2013). *Inovadoras, modernas e tradicionais metodologias para a caracterização geológico-geotécnica da argila mole de Sarapuú II*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Jannuzzi, G.M.F., Danziger, F.A.B., Martins, I.S.M. (2015). *Geological-geotechnical characterization of Sarapuú II clay*. Engineering Geology, 190, p. 77–86.
- Porto, E.C., Medeiros Junior, C.J., Henriques Junior, P.R.D., Foppa, D., Ferreira, A.C.P., Costa, R.G.B., Fernandes, J.V.V., Danziger, F.A.B., Jannuzzi, G.M.F., Guimarães, G.V.M., Silva Junior, S.P., Alves, A.M.L. (2010). *The Development of the Torpedo-Piezocone Proc.*, 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Shanghai. Paper No. OMAE2010-20820, June.
- Tortureli de Sá, M. R. (2016). *Ensaio de cisalhamento simples (DSS) cíclico na argila mole de Sarapuú II*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 304 p.