



Determinação do Limite de Liquidez através do Cone Sueco

Camila Woldam Clemente

Universidade Federal do Paraná/Fugro, Curitiba, Brasil, camilawclemente@yahoo.com.br

Vítor Pereira Faro

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vpfaro@ufpr.br

Monica Priscilla Hernandez Moncada

Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil, mopri75@gmail.com

RESUMO: O estudo dos parâmetros de caracterização dos solos auxilia no entendimento do comportamento dos materiais do ponto de vista de resistência e deformações, além de classificar e identificar o solo. O objetivo do presente trabalho consistiu na determinação do limite de liquidez de amostras de solo utilizando o método do Cone Sueco, o qual foi desenvolvido pela Geotechnical Commission of the Swedish State Railways entre 1914 e 1922, e a comparação dos resultados obtidos pelo método clássico de Arthur Casagrande. Para que esta avaliação ocorresse de maneira representativa, foram ensaiadas 31 amostras de solo brasileiras de diferentes origens (amostragens offshore, near-shore, on-shore e rejeito). De forma a compreender o comportamento e aplicabilidade do método de Cone Sueco foram realizados outros ensaios, como análise granulométrica, teor de matéria orgânica e argilomineral presente. Os resultados indicaram uma boa correspondência entre os métodos para valores de limite de liquidez inferiores a 80% e para valores acima, o método utilizado aparentemente tem influência no parâmetro.

PALAVRAS-CHAVE: Consistência, Limites de Atterberg, Cone Sueco, Aparelho de Casagrande.

1 INTRODUÇÃO

Em 1908, Albert Atterberg apresentou uma pesquisa sobre os primeiros resultados acerca da plasticidade do solo e os seus diferentes teores de umidade e três anos depois, publicou sobre a consistência de solos coesivos definindo os limites de liquidez, de plasticidade e de contração (Das, 2012). Em 1932, Arthur Casagrande se aprofundou nos trabalhos de Atterberg e criou o equipamento de determinação de limite de liquidez, o qual é usado até hoje em laboratórios.

O equipamento de Cone Sueco foi desenvolvido entre 1914 e 1922 pelo Geotechnical Commission of the Swedish State Railways com o intuito de determinar a consistência de argilas (Garneau et al., 1977). Através da consistência dos solos é possível estimar o seu comportamento perante tensões e

deformações, influenciando na resistência à penetração e na compactação e afetando a condutividade hidráulica.

O dispositivo de Cone Sueco surgiu como uma alternativa para a determinação do limite de liquidez, resistência não drenada e sensibilidade de argilas, sendo considerado um procedimento rápido, preciso e com baixa influência do operador (Sousa, 2011). Vários estudos foram realizados comparando o Cone Sueco e o aparelho de Casagrande (Garneau e LeBihan, 1977; Leroueil e LeBihan, 1996; Nini, 2014; Spagnoli, 2012), entretanto não existe um ensaio padronizado devido a quantidade de métodos disponíveis para estimar o limite de liquidez pelo Cone Sueco.

O objetivo deste trabalho é avaliar o Cone Sueco como método alternativo para a determinação do limite de liquidez. Para analisar a aplicabilidade do equipamento foi



determinado o limite de liquidez pelo Cone Sueco e aparelho de Casagrande, comparando os valores absolutos e a dispersão associada. A intenção foi indicar quais as diferenças entre um método e outro, e se os resultados obtidos com o Cone Sueco são consistentes quando comparados com o ensaio tradicional de Casagrande.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

De modo a atingir uma abrangência nos resultados foram selecionadas 31 amostras de solo de diferentes regiões do Brasil (amostragens onshore, near-shore e offshore) e variadas características geotécnicas. Devido à quantidade de material disponível, algumas amostras não tiveram todos os ensaios realizados.

Tabela 1 - Identificação das amostras

Amostra	Origem	% Finos
1	Offshore	93,7
2	Offshore	99,0
3	Offshore	81,2
4	Offshore	88,4
5	Offshore	91,5
6	On-shore	97,0
7	Rejeito	31,5
8	Rejeito	88,8
9	Near-shore	91,5
10	Near-shore	77,0
11	Near-shore	71,5
12	Near-shore	77,7
13	Near-shore	-
14	Near-shore	-
15	Near-shore	-
16	On-shore	62,9
17	Offshore	100,0
18	On-shore	63,0
19	Offshore	100,0
20	On-shore	51,0

Tabela 1 - Identificação das amostras (continuação)

Amostra	Origem	% Finos
21	On-shore	70,0
22	On-shore	61,0
23	On-shore	68,0
24	On-shore	40,0
25	On-shore	63,0
26	On-shore	65,0
27	On-shore	61,0
28	On-shore	74,0
29	On-shore	80,0
30	On-shore	56,0
31	On-shore	61,0

Legenda: % Finos = percentual de finos.

2.2 Métodos

A determinação do limite de liquidez através do aparelho de Casagrande está descrito na norma NBR6459 (2016). O aparelho é composto por uma concha de latão e uma base em ebonite, em que a concha é golpeada na base por meio de uma manivela. O ensaio inicia-se com a preparação de uma pasta homogênea e transferindo parte desta mistura para a concha do equipamento, moldando para que a região central tenha a espessura de 10 centímetros. Com o uso do cinzel na parte central, realiza-se uma ranhura que divide o solo em duas porções. A consistência da pasta deve fechar a ranhura com aproximadamente 35 golpes. O limite de liquidez é encontrado através de uma representação gráfica do ensaio, correspondente ao teor de umidade equivalente a 25 golpes.

O equipamento de Cone Sueco é composto por um cone de determinada massa e ângulo de abertura suspenso verticalmente somente com a sua ponta tocando a superfície horizontal da amostra de solo. Então, o cone é liberado e cai sob seu próprio peso sobre a amostra, e a penetração é medida. O limite de liquidez é definido como o teor de umidade que um cone de 60 gramas e ângulo de abertura de 60° penetra 10 milímetros de solo.

O procedimento utilizado na presente pesquisa está de acordo com o proposto por



Karlsson (1981). A preparação da amostra ocorre de maneira similar ao realizado no aparelho de Casagrande. A amostra deve ser amolgada até que se torne uma pasta homogênea. Então, coloca-se a amostra no recipiente de ensaio, de forma que não existam bolhas na mistura. As dimensões do recipiente utilizado foram de 7 centímetros de diâmetro e 2,2 centímetros de altura. A ponta do cone é encostada na superfície da amostra de solo e o cone é liberado. Anota-se a penetração deste primeiro ponto e depois, é retirada uma pequena quantidade de material para a determinação do teor de umidade. A obtenção de um ponto de ensaio está apresentada na figura 1 abaixo.



Figura 1 - Determinação de um ponto de ensaio

O restante da amostra é transferido para um pote, onde água é acrescentada a mistura. E assim, o material deve ser homogeneizado novamente, repetindo as etapas descritas anteriormente. Tal como realizado na determinação pelo ensaio de Casagrande, devem ser executados 5 pontos de ensaio no intervalo de penetração de 5 até 15 milímetros. A representação gráfica do ensaio considera os valores de teor de umidade no eixo das ordenadas e os valores de penetração no eixo das abscissas, ambos em escala aritmética, conforme figura 2.

Para a validação do resultado, traça-se uma linha de tendência linear utilizando os pontos determinados durante o ensaio e o coeficiente de correlação (R^2) obtido deve ser maior que 0,95 para o ensaio ser considerado aceitável.

Este método também foi usado para a validação dos ensaios através do aparelho de Casagrande.

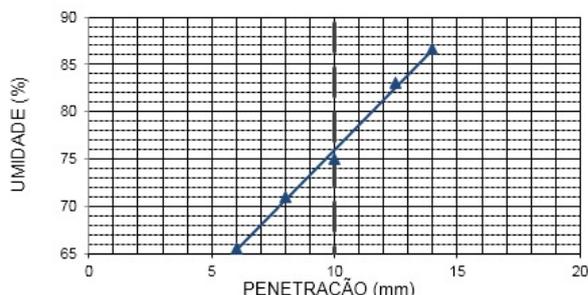


Figura 2 - Representação gráfica do limite de liquidez pelo Cone

No momento, não existe disponível uma norma brasileira que regule o ensaio de limite de liquidez utilizando o Cone.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos de limite de liquidez através do método clássico de Casagrande e do Cone Sueco com os respectivos valores de R^2 alcançado em cada ensaio.

Tabela 2 - Resultados de limite de liquidez

Am.	LL – Casagrande (%)	LL - Cone (%)	R^2 - Casagrande	R^2 - Cone
1	75	80	0,998	0,969
2	100	95	0,985	0,995
3	64	61	0,99	0,978
4	86	76	0,996	0,996
5	54	57	0,997	0,955
6	110	107	0,995	0,998
7	18	23	0,987	0,959
8	49	58	0,989	0,976
9	54	57	0,957	0,986
10	63	63	0,991	0,988
11	51	50	0,952	0,947
12	89	97	0,936	0,999
13	33	34	0,965	0,955
14	83	98	0,966	0,97
15	54	59	0,988	0,99
16	49	58	0,942	0,989



Tabela 3 - Resultados de limite de liquidez (continuação)

Am.	LL – Casagrande (%)	LL - Cone (%)	R ² - Casagrande	R ² - Cone
17	94	82	0,986	0,989
18	34	38	0,985	0,97
19	56	63	0,994	0,926
20	30	33	0,944	0,954
21	41	44	0,998	0,962
22	52	57	0,994	0,978
23	47	54	0,964	0,979
24	40	41	0,994	0,973
25	51	60	0,985	0,988
26	40	53	0,99	0,993
27	48	57	0,993	0,979
28	43	52	0,997	0,965
29	48	52	0,973	0,994
30	24	31	0,978	0,967
31	32	36	0,994	0,969

Legenda: Am. = Amostra; LL = limite de liquidez.

O valor máximo de limite de liquidez encontrado foi de 110% para o aparelho de Casagrande e de 107% para o Cone Sueco, os valores mínimos foram de 18% e 23%, respectivamente. Observa-se que os valores de R² obtidos foram maiores que 0,926, demonstrando um bom ajuste dos ensaios. Avaliando de maneira individual, observa-se que os métodos de Cone e de Casagrande geram valores diferentes para o limite de liquidez, sendo que os maiores foram através do Cone.

Para uma melhor análise dos dados, construiu-se um gráfico em que no eixo das abscissas encontram-se os valores de limite de liquidez por Casagrande e no eixo das ordenadas os obtidos pelo Cone Sueco. O gráfico está apresentado na figura 3.

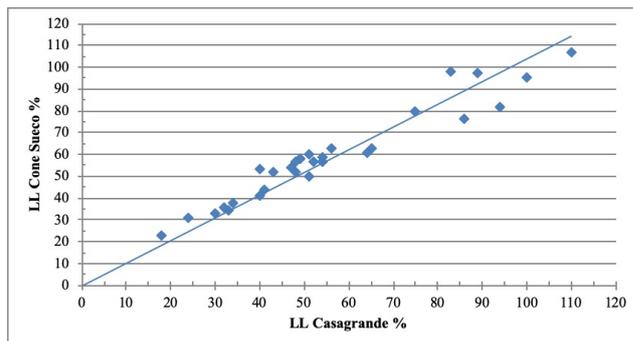


Figura 3 - Comparação entre Casagrande e Cone Sueco

A linha de tendência foi considerada pela origem (45 graus), o que corresponderia a uma correlação ideal entre os métodos, entretanto notou-se uma dispersão dos pontos à medida que as umidades foram aumentando. Analisando os valores de até 80%, o R² é de 0,9453 e se considerarmos os valores maiores que 80%, o R² diminui para 0,1485, indicando uma maior dispersão nos valores.

Conforme estudos anteriores disponíveis na literatura, os valores de Casagrande tendem a serem menores do que o do Cone para menores limites de liquidez e mais altos do que os valores de Cone para limites de liquidez maiores. Para Sridharan e Prakash (1998), a variabilidade dos valores entre os métodos está associado com o argilomineral predominante e a parcela presente na fração argila. Segundo Leroueil e LeBihan (1996), o argilomineral é um fator relevante, mas não o único a ser considerado. Para Bicalho et al. (2014), o valor diferente encontrado entre os métodos se correlaciona com o estudo da resistência não drenada e a fração argila das amostras.

Com a finalidade de compreender esta diferença de comportamento foram estudados outros parâmetros como teor de matéria orgânica e o argilomineral presente. O teor de matéria orgânica das amostras de solo foi determinado conforme norma NBR13600 (1996). O valor máximo de matéria orgânica encontrado foi de 9,8%, portanto as amostras não apresentaram quantidade significativa que pudessem influenciar no resultado de limite de liquidez. Na avaliação dos argilominerais foram executados os ensaios de massa específica real



dos grãos e os cálculos de atividade e índice de plasticidade. Os valores estão apresentados na tabela 3 abaixo.

Tabela 4 - Resultados do cálculo da atividade e índice de plasticidade

Amostra	ρ_s (g/cm ³)	IP	Ac (%)
1	2,737	36	38,42
2	2,759	64	64,65
3	2,708	38	46,80
4	2,712	50	56,56
5	2,722	30	32,79
6	2,631	57	58,76
7	2,698	8	25,40
8	2,750	24	27,03
9	2,645	38	41,53
10	2,635	51	66,23
11	2,533	42	58,74
12	2,651	77	99,10
13	-	19	-
14	-	-	-
15	-	39	-
16	2,836	26	41,34
17	-	67	67,00
18	2,837	13	20,63
19	2,523	28	28,00
20	2,697	14	27,45
21	-	21	30,00
22	-	25	40,98
23	2,695	27	39,71
24	2,621	16	40,00
25	2,776	22	34,92
26	2,609	18	27,69
27	2,707	20	32,79
28	2,644	21	28,38
29	2,642	24	30,00
30	2,631	12	21,43
31	2,830	15	24,59

Legenda: ρ_s = massa específica real dos grãos; IP = índice de plasticidade; Ac = atividade.

Em uma estimativa para determinar os argilominerais, plotaram-se os dados em um gráfico índice de plasticidade versus fração de

argila apresentado por Lambe e Whitman (1969), conforme figura 4 abaixo. Observa-se que os argilominerais dominantes são illita e caulinita. Os valores encontrados nesta avaliação não indicaram informações conclusivas, portanto para avaliar a interferência seriam necessários ensaios mais aprofundados sobre cada tipo de solo utilizado e possivelmente, uma amostragem maior.

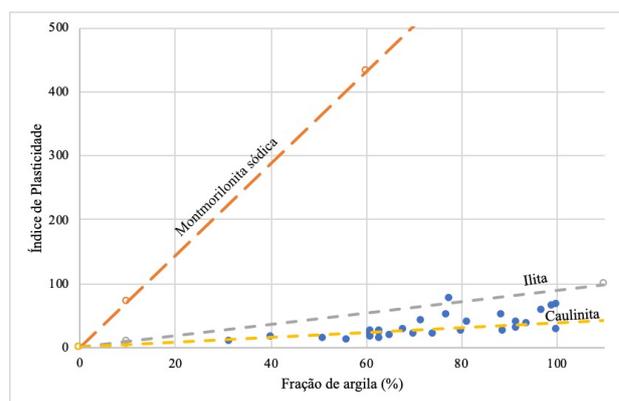


Figura 4 - Gráfico de índice de plasticidade x porcentagem de finos

4 CONCLUSÕES

O equipamento de Cone Sueco é um método com menor tempo de execução, menos interferência do operador e simplicidade na execução do ensaio e cálculo dos resultados.

Alguns parâmetros de caracterização foram determinados, entretanto não foi possível apresentar uma correlação clara entre mineralogia, teor de matéria orgânica e os resultados de limite de liquidez para os dois métodos. Para a estimar influência dos argilominerais e da matéria orgânica seria necessária uma investigação mais detalhada sobre cada tipo de solo utilizado.

Observa-se que os resultados de limite de liquidez indicaram boa correlação entre os métodos para valores de até 80%. Para valores acima de 80%, os valores tendem a dispersar. Neste estudo, notou-se que para grande parte das amostras, os resultados de limite de liquidez pelo Cone Sueco foram maiores, o que condiz



com estudos realizados anteriormente. Uma das possíveis causas para a variação de valores entre os métodos pode ser diferença entre comportamentos para a determinação dos ensaios. No Cone Sueco, há a medição direta da penetração do cone no solo, enquanto no aparelho de Casagrande, o solo se comporta como um teste de “estabilidade de taludes” em que cada golpe do equipamento fornece uma aceleração que faz com que o “talude” se movimente até o fechamento da ranhura. Esta distinção nos processos pode ser uma justificativa mais consistente do que a análise individual dos materiais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná e à Fugro pelo incentivo à pesquisa e suporte técnico.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) NBR6459 – Determinação do Limite de Liquidez, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1996) NBR13600 – Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C, Rio de Janeiro.
- Bicalho, K.V.; Gramelich, J.C.; dos Santos Cunha, C.L. (2014) Comparação entre os valores de limite de liquidez obtidos pelo método de Casagrande e cone para solos argilosos brasileiros, *Comunicações Geológicas*, Vol. 101(III), p. 1097-1099.
- Das, B.M. (2012) *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*, 7.ed., Cengage Learning, 611 p.
- Garneau, R. e LeBihan, J.P. (1977) Estimation of some properties of Champlain clays with the Swedish fall cone, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 14, p. 571-581.
- Karlsson, R. (1981). *Consistency limits: a manual for the performance and interpretation of laboratory investigations*, Swedish Council for Building Research, Part 6, 46 p.
- Lambe, T.W.; Whitman, R.V. (1969) *Soil Mechanics*, John Wiley, New York, 553 p.
- Leroueil, S.; LeBihan, J.P. (1996) Liquid limits and fall cones, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 33, p. 793-798.
- Nini, R. (2014) *Effect of the Silt and Clay Fractions on*

the Liquid Limit Measurements by Atterberg Cup and Fall Cone Penetrometer, The 24th ICTPA Annual Conference & NACGEA International Symposium on Geo-Trans, Paper No. S3-001.

- Sousa, P.M.L.P. (2011) *Limite de Liquidez – Correlações e Comparações entre os métodos de Fall Cone e da Concha de Casagrande*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica (Geotecnia), Universidade Nova de Lisboa, 148 p.
- Spagnoli, G. (2012) Comparison between Casagrande and drop-cone methods to calculate liquid limit for pure clay, *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 92, p. 859-864.
- Sridharan, A.; Prakash, K. (1998) Liquid limits and fall cone: discussion, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, p. 95-99.
- Swedish Standards Institute (1990) *Geotechnical tests – Cone liquid limit*. SIS Förlag AB, Stockholm.