

O ENSAIO DE CONE DE QUEDA LIVRE (“FALL CONE TEST”) NA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

Keli L. Rosa

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

Cezar Augusto B. Bastos

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

Antônio Marcos L. Alves

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

Resumo. O artigo traz uma comparação entre a determinação do limite de liquidez segundo dois métodos consagrados: pelo aparelho de Casagrande e pelo ensaio de penetração de cone de queda livre (*fall cone test*). Foram ensaiadas 24 amostras de solos pelos dois métodos, aplicando-se aos resultados do ensaio de cone o critério da norma britânica (penetração de 20 mm) e da referência francesa (penetração de 17 mm) para determinação do limite de liquidez. Observou-se que o critério britânico (20 mm) é aquele que apresentou maior concordância com os resultados pelo aparelho de Casagrande. Outrossim, aplicado o método dos mínimos quadrados, determinou-se que a penetração que melhor ajusta o conjunto de dados é de 19 mm, com maior afinidade com valores de LL (obtidos pelo aparelho de Casagrande) entre 50% e 90%.

Palavras-chave: Ensaio de cone de queda livre. Limite de liquidez. Ensaio de Casagrande

1. INTRODUÇÃO

Segundo a norma ABNT/NBR 7250/1982, a plasticidade é a propriedade que os solos finos, entre limites de umidade, apresentam de se submeterem a grandes

deformações permanentes, sem sofrer ruptura, fissuração ou variação de volume apreciável. As partículas que apresentam plasticidade são, principalmente, os argilominerais. Nesse contexto, a caracterização da plasticidade de solos argilosos através dos limites de Atterberg é de grande importância na previsão do comportamento geotécnico destes materiais.

Na determinação do limite de liquidez (LL) são utilizados dois ensaios de laboratório: ensaio do aparelho de Casagrande e ensaio de penetração de cone de queda livre (*fall cone test*). No ensaio de Casagrande, o LL corresponde ao teor de umidade ao qual uma pasta composta de solo e água, disposta em uma concha metálica, fecha uma ranhura central aberta por 25 golpes conferidos a concha. Este ensaio é normatizado no Brasil (ABNT NBR 6459/1984). Para o ensaio de penetração de cone de queda livre, o LL corresponde ao teor de umidade ao qual a pasta de solo é penetrada por um cone de 80g e 30° de ápice, liberado da superfície da pasta, em 20 mm (referência britânica - British Standard BS1377/1990) ou 17 mm (referência francesa - Leflaive, 1971).

Conforme diferentes autores, o método do cone traz várias vantagens em relação ao método de Casagrande para determinação do LL, reduzindo a dispersão de resultados e a influência do operador. Apesar da maior

popularidade do método de Casagrande no Brasil, o método do cone já tem sido utilizado em laboratórios no Brasil.

No estudo realizado foram analisadas 24 amostras de solos diversos e todos submetidos a ambos os ensaios, a fim de fazer uma comparação entre os métodos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Solos estudados

Foram selecionadas 24 amostras de solos presentes no Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG. Como critério de seleção os solos deveriam apresentar plasticidade, revelada em ensaios pelo aparelho de Casagrande. Os solos estudados podem ser assim agrupados e identificados:

DS – Solos argilo-siltosos com pouca areia fina de camada estratificada que compõe o subsolo do Superporto do Rio Grande na área da obra do Dique Seco do Estaleiro Rio Grande, em Rio Grande/RS;

SPilha – Solos areno-argilosos dos estratos argilosos que compõe o subsolo da área do Porto Novo de Rio Grande na área do Estaleiro da QUIP, em Rio Grande/RS;

ARMAR – Solo areno-argiloso laterítico que compõe horizonte B de argissolo vermelho amarelo formado sobre sedimentos arenosos de barreira litorânea pleistocênica, em Rio Grande/RS;

RPsg – Solo residual na condição de revestimento primário na área rural de São Gabriel/RS.

2.2. Ensaios realizados

Foram realizados ensaios de determinação do limite de liquidez segundo norma ABNT NBR 6459/1984, empregando o aparelho de Casagrande (Figura 1), e segundo o ensaio de cone de queda livre, pela British Standard BS1377/1990 (Figura 2), ambos, na grande maioria, via úmida.

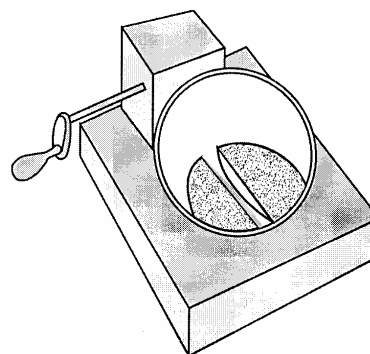


Figura 1. Aparelho de Casagrande

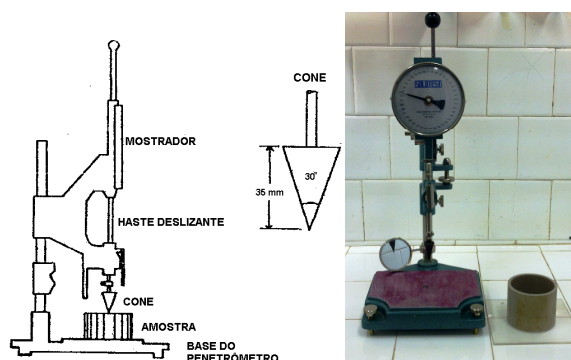


Figura 2. Equipamento para o ensaio de penetração de cone em queda livre

Neste último, o limite de liquidez é determinado a partir do teor de umidade ao qual a pasta de solo é penetrada por um cone de 80g e 30° de ápice e atinge uma penetração estipulada. Enquanto a norma britânica estabelece como 20 mm esta penetração para o LL, a referência francesa tem como 17 mm.

Para cada ponto do ensaio com aparelho de Casagrande era obtido um ensaio de penetração com o cone de queda. O teor de umidade para dada penetração (20 mm ou 17 mm) foi obtido por interpolação.

3. RESULTADOS

3.1. Análise comparativa entre os ensaios

A Tabela 1 apresenta a comparação dos resultados pelos dois ensaios, seguindo a referência britânica para o LL pelo ensaio de cone. É calculada a variação percentual: $\text{variação} = (LL_{\text{casagrande}} - LL_{\text{cone}}) / LL_{\text{casagrande}}$.

Tabela 1. Comparação dos resultados de ensaios de Casagrande e penetração de cone, realizados seguindo-se a norma britânica (*British Standard BS1377/1990*)

Amostra	LIMITE DE LIQUIDEZ – 20 mm			
	Casagrande w(%)	Penetrô metro w(%)	Penetrô metro p(mm)	Varição
DS 1	84	83	21,06	-1,19%
DS 2	72	70	21,4	-2,78%
DS 3	56	58	18,06	3,57%
DS 4	73	69	23,36	-5,48%
DS 5	92	85	24,96	-7,61%
DS 6 - via seco	75	72	20,38	-4,00%
DS 7	92	96	26,36	4,35%
DS 8	104	97	24,75	-6,73%
DS 9	72	76	15,9	5,56%
DS 10	78	77	20,39	-1,28%
DS 11	78	80	17,89	2,56%
DS 12	88	89	18,91	1,14%
DS 13	101	96	22,86	-4,95%
DS 14	112	109	22,55	-2,68%
DS 15	96	92	23,56	-4,17%
DS 16 - via seco	36	36	20,59	0,00%
ARMAR 1	55	58	17,28	5,45%
ARMAR 2	21	33	5,99	57,14%
ARMAR + bentonita 4%	28	36	10,98	28,57%
Spilha 01	29	37	10,42	27,59%
Spilha 02	44	48	14,64	9,09%
Spilha 03	54	55	18,23	1,85%
RPsg 01	32	43	10,38	34,38%
RPsg 02	44	51	11,14	15,91%
VARIAÇÃO MÉDIA				6,51%

A partir dos resultados da Tabela 1, pela norma britânica pode-se observar que houve boa concordância entre os ensaios, com uma variação média de 6,51%.

Já a Tabela 2 apresenta a comparação dos resultados pelos dois ensaios, seguindo a referência francesa para cálculo do LL pelo ensaio de cone. Da mesma maneira que para a norma britânica, a referência francesa também apresentou uma boa concordância, com variação média de 1,58%.

Pode-se observar que variações maiores de 10%, só ocorreram em solos que o limite de liquidez pelo método de Casagrande foi menor que 30%.

Tabela 2. Comparação dos resultados de ensaios de Casagrande e penetração de cone, realizados seguindo-se a referência francesa (Leflaive, 1971)

Amostra	LIMITE DE LIQUIDEZ – 17 mm			
	Casagrande w(%)	Penetrô metro w(%)	Penetrô metro (mm)	Varição
DS 1	84	80	21,06	-4,76%
DS 2	72	67	21,4	-6,94%
DS 3	56	55	18,06	-1,79%
DS 4	73	66	23,36	-9,59%
DS 5	92	82	24,96	-10,87%
DS 6 - via seco	75	69	20,38	-8,00%
DS 7	92	98	26,36	6,52%
DS 8	104	92	24,75	-11,54%
DS 9	72	73	15,9	1,39%
DS 10	78	74	20,39	-5,13%
DS 11	78	76	17,89	-2,56%
DS 12	88	86	18,91	-2,27%
DS 13	101	92	22,86	-8,91%
DS 14	112	106	22,55	-5,36%
DS 15	96	89	23,56	-7,29%
DS 16 - via seco	36	35	20,59	-2,78%
ARMAR 1	55	54	17,28	-1,82%
ARMAR 2	21	31	5,99	47,62%
ARMAR + bentonita 4%	28	33	10,98	17,86%
Spilha 01	29	34	10,42	17,24%
Spilha 02	44	45	14,64	2,27%
Spilha 03	54	53	18,23	-1,85%
RPsg 01	32	40	10,38	25,00%
RPsg 02	44	49	11,14	11,36%
VARIAÇÃO MÉDIA				1,58%

A correlação entre resultados de penetração referentes ao LL dos solos obtidos através de ensaios de Casagrande e fall cone test é demonstrada na Figura 3.

Foi aplicado o método dos mínimos quadrados [$\Sigma (LL_{\text{casagrande}} - LL_{\text{cone}})^2$], para valores de LL calculados pelo ensaio de cone considerando penetrações de 15 a 25 mm. O método consiste em fazer um somatório das diferenças ao quadrado entre o $LL_{\text{casagrande}}$ e o LL_{cone} . Buscou-se obter a penetração que apresentasse maior proximidade com os resultados pelo ensaio de Casagrande. Os resultados dos somatórios são apresentados na Tabela 3.

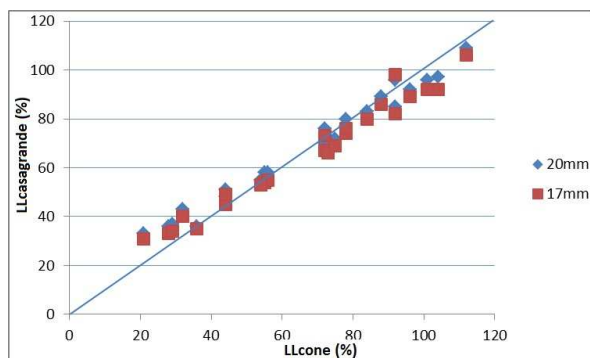


Figura 3. Correlação de resultados de LL, entre os ensaios de Casagrande e de cone para diferentes penetrações em milímetros.

Tabela 3. Aplicação do método dos mínimos quadrados na determinação da penetração de melhor ajuste ao LL por Casagrande.

<i>Penetração (mm)</i>	<i>Somatório das diferenças ao quadrado</i>
15 mm	1248
16 mm	1037
17 mm	840
18 mm	726
19 mm	675
20 mm	688
21 mm	742
22 mm	863
23 mm	1034
24 mm	1217
25 mm	1485

Observa-se que, entre a referência britânica (20 mm) e a francesa (17 mm), a que melhor expressou o LL dos solos estudados foi a britânica, com o somatório das diferenças igual a 688. O valor de penetração que melhor representa, pelo método dos mínimos quadrados, o LL destes solos foi de 19 mm, com somatório das diferenças ao quadrado igual a 675.

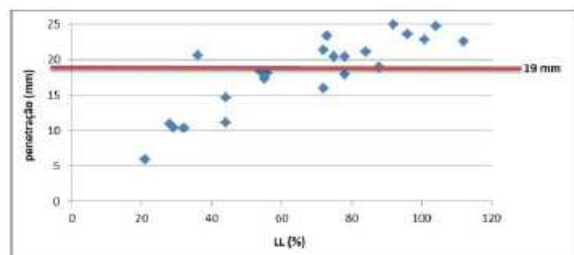


Figura 6. LL de ensaios de Casagrande em relação à penetração de 19 mm

Os valores das penetrações em milímetros versus os LL são representados na Figura 6. Observa-se que a maior afinidade entre os resultados de LL deu-se para valores de $LL_{casagrande}$ entre 50% e 90%.

4. CONCLUSÕES

O ensaio de cone de penetração confirma-se como uma útil ferramenta na determinação do limite de liquidez dos solos. O trato com o método mostra que este ensaio apresenta melhor repetibilidade e menor influência do operador.

Ensaando-se 24 solos diversos verificou-se que a norma britânica (20 mm de penetração) apresenta maior concordância com resultados pelo aparelho de Casagrande. Pelo método dos mínimos quadrados, a penetração que melhor ajustou o conjunto de dados é de 19 mm, com maior afinidade para valores de $LL_{casagrande}$ entre 50% e 90%.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERGS pelo apoio a pesquisa na forma de bolsa de IC.

5. REFERÊNCIAS

ABNT - NBR 6459/1984. **Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. ABNT, Rio de Janeiro.

ABNT - NBR 7250/1982. **Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos**. ABNT, Rio de Janeiro (substituída pela NBR 6484/2001)

BRITISH STANDARD BS 1377. **Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes**. British Standard Institution. 1990.

LEFLAIVE, E. Les limites d'Atterberg et le penetrometer à cone. **Bulletin de Liasson des Laboratoires des Ponts et Chaussées**, France, n.50, p. 123-131. 1971.