

COMPARAÇÃO ENTRE VALORES DE LIMITE DE LIQUIDEZ DETERMINADOS PELOS MÉTODOS DO CONE E CASAGRANDE PARA SOLOS FINOS DE DIFERENTES FORMAÇÕES GEOLÓGICAS.

Janaina KÜSTER³; Enzo GAZOLLI¹; Kátia BICALHO²

Resumo – Os ensaios do Cone de queda livre (LL_{FC}) e de Percussão de Casagrande (LL_{cup}) são os ensaios laboratoriais mais comuns e padronizados para a determinação do limite de liquidez (LL) de solos finos. Esses dois métodos resultam em valores distintos de LL. Os resultados podem variar de acordo com o equipamento utilizado para a realização do ensaio de LL, sendo que os equipamentos do Cone mais usados são os cones britânico ($30^\circ - 80g$) e sueco ($60^\circ - 60g$). Neste estudo, são comparados inicialmente 738 pares de dados de LL previamente publicados na literatura obtidos simultaneamente pelos métodos do Cone (norma britânica e sueca) e Casagrande (com base rígida) em amostras de solo provenientes de diferentes formações geológicas. Os dados foram tratados para a eliminação de *outliers* totalizando dois datasets: Dataset 1 – LL_{cup} e LL_{FC} BS ($n=585$) e Dataset 2 - LL_{cup} e LL_{FC} SS ($n=123$). Os valores de LL determinados pelos métodos investigados apresentam diferenças devido às diferentes metodologias adotadas em cada abordagem. Foram determinadas duas correlações empíricas com os valores medidos de LL_{cup} e LL_{FC} e os resultados são analisados neste estudo.

Abstract – The Fall Cone (LL_{FC}) and Casagrande Percussion tests (LL_{cup}) are the most common and standardized laboratory tests for determining the liquidity limit (LL) of fine soils. These two methods result in different values. The results differ significantly in relation to the apparatus used to carry out the LL test, with the most widely used fall Cone equipment being the British ($30^\circ - 80g$) and Swedish ($60^\circ - 60g$) cones. In this study, 738 pairs of LL data cataloged from technical literature are initially compared, obtained simultaneously in laboratory tests using the Fall Cone method (British and Swedish standard) and the Casagrande method (rigid base) on soil samples from different geological formations. The data was processed to eliminate *outliers*, totaling two datasets: Dataset 1 – LL_{cup} and LL_{FC} BS ($n=585$) and Dataset 2 - LL_{cup} and LL_{FC} SS ($n=123$). The LL values determined by existing methods are not the same due to the different assumptions adopted in each approach. Therefore, in this study two empirical correlations were developed with the measured data of LL_{cup} and LL_{FC} and the behavior of the data are discussed herein.

Palavras-Chave – limites de liquidez; método de percussão de Casagrande; método do Cone de queda.

¹ Eng., Grad, Universidade Federal do Espírito Santo, (27) 99520-3154, enzo.f.silva@edu.ufes.br

³ Eng., MSc: Universidade Federal do Espírito Santo, janaina.hastenreiter@gmail.com

² Eng., PhD, Universidade Federal do Espírito Santo, kvbicalho@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O limite de liquidez (LL) de um solo fino representa, em percentual, de forma aproximada, a transição entre o estado plástico e o estado líquido desse material (Sowers, 1972) sendo o valor máximo do teor de umidade gravimétrica de um solo argiloso na faixa de consistência plástica. Os valores de LL são utilizados na caracterização, descrição e classificação de solos finos, além de servirem como referência para avaliação preliminar do comportamento hidro-mecânico dos solos argilosos em obras de infraestrutura de fundações, aterros e barragens (Crevelin e Bicalho, 2019). O LL apresenta correlações empíricas com várias propriedades de engenharia geotécnica e mecânica dos solos, como resistência ao cisalhamento não drenado, compressibilidade, permeabilidade, e comportamento de expansão (Crevelin, 2018; Küster, 2022; Gazolli, 2025).

Tradicionalmente, o procedimento mais utilizado para a determinação do LL é o método de percussão padronizado por Casagrande (1932) (LL_{cup}) que utiliza o aparelho desenvolvido pelo mesmo (Bicalho et al., 2024). O método apresenta limitações que podem alterar e influenciar os resultados tais como: a interferência do operador e das condições do equipamento (concha do aparelho e cinzel). E, solos de baixa plasticidade tendem a se liquefazer antes de fluir por plasticidade (Kestler, 1982). Uma das principais críticas ao método é o fato de ter-se durante o ensaio um cisalhamento dinâmico (Bicalho, 2014).

O uso do método do Cone (LL_{FC}) para determinar os valores de LL é um método atraente, visto que o método de Casagrande apresenta maior dispersão dos resultados devido à influência do operador na realização do ensaio e das condições do aparelho (Di Matteo, 2012; Mishra et al., 2012; Küster et al., 2024). Os tipos de cone de queda mais comuns para determinação do LL são os cones sueco (60° - 60g) e britânico (30° - 80g) (Leroueil & Le Bihan, 1996).

A utilização de correlações geotécnicas disponíveis na literatura e a classificação dos solos finos pelo ábaco de Casagrande, em geral, são baseadas com valores de LL_{cup} em diversos países (Brasil, Portugal, EUA, Índia). Logo, o extenso banco de dados na literatura técnica com valores de LL_{FC} para aplicações práticas geotécnicas, demanda correlações entre as duas metodologias de ensaio, para determinação do LL_{cup} a partir de LL_{FC} e/ou vice-versa (Gazolli, 2025), visto que os resultados de LL das duas metodologias de ensaios podem variar (Haigh, 2012).

Este estudo investiga e compara 738 pares de dados de LL determinados simultaneamente pelos métodos de percussão de Casagrande (LL_{cup}), conforme a norma brasileira utilizando o aparelho de base rígida, e os métodos do Cone britânico (LL_{FC-BS}) e sueco (LL_{FC-SS}), aplicado a solos finos de diferentes formações geológicas (Brasil, Egito, Equador, Estados Unidos, Grécia, Itália, Portugal, Turquia, Japão, República Tcheca, Alemanha, África do Sul, México e Dinamarca) e intervalo de variação de LL. Os dados iniciais obtido na literatura foram submetidos ao tratamento de dados para eliminação de possíveis outliers (dados atípicos) para a determinação de regressões lineares baseadas na relação entre LL_{cup} e LL_{FC} . As correlações propostas foram analisadas estatisticamente por técnicas que incluem os resultados obtidos para raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro médio absoluto (MAE) e coeficiente de determinação (R^2), além de testes de hipóteses estatísticos para verificação da normalidade do modelo e independência dos resíduos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais / amostras (Pré-processamento e banco de dados)

Os métodos de obtenção do LL (Casagrande e Cone) apresentam variações quanto às características do equipamento. Assim, os valores de LL (LL_{cup} e LL_{FC}) compilados da literatura (Figura 1) para determinação das correlações empíricas foram separados de acordo com a norma do Cone utilizado na determinação do LL (British Standard, BS ou Swedish Standard SS), formando dois Datasets:

- (a) **Dataset 1:** Casagrande e Cone britânico (BS) – 601 pares de LL com $12 \leq LL_{cup} \leq 526$.
- (b) **Dataset 2:** Casagrande e Cone sueco (SS) – 137 pares de LL com $20 \leq LL_{cup} \leq 390$.

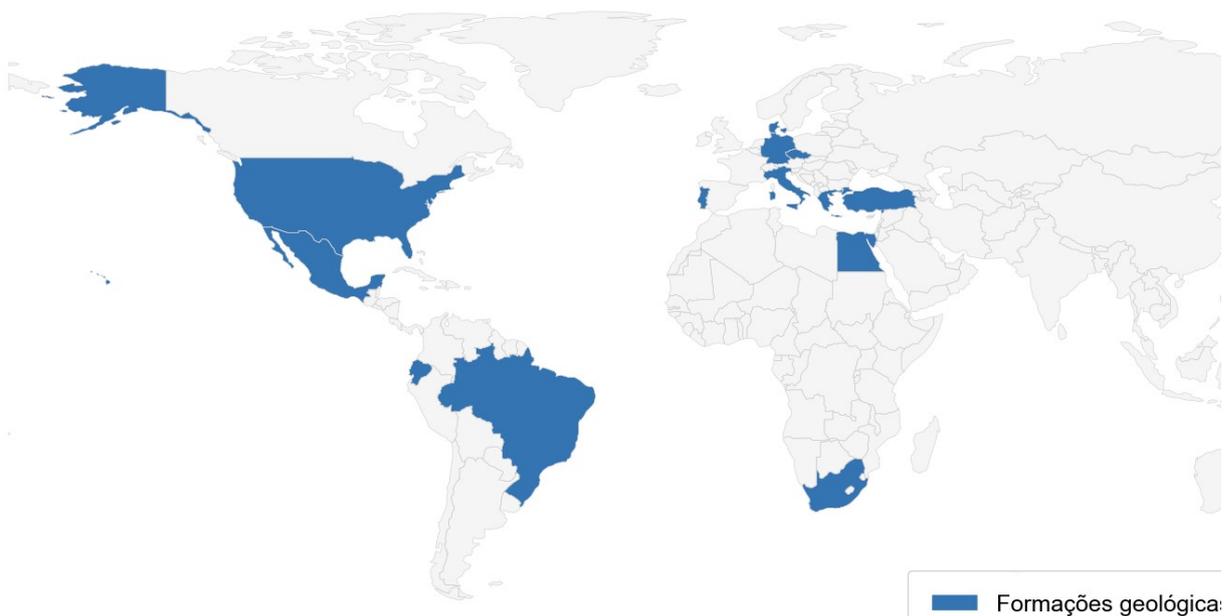


Figura 1. Formações geológicas com pares de dados de LL compilados neste estudo.

Foi investigado no Dataset 1, resultados de ensaios realizados em 601 amostras de solo de diferentes formações geológicas, compilados de 22 publicações prévias da literatura: Wasti e Bezirci (1986); Diniz (1994); Silveira (1998); Campos et al. (1999); Silveira (2001); Deka et al. (2009); Fojtová et al. (2009); Ozer (2009); Kayabali (2011); Mishra et al. (2011); Di Matteo (2012); Spagnoli (2012); Cevallos Luna (2012); Pinto et al. (2012); Flores e Emidio (2014); Quintela et al. (2014); Nini (2014); Couto et al. (2016); Bicalho et al. (2017); El-Shinawi (2017); Theron et al. (2019); Niazi et al. (2019).

O Dataset 2 apresenta os resultados experimentais compilados da literatura para 137 amostras de solo de diferentes formações geológicas, compilados de cinco publicações: Charstaras (1991); Mendoza e Orozco (2011); Gronbech et al. (2011); Clemente (2018) e Clemente et al. (2020).

Os dados foram submetidos a testes estatísticos para a identificação e tratamento dos *outliers* para a elaboração das correlações empíricas entre LL_{cup} e LL_{FC} . A Figura 2 apresenta os diagramas de *Boxplot* para identificação dos *outliers* na base de dados catalogadas da literatura técnica.

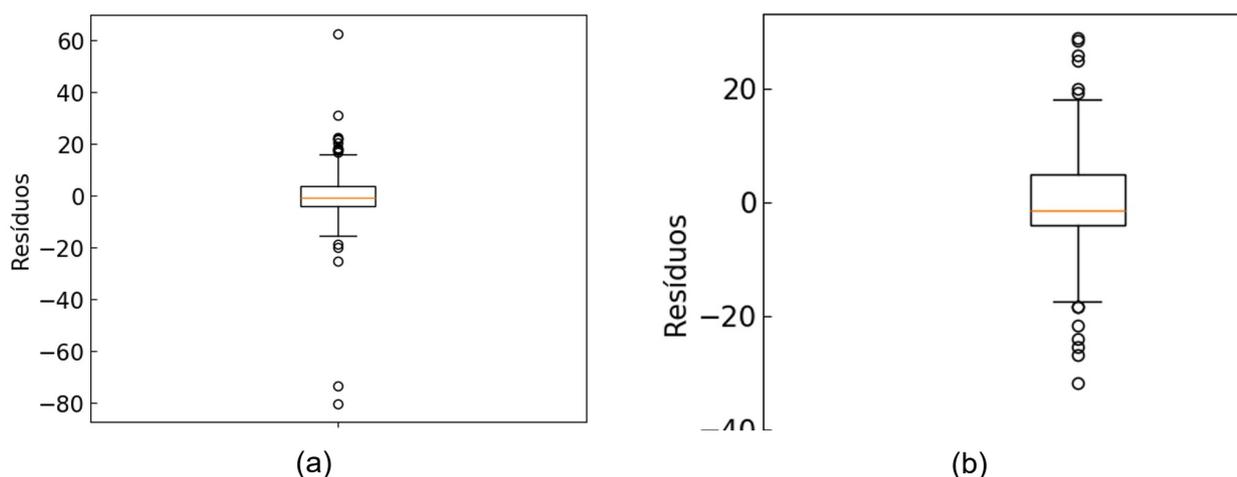


Figura 2. Diagramas de *Boxplot* para identificação dos *outliers* para o Dataset 1 (a) e Dataset 2 (b).

Para o Dataset 1, foram identificados 16 outliers provenientes de solos de alta plasticidade, sendo oito pares de amostras de Wasti e Bezirci (1986), sete pares de Cevallos Luna (2012) e um par de amostra de Quintela et al. (2014), resultando, portanto, em 585 amostras para determinação das correlações empíricas. Para o Dataset 2, foram identificados 14 outliers provenientes de amostras de solos de média à alta plasticidade, sendo sete pares de amostras de Mendoza e Orozco (2001) e sete pares de amostras de Gronbech et al. (2011), resultando, portanto, em 123 amostras utilizadas para definir as correlações empíricas. Os intervalos de LL para o Dataset 1 e Dataset 2 ficaram entre $12 \leq LL_{cup} \leq 460$ e $20 \leq LL_{cup} \leq 346$ respectivamente.

2.2. Correlações empíricas entre LL_{cup} e LL_{FC}

Várias funções empíricas entre LL_{cup} e LL_{FC} para vários solos argilosos já foram publicados na literatura. Tais funções compartilham semelhanças tal que:

$$LL_{FC} (\%) = B + A \cdot LL_{cup} (\%) \pm \epsilon_i \quad (1)$$

onde A e B são os coeficientes de ajuste obtidos a partir de regressão linear dos dados e ϵ_i os resíduos em torno da reta de regressão.

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 apresenta-se o total de 708 pares de dados experimentais de LL_{FC} e LL_{cup} obtidos das 27 publicações prévias catalogadas neste estudo. Além dos dados experimentais, também são representadas as correlações de regressão linear obtidas para os dois grupos (Datasets). As equações obtidas para os Datasets 1 (Eq.2) e Dataset 2 (Eq.3) apresentam altos valores de coeficiente de determinação ($R^2=0,97$) e ($R^2=0,99$) respectivamente.

$$LL_{FC} (\%) = 12,23 + 0,78 \cdot LL_{cup} (\%) \quad (2)$$

$$LL_{FC} (\%) = 7,64 + 0,90 \cdot LL_{cup} (\%) \quad (3)$$

A diferença entre a equação (2) e a equação (3) obtidas neste estudo é de ΔLL ($LL_{cup} - LL_{FC}$) = 38% para $LL_{cup} = 346\%$, evidenciando a diferença no uso das normas sueca e britânica na

determinação do LL pelo método do Cone. Os dados indicam que o uso do Cone pela norma britânica para determinação do limite de liquidez produz resultados ligeiramente menores em comparação ao uso da norma sueca. Essa diferença fica mais evidente com o aumento dos valores de LL.

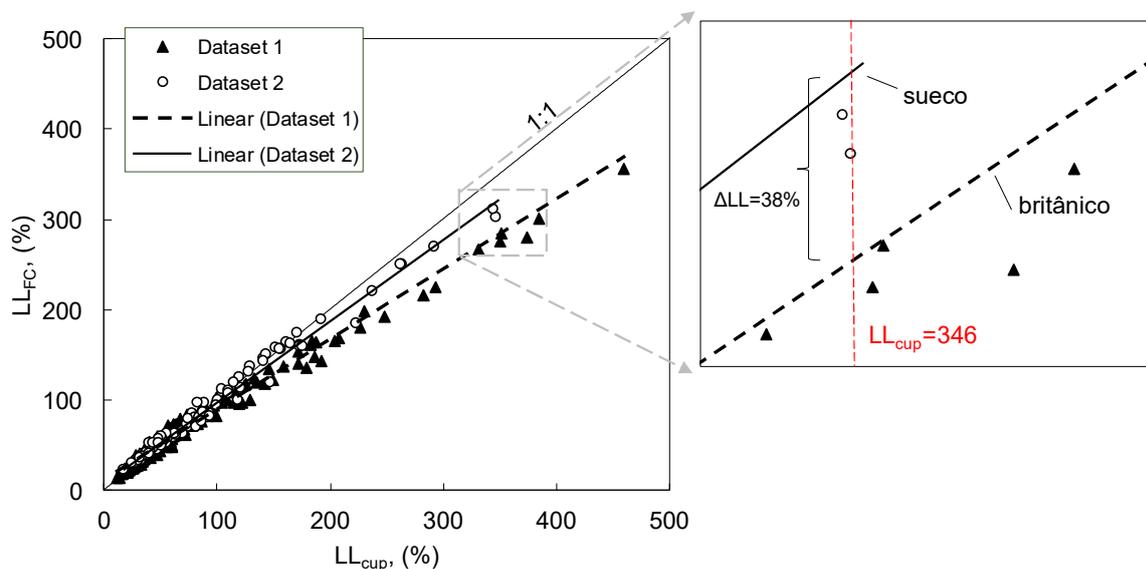


Figura 3. Comparação entre as correlações obtidas para os Dataset 1 ($12 \leq LL_{cup} \leq 460$) e Dataset 2 ($20 \leq LL_{cup} \leq 346$) ($n=708$).

As correlações de regressão linear obtidas foram submetidas à avaliação dos resíduos para as verificações da normalidade de distribuição pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) e de independência dos valores residuais pelo teste de Durbin-Watson (DW). Os testes de hipóteses foram utilizados como critério para a validação do modelo de regressão. Apesar do alto valor do coeficiente de determinação ($R^2 > 0,98$) o teste da estatística DW não foi satisfeito, indicando a presença de heterocedasticidade nos resíduos.

A Tabela 1 apresenta os resultados estatísticos para as duas correlações obtidas neste estudo (Eq. 2 e Eq. 3) para o Erro Quadrático Médio (MSE), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), coeficiente de determinação (R^2), p-valor (KS) e estatística DW.

Tabela 1. Resultados das correlações lineares obtidas neste estudo.

Equação	R^2	MSE	RMSE	DW	KS
Eq.2	0,98	25,62	5,06	0,192	0,847
Eq.3	0,99	41,12	6,41	0,499	0,844

A Figura 4 mostra a variação entre os métodos de Casagrande e Cone (ΔLL) para os dois Datasets analisados. Observa-se que, conforme os valores de LL aumentam, a diferença entre o LL_{FC} e o LL_{cup} torna-se mais evidente e significativa com ΔLL podendo chegar a $>100\%$ para solos muito plásticos. Esses resultados sugerem que, para solos com maior limite de liquidez, os métodos de ensaios para determinação do LL podem apresentar resultados divergentes. Em síntese, a tendência é que a discrepância se intensifique à medida que o LL aumenta, reforçando a necessidade de especificar o método de ensaio LL adotado em solos muito plásticos.

Os dados apresentados na Figura 4 indicam que os valores de LL_{cup} do Dataset 1 passam a ser maior que LL_{FC} para valores de $LL_{cup} > 100\%$. Já para o Dataset 2, os valores de LL_{cup} passam a ser maior que LL_{FC} para valores de $LL_{cup} > 190\%$. Para o intervalo de $LL_{cup} < 100\%$, os valores de LL_{FC} são ligeiramente maiores que LL_{cup} em média 2% em valores absolutos. Este resultado é próximo do valor obtido por publicações anteriores com argilas de diferentes origens geológicas e

LL entre 20 e 50% (Fojtová et al., 2009, ou seja, 2,44%; Di Matteo, 2012, ou seja 2,2% e Bicalho et al., 2014, ou seja 2,7%). No entanto, para solos com $LL_{cup} < 100\%$, ΔLL pode chegar a valores maiores que 15%.

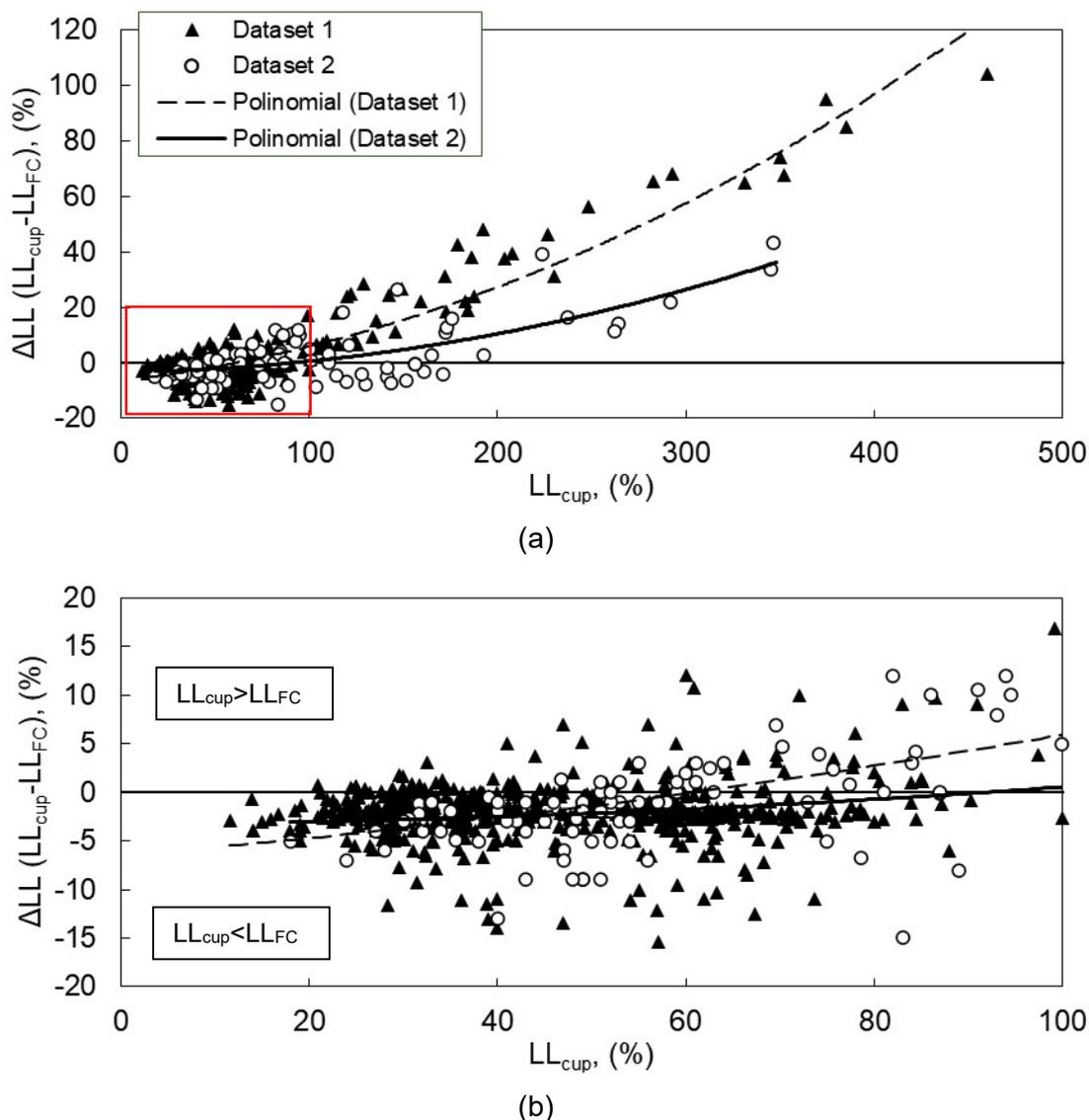


Figura 4. Variação da diferença (ΔLL) entre os métodos de Casagrande e Cone em função de LL_{cup} para (a) $LL_{cup} < 460$ e (b) $LL_{cup} < 100$.

Além disso, a relação LL_{FC}/LL_{cup} pode variar para valores ainda maiores que 1,1 em valores baixos de LL_{cup} (Figura 5) (i.e., $LL < 100\%$), ou seja, vale a pena examinar as diferenças entre LL_{cup} e LL_{FC} (Cone SS e BS) de solos de granulação fina ao aplicar valores de LL obtidos por diferentes padrões em sistemas de classificação de solos e correlações empíricas em engenharia geotécnica, mesmo para $LL_{cup} < 100\%$, onde os valores de LL obtidos pelos métodos de Casagrande e Cone são frequentemente considerados aproximadamente iguais.

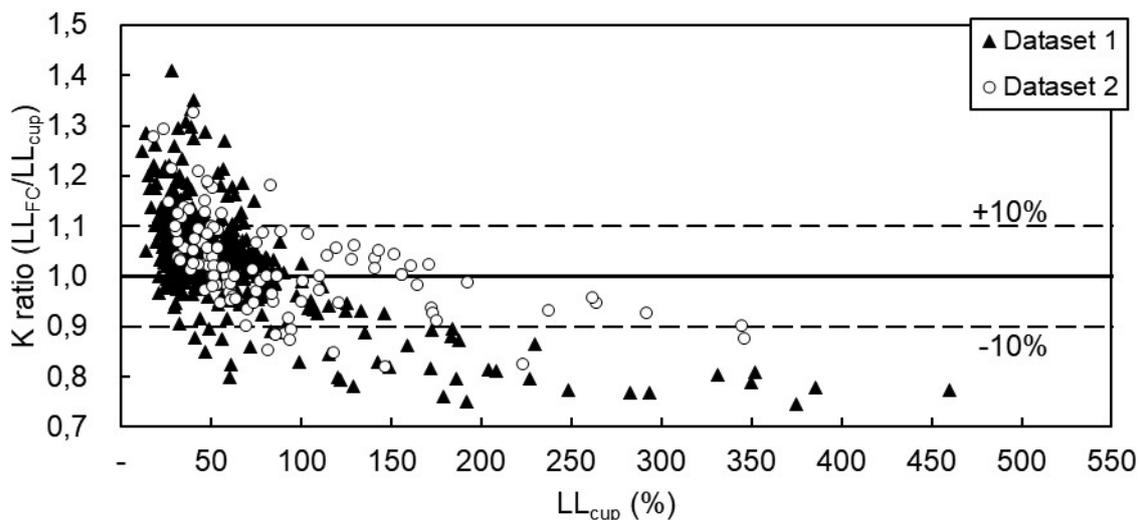


Figura 5. Razão LL_{FC}/LL_{cup} em função do LL_{cup} para os dois Datasets (n=708).

4. CONCLUSÕES

Os resultados dos dados experimentais avaliados neste trabalho indicam uma pequena diferença (aproximadamente 2% em média) entre os valores de LL_{cup} e LL_{FC} medidos para diferentes solos realizados por diferentes operadores para valores de $LL_{cup} < 100\%$. No entanto, para este intervalo, ou seja, $LL_{cup} < 100\%$, ΔLL pode chegar a valores maiores que 15%. E para o intervalo de $LL_{cup} > 100\%$, ΔLL pode chegar a valores maiores que 100% (Para $LL_{cup} > 460\%$). Esses resultados indicam valores de LL_{FC} BS ligeiramente maiores que LL_{cup} para $LL_{cup} < 100\%$, e LL_{FC} SS $> LL_{cup}$ para $LL_{cup} < 190\%$. Além disso, o uso do Cone pela norma britânica (BS) produz resultados de LL_{FC} ligeiramente menores em comparação ao uso da norma sueca (SS) e essa diferença fica mais evidente à medida que os valores de LL aumentam ($\Delta LL = 38\%$ para $LL_{cup} = 346\%$). Duas correlações empíricas foram definidas por regressão linear aplicada aos valores de LL_{cup} e LL_{FC} medidos para solos de diferentes formações geológicas. As correlações obtidas neste estudo são semelhantes a correlações previamente publicadas na literatura. As correlações de regressão obtidas apresentam valores de $R^2 > 0,98$, mas não possuem homoscedasticidade na distribuição dos resíduos, e, portanto, devem ser utilizadas com cautela.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e CNPq pelo apoio obtido para à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BICALHO, K. V., GRAMELICH, J. C., CUNHA, C. L. S., JUNIOR, R. G. S. (2017) “Estudo dos valores do limite de liquidez obtidos pelos métodos de Casagrande e Cone para diferentes argilas”. *Geotecnia*, [S.L.], n. 140, p. 63-72, jun. 2017. Coimbra University Press.
- BICALHO, K. V., GRAMELICH, J. C., CUNHA, C. L. S. (2014) “Comparação entre os valores do limite de liquidez obtidos pelos métodos de Casagrande e cone para solos argilosos brasileiros”. *Comunicações Geológicas*. (2014) 101, Especial III, 1097-1099, 2014.
- BICALHO, K. V., KÜSTER, J. S. H.; GAZOLLI, E. F.; BERTOLDE, A.; HISATUGU, W. H.; MORESCHI, M.; ZUQUETTE, L. V. (2024) “Study of liquid limit values determined using the Casagrande apparatus and the Fall Cone for clays”. In: *Proceedings of the 17th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVII PCSMGE) and 2nd Latin-American Regional Conference of the International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG)*, 2024, La Serena, Chile.
- CAMPOS, L. F. A., MACEDO, R. S. De, KIYOHARA, P. K., FERREIRA, H. C. (1999) “Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural”. *Cerâmica*, [S.L.], v. 45, n. 295, p. 140-145, maio 1999. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s036669131999000500006>.
- CASAGRANDE, A. (1932) “Research on the Atterberg limits of soils”. *Public Road*, v. 13, n. 8, p. 121-136, 1932.
- CEVALLOS LUNA, A. S. (2012) “Determinación del límite líquido y plástico de los suelos mediante el uso del penetrómetro cónico”. 2012. 126 f. Dissertação- Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2012.
- CHRISTARAS, B. A. (1991) “Comparison of the Casagrande and fall cone penetrometer methods for liquid limit determination in marls from Crete, Greece”. *Engineering Geology*, v. 31, p. 131-142. Elsevier Science Publishers B.V., 1991.
- CLEMENTE, C. W. (2018) “Determinação da resistência não drenada através do método do cone em solos marinhos– Análise, conceito e diretrizes”. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.
- CLEMENTE, C. W., FARO, V. P., MONCADA, M. P. H. (2020) “Determination of liquid limit by the Fall Cone method”. *Soils and Rocks*, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 661-667, 31 dez. 2020. ABMS– Brazilian Association for Soil Mechanics <https://doi.org/10.28927/SR.434661>. and *Geotechnical Engineering*.
- COUTO, B. O. C., GOMES, R. C., FERREIRA, L. D. (2016) “Correlação entre os Valores do limite de liquidez obtidos pelos métodos de Casagrande e cone de queda livre para diferentes materiais”. In: *ANAIS DO XVIII COBRAMSEG*, 2016, Belo Horizonte. Anais eletrônicos. Belo Horizonte, 2016.
- CREVELIN, L. C. (2018) “Comparação entre os valores de limite de liquidez obtidos pelos métodos de Casagrande e de Cone para diferentes solos argilosos”. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.
- CREVELIN, L. C., BICALHO, K. V. (2019) “Comparison of the Casagrande and Fall Cone Methods for Liquid Limit Determinations in Different Clay Soils”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, 2019.
- DEKA, S., SREEDEEP, S., DASH, S. K. (2009) “Re-evaluation of Laboratory Cone Penetration Method for High Liquid Limit Based on Free Swell Property of Soil”. *Geotechnical Testing Journal*, v. 32, n. 6, p. 1-6, 2009.
- DI MATTEO, L. (2012) “Liquid limit of low- to medium-plasticity soils: comparison between casagrande cup and cone penetrometer test”. *Bulletin Of Engineering Geology And The Environment*, [S.L.], v. 71, n. 1, p. 79-85, 2012. Springer Science and Business Media LLC.

- DINIZ, M. S. B. (1994) "Avaliação da plasticidade de solos através da utilização do cone de penetração". 133f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba- Brasil. 1994.
- EL-SHINAWI, A. (2017) "A Comparison of Liquid Limit Values for Fine Soils: A Case Study at the North Cairo-Suez District, Egypt". *Journal Geological Society of India*, v. 89, p. 339-343, mar. 2017.
- FOJTOVÁ, L. MARSCHALKO, M., FRANEKOVÁ, R. KOVAR, L. (2009) "Study of compatibility of methods for liquid limit measurement according to Czech State Standart and newly adopted European Standart". *GeoScience Engineering LV*, v. 1, p. 233-241, 2009.
- GAZOLLI, E.F.S. (2025) "Estudo de correlações entre limites de liquidez pelos métodos de Casagrande e Cone para diversos solos argilosos". 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2025. 167 p.
- GRONBECH, L. G., NIELSEN, B. N., IBSEN, L. B. (2011) "Comparison of liquid limit of highly plastic clay by means casagrande and fall cone apparatus". In: *Symposium Proceedings: 64th Canadian Geotechnical Conference and 14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Engineering, 5th Pan-American Conference on Teaching and Learning of Geotechnical Engineering. Pan-AM CGS Geotechnical Conference, 2011.*
- HAIGH, S. K. (2012) "Mechanics of the Casagrande liquid limit test". *Canadian Geotechnical Journal*, [S.L.], 49, n.9, p. 1015-1023, set. 2012. Canadian Science Publishing.
- KAYABALI, K. (2011) "Determination of Consistency Limits: A Comparison between-40 and-200 Materials". *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, v. 16, p. 1547-1561, 2011.
- KESTLER, M. A. (1982) "Correlations and comparisons between the Casagrande liquid limit device and the fall Cone". M. S., Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1982.
- KÜSTER, J.S.H. (2022) "Estudos de correlações e comparações entre limites de liquidez de solos obtidos pelos metodos de Casagrande e Cone". 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria, ES, 2022, 271 p.
- KÜSTER, J.S.H.; GAZOLLI, E. F.; BICALHO, K. V.; ZUQUETTE, L. V.; HISATUGU, W. H. (2024) "Estudo comparativo entre valores de limites de liquidez de solos obtidos pelos métodos de Casagrande e Cone". In: *Proceedings of the 12º Congresso Luso-Brasileiro e 8as Jornadas Luso-Espanholas de Geotecnia*, 23 de agosto de 2024. Lisboa, Portugal. v. 1.ª Ed. p. 107-114.
- LAMBE T. W., WHITMAN R. W. (1969) "Soil Mechanics," John Wiley & Sons, New York, 1969.
- LE ROUEIL, S. & LE BIHAN, J. P. (1996) "Liquid Limits and Fall Cones". *Can. Geotech. J.*, 33: 793-798, 1996.
- MENDOZA, M. J., OROZCO, M. (2001) "Quick and Reliable Procedure for Liquid Limit Determination of Fine-Grained Soils". *Geotechnical Testing Journal*, v. 24, n. 1, p. 103-108, mar. 2001.
- MISHRA, A. K, OHTSUBO, M., LI, L. Y., HIGASHI, T. (2012) "Influence of various factors on the difference in the liquid limit values determined by Casagrande's and fall cone method". *Environmental Earth Sciences*, [S.L.], v. 65, n. 1, p. 21-27, abr. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-011-1061-5>.
- NIAZI, S. F., PINAN-LLAMAS, A., CHOLEWA, C., AMSTUTZ, C. (2019) "Liquid limit determination of low to medium plasticity Indiana soils by hard base Casagrande percussion cup vs. BS fall cone methods". *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, [S.L.], v. 79, n. 4, p. 2141-2158, dez. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01668-y>.
- NINI, R. Effect of the silt and clay fractions on the liquid limit measurements by Atterberg cup and fall cone penetrometer. *International Journal Of Geotechnical Engineering*, [S.L.], v. 8, n. p. 239-241, fev. 2014. <http://dx.doi.org/10.1179/1939787913y.0000000018>.
- OZER, M. (2009) "Comparison of liquid limit values determined using the hard and soft base Casagrande apparatus and the cone penetrometer". *Bulletin Of Engineering Geology And The*

- Environment, [S.L], v. 68, n. 3, p. 289-296, fev. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10064-009-0191-4>.
- PINTO, P. B., ROSA, K. L., ALVEZ, A. M. L., BASTOS, C. A. B. (2012) “Comparação entre Resultados de Ensaios de Casagrande e de Cone de Queda Livre para Determinação do Limite de Liquidez”. 2012.
- QUINTELA, A., COSTA, C., TERROSO, D., ROCHA, F. (2014) “Liquid Limit determination of clayey material by Casagrande method, fall cone test and EBS parameter”. Materials Technology, [S.L], v. 29, n. 3, p. B82-B87, jul. 2014. Informa UK Limited. doi: <http://dx.doi.org/10.1179/1753555714y.0000000153>.
- SILVEIRA, L. C. S. (1998) “Cone de Penetração: Limites de Liquidez Ajustados a Solos Tropicais”. 1998.
- SILVEIRA, L. C. S. (2001) “O cone de penetração como ensaio alternativo na determinação da plasticidade de solos”. In. XXIX COBRENTE. Anais., Porto Alegre, p. 16-19, 2001.
- SOWERS, G. B., SOWERS, G. F. (1972) “Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones”. Tradução de José Menendez. Revisão de Alfonso Rico Rodrigues. 1. ed. México: Editorial Limusa-Wiley S. A., 1972.
- SPAGNOLI, G. (2012) “Comparison between Casagrande and dro-cone methods to calculate liquid limit for pure clay”. Canadian Journal Of Soil Science, [S.L], v. 92, n. 6, p. 859-864, nov. 2012. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.4141/cjss2012-011>.
- THERON, E., STOOT, P. R., VOSLOO, P., LANGROUDI, A. A. (2019) “Assessment of the suitability of the fall cone method to replace the Casagrande cup for liquid limit determination of South African Soils”. In: Proceedings of the 17th African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. At: Cape Town, South Africa, v. 1, p. 175-179, out. 2019.
- VERÁSTEGUI-FLORES, R. D., EMIDIO, G. Di. (2014) “Assessment of clay consistency through conventional methods and indirect extrusion tests”. Applied Clays Science, [S.L], v. 101, p. 632-636, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.09.033>.
- WASTI, Y., BEZIRCI, M. H. (1986) “Determination of the consistency limits of soils by the fall cone test”. Canadian Geotechnical Journal, v. 23, p. 241-246, 1986.