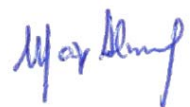


CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

ANANDA GABRIELA TIETZ

**COMPARAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA ATRAVÉS DO MÉTODO
CONE SUECO E CASAGRANDE**



**CASCABEL – PR
2019**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

ANANDA GABRIELA TIETZ

**COMPARAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA ATRAVÉS DO MÉTODO
CONE SUECO E CASAGRANDE**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Mestre Engenheiro Civil
Maycon André de Almeida.

**CASCADEL - PR
2019**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela saúde e força divina para que não desistisse nos momentos de dificuldades.

Agradeço a meus pais, por não medirem esforços para que esse sonho se tornasse realidade. À minha mãe, Rosimeri Voidelo Tietz, obrigada por sempre ter uma palavra de consolo e incentivo nos momentos em que mais precisei; ao meu pai, Rudimar Tietz, obrigada por sempre me incentivar a ser melhor; ao meu irmão, Vítor, e à minha cunhada, Kelly, por sempre me apoiarem durante estes cinco anos.

Ao meu professor orientador, Maycon André de Almeida, obrigada por não medir esforços para realização deste trabalho e por todos os ensinamentos transmitidos, sendo inspiração como profissional.

Agradeço às minhas amigas Leticia Caldat e Georgia Palacio, por compartilharem esta etapa da vida comigo, sempre me apoiando, dividindo angústias e alegrias. Obrigada, Bruna Buttini (*in memoriam*), pela grande amiga que foi e pelo presente de compartilhar a vida acadêmica com você durante três anos.

Agradeço ao meu amigo André Bueno, por me ajudar na realização de todos os ensaios de laboratório e não me deixar desanimar, e aos colegas e amigos que compartilharam muitos momentos bons durante estes cinco anos.

E por fim, não menos importante, pelo nome da coordenadora Débora Felten, agradeço a todos os professores pelos ensinamentos transmitidos durante esta formação acadêmica.

RESUMO

Na mecânica dos solos, conhecer as propriedades do solo é de grande importância, pois, além de classificação e identificação, podemos estimar o seu comportamento de resistência e deformação. O objetivo do presente trabalho foi realizar ensaios para determinação do limite de consistência conforme normas ABNT NBR 6459 (2016) e norma sueca SS 02 71 20, em que o método clássico é composto por uma concha de latão e uma base de borracha rígida (ebonite). No método do Cone Sueco, o equipamento consiste em um cone de metal de determinada massa com certo ângulo suspenso verticalmente apenas com a ponta do cone tocando a superfície da amostra. Quando liberado, o cone cai livremente pelo seu próprio peso sobre a amostra de solo; então, a profundidade final de penetração é medida. Para a representação gráfica, constrói-se um gráfico com os valores de teor de umidade no eixo das ordenadas e os valores da penetração em milímetros no eixo das abscissas, ambos em escala aritmética. As amostras de solos foram coletadas a partir de poço de inspeção realizado no CEEF, e foram conduzidos ao menos cinco ensaios com o Cone Sueco. A cada metro, foram coletadas amostras para determinação do teor de umidade e massa específica natural. Foram utilizados resultados de LL já determinados por Zen e Almeida (2018) e correlacionados com método Cone Sueco.

Palavras-chaves: Limite de limites. Cone sueco. Solos. Mecânica dos solos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação do tamanho das partículas	8
Figura 2: Índice de consistência dos solos argilosos.....	10
Figura 3: Ranhura da pasta homogênea.	11
Figura 4: Fechamento de ranhura.	11
Figura 5: Gráfico de interpretação dos resultados obtidos pelo método Casagrande.....	12
Figura 6: Aparelho para determinação do limite de liquidez.	12
Figura 7: Aparelho para realização do método Cone Sueco.	13
Figura 8: Gráfico de interpretação dos resultados obtidos pelo método cone sueco.....	14
Figura 9: Curva granulométrica do CEEF.....	16
Figura 10: Limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de consistência do CEEF.	16
Figura 11: ..Aparelho utilizado nos ensaios de Cone Sueco	18
Figura 12: Poço de inspeção no CEEF e armazenamento em sacos plásticos. Erro! Indicador não definido.	
Figura 13: Amostras retiradas da estufa após 24 horas à temperatura de 105°C.....	18
Figura 14: Desagregação dos torrões.	19
Figura 15: Peneiramento e pasta homogênea.	19
Figura 16: Solo preparado e ensaio.	20
Figura 17: Leitura inicial e final do cone.	20
Figura 18: Determinação do teor de umidade.	21
Figura 19: Valores de LL do 1º ao 4º metro.....	22
Figura 20: Valores de LL do 5º ao 8º metro.....	23
Figura 21: Valores de LL do 9º ao 12º metro.....	23
Figura 22: Valores de LL do 13º ao 14º metro.....	24
Figura 23: Valores correlacionados LL.....	24
Figura 24: Valores correlacionados de LL.....	26
Figura 25: Valores correlacionados de LL.....	266

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO – *American Association of State Highway Officials*

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEEF – Campo Experimental de Engenharia da FAG

IP – Índice de plasticidade

LL – Limite de liquidez

LP – Limite de plasticidade

M.I.T. – *Massachusetts Institute of Technology*

NBR – Norma brasileira regulamentadora

SUCS – Sistema unificado de classificação dos solos

W - umidade

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	4
1.1 INTRODUÇÃO.....	4
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.3 JUSTIFICATIVA	5
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	5
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	6
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	6
CAPÍTULO 2	7
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1.1 Origem e Formação do Solo	7
2.1.1.1 Índices de Consistência	9
2.1.1.2 Ensaios de laboratório para determinação de limite de liquidez (LL).....	10
2.1.3.1 Método Casagrande	10
2.1.3.2 Método Cone Sueco	13
CAPÍTULO 3	15
3.1 METODOLOGIA.....	15
3.1.1 Local da pesquisa e estudo	15
3.2.1 Desenvolvimento do equipamento	Erro! Indicador não definido.
3.2.1.1 Coleta de amostras no CEEF	17
3.2.1.2 Execução de ensaios com Cone Sueco	18
CAPÍTULO 4	22
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
4.2 RESULTADOS COM ENSAIO DO MÉTODO CONE SUECO.....	22
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	277
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	288
REFERÊNCIAS	299

CAPÍTULO 1

4.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da consistência do solo é de grande relevância, pois demonstra seu comportamento em relação a tensões e deformações, influenciando na resistência à penetração e à compactação e afetando a condutividade hidráulica. Por muito tempo, a engenharia geotécnica foi baseada apenas em experimentos, sem alguma definição científica verdadeira (DAS, 2012).

Em 1911, foram definidos pelo cientista sueco A. Atterberg certos fatores que delimitam o intervalo de consistência do solo, denominados limite de liquidez (LL) e de plasticidade (LP). Em 1932, Arthur Casagrande desenvolveu o equipamento para determinação dessas consistências, hoje conhecido como método clássico, que segue a ABNT NBR 6459 (2016).

Com essa mesma finalidade, tem sido utilizado nos últimos anos o método Cone Sueco, que já existe há 100 anos e foi desenvolvido por John Olsson, entre 1914 e 1922, e também é denominado atualmente de *fall cone* ou cone penetrométrico (SOUZA; VIEIRA; RAFULL, 2011). É uma alternativa atrativa ao método dinâmico de Casagrande (1932), pois é rápido, simples e preciso para determinação de resistências não drenadas, sensibilidade de argilas e limites de liquidez.

Devido à importância do conhecimento do limite de liquidez na caracterização do solo, pretende-se indicar quais são as diferenças entre um método e outro, a fim de correlacionar os métodos e avaliar se resultados obtidos com o método Cone Sueco são consistentes quando comparados com o método Casagrande.

4.2 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a aplicação do Cone Sueco para a determinação do limite de liquidez de solo laterítico da região de Cascavel – PR e sua variabilidade comparada ao método de Casagrande.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar ensaios com o penetrômetro sueco, utilizando amostras deformadas ao longo da profundidade do CEEF.
- Relacionar resultados determinados pelos ensaios com os determinados pelo método de Casagrande, por Zen e Almeida (2018).
- Avaliar se prescrição da norma sueca, aplica-se ao solo laterítico e colapsível de Cascavel/PR.

4.3 JUSTIFICATIVA

Antigamente, não se tinha conhecimento muito aprofundado sobre a resistência do solo. Assim, em 1932, esse desenvolvimento tomou novos rumos a partir de estudos de Arthur Casagrande, que criou seu próprio método e aparelhagem de determinação de limite de liquidez, usado até hoje em laboratórios e conhecido como método Casagrande. Já o método Cone Sueco, apesar de sido criado em 1914, ainda é pouco utilizado, porém, vem ganhando espaço por sua facilidade na execução de ensaio e por ter menos fatores de erros.

O método Cone Sueco surgiu como um método rápido, simples e preciso para determinação de resistência não drenada, sensibilidade de argilas e limite de liquidez. Vários fatores podem ser levados em consideração quando comparados com o método Casagrande, sendo alguns deles a influência do operador no ensaio e inconvenientes gerados pelo aparelho de Casagrande, como dispersão nos resultados, distribuição na concha entre outros.

Este estudo tem o objetivo o desenvolvimento do equipamento para uso em outras pesquisas e de contribuir com a geotecnia local, pois será desenvolvido um banco de dados com resultados e pesquisas envolvendo o solo laterítico de Cascavel – PR, além de compartilhar dados e experiências com outros campos experimentais.

4.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

É possível estimar o limite de liquidez por meio do Cone Sueco com o mesmo rigor que o empregado pelo método de Casagrande?

4.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Kestler (1982) explica que, para o ensaio de Casagrande durante a execução do ensaio em solos com baixa plasticidade, existe a tendência de esses materiais liquefazerem antes de fluírem por plasticidade. Já no método Cone Sueco, também apresentam outras variáveis que limitam sua aplicação, entre elas o tempo de penetração; a rigidez do solo; a textura da superfície do cone; a técnica do operador.

Wasti (1986), Souza, Vieira e Rafull (2011), Spagnoli (2012), assim como Bicalho, Gramelich e Cunha (2014), buscando uma associação entre os valores de liquidez obtidos através dos dois métodos, afirmam que os valores seriam similares quando se estudam argilas puras ou solos com grandes percentuais de argila em sua composição. E, assim, o fato de o método Cone Sueco apresentar mais facilidade em sua execução motiva o uso deste método.

4.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será limitada ao desenvolvimento do equipamento e ensaios de laboratórios com o método Cone Sueco, com amostras do solo do campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz, a fim de correlacionar os resultados com os já existentes determinados pelo método Casagrande por Zen e Almeida (2018), que apresentaram os valores de LL ao longo da profundidade.

As amostras serão coletas através de um poço de inspeção para realização dos ensaios de metro a metro. Restringe-se a esse ensaio apenas correlacionar os resultados obtidos pelo método Cone Sueco com os já existentes pelo método Casagrande.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

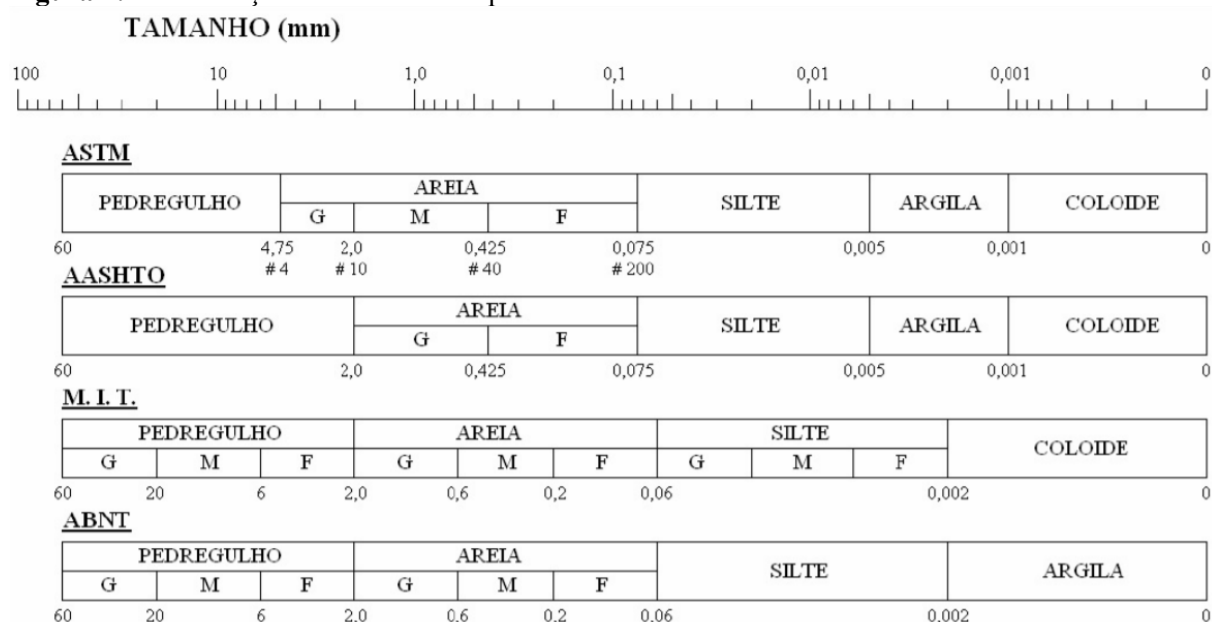
Neste capítulo, serão abordados origem e formação do solo, solo lateríticos, índices de consistência e limite de liquidez.

2.1.1 Origem e Formação do Solo

Segundo Gusmão Filho (2008), o solo é estudado como uma ciência moderna, e vários quesitos são levados em consideração para esse desenvolvimento. São citadas como padrões as principais características morfológicas dos solos, tanto externas quanto internas. Em relação às externas, destacam-se relevo, drenagem, erosão, vegetação e material rochoso; já as características internas são espessura e transição entre eles, cor, textura e consistência. Segundo Terzaghi, a identidade de um solo é feita a partir das partículas que o constituem, pois existe uma imensidade dos tamanhos de grãos, como existem areias com um milímetro e argilas que têm espessura cem vezes menor. Já segundo Das (2011), em geral, os solos são formados a partir do intemperismo das rochas, e as propriedades físicas do solo são determinadas, em princípio, pelos minerais que constituem suas partículas; portanto, pelas rochas das quais se derivam.

O solo em geral recebe a denominação de pedregulho (pedaços de rochas com algumas partículas de quartzo, feldspato e outros minerais), areia (principalmente por quartzo e feldspato e também outros grãos minerais), silte (frações de solo microscópicas que consistem em grãos de quartzo bem-refinados e fragmentos minerais micáceos) ou argila (principalmente formadas por partículas laminares, microscópicas e submicroscópicas de mica, argilominerais e outros), cuja denominação depende do tamanho predominante das partículas presentes.

Para descrever esses solos, várias organizações desenvolveram classificações por tamanho dessas partículas. A seguir, na Figura 1, é apresentada a classificação do solo segundo ABNT NBR 6502 (1995).

Figura 1: Classificação do tamanho das partículas

Fonte: Ucl geotecnia (2013).

Segundo Chiossi (2013), “solos” inclui todo material orgânico, inorgânico ou parcialmente cimentado encontrado na superfície da Terra, classificados como rochas na geologia. Esse material é resultado da decomposição e desintegração da rocha pela ação de agentes atmosféricos. Os tipos de solos que temos devido ao intemperismo são os residuais, transportados, orgânicos, lateríticos e colapsíveis.

O solo residual é formado por praticamente todos os tipos de rochas. Sua composição será de acordo com a mineralogia da rocha de origem, pois não existe contato ou limite direto entre o solo e a rocha que a originou (CHIOSSI, 2013). Pinto (2006) ressalta que esse solo é formado pela decomposição das rochas que se encontram no próprio local em que se formaram e, para que essa formação seja possível, é necessário que a velocidade de decomposição seja maior que a velocidade de remoção de agentes externos. Para essa decomposição acontecer, depende de vários fatores, entre eles a temperatura, o regime de chuvas e a vegetação.

Já os solos transportados são solos que podem apresentar variações em suas profundidades e podem ser mais fofos que os residuais. Conforme for seu agente transportador, esse solo pode exibir grandes variações laterais e verticais em sua composição.

Segundo Pinto (2006), os solos lateríticos são constituídos em sua fração de argila, minerais caulínicos e elevada concentração de ferro e alumínio em forma de óxidos e

hidróxidos, de onde vem sua coloração avermelhada. Na natureza, esse solo apresenta-se como pequeno na capacidade de suporte, pois o índice de vazios é elevado, e estes não são saturados; porém, quando esse solo sofre compactação sua capacidade de carga, torna-se elevado, há contração se o teor de umidade diminuir, e não apresenta expansão na presença de água.

1.1.1 Índices de Consistência

Segundo Gusmão Filho (2008), somente a granulometria não caracteriza o comportamento do solo, porque as partículas finas têm superfície específica muito diferenciada perante a água. Quanto menor for a partícula, maior é a sua superfície específica. A argila é a menor das partículas e tem uma estrutura mineralógica complexa, já que perante a água é muito diferente na maioria dos casos. Das (2011) explica que, no início do século XX, um cientista sueco chamado Atterberg desenvolveu um método para descrever as consistências de solos finos com teores de umidades variados. Ele concluiu que, se os teores de umidade forem muito baixos, o solo se comportará como sólido; já quando o teor de umidade é muito alto, o solo e a água podem fluir como um líquido. Assim, o solo pode ser dividido em quatro estados básicos: sólido, semissólido, plástico e líquido.

Quando ocorre a transição do estado sólido para o semissólido, é definido como limite de contração (LC), assim, este limite é o teor de umidade em termos percentuais, no qual o volume da massa de solo se mantém constante. Quando passa do estado semissólido para o estado plástico, é o limite de plasticidade (LP), o qual é definido como o percentual de teor de umidade no qual o solo colapsa, quando moldados fios com 3,2 mm de diâmetro, ele é o limite inferior do intervalo plástico do solo. Por último, quando passa do estado plástico para o líquido, é chamado de limite de liquidez (LL). Esse limite é definido pela norma ABNT NBR 6459 (2016).

Conclui Gusmão Filho (2008) que o índice de consistência é muito importante, pois prevê o comportamento do solo argiloso e é determinado através da diferença entre o LL e a umidade w do solo dividido pelo índice de plasticidade (IP), o qual representa fisicamente a quantidade de água necessária para que o solo passe do estado plástico para o estado líquido, em que será a diferença entre LL e LP, assim, definido com a Equação 1.

$$IC = \frac{LL - w}{LL - LP} \quad (1)$$

Na Figura 2, apresenta-se o índice de consistência dos solos argilosos.

Figura 2: Índice de consistência dos solos argilosos

Estado	Índice de consistência	Consistência	Nº de golpes (SPT)
Fluido	<0	Fluida, muito mole	<2
Plástico	0,00 a 0,50	Mole	2 a 5
	0,50 a 0,75	Média	6 a 10
	0,75 a 1,00	Rija	11 a 15
Semi sólido	> 1,00	Dura	>15

Fonte: Gusmão Filho (2008, p. 12)

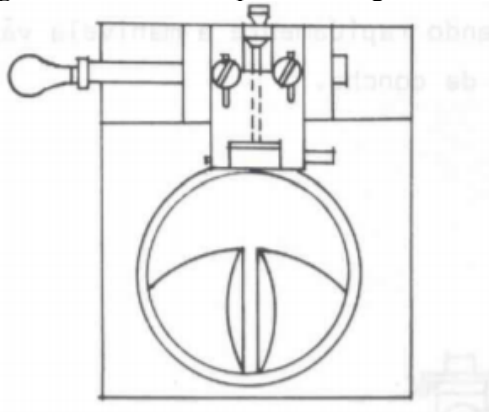
2.1.1 Ensaios de laboratório para determinação de limite de liquidez (LL)

Para Clemente, Moncada e Kormann (2016), a determinação do limite de liquidez é dada por dois métodos, o método definido como clássico, sendo o de Casagrande, proposto por Arthur Casagrande em 1932, e o método alternativo do Cone Sueco, proposto por *Geotechnical Swedish State Railways* em 1915.

2.1.3.1 Método Casagrande

Das (2011) e Clemente, Moncada e Kormann (2016) seguem a ABNT NBR 6459 (2016) para a realização do ensaio. Primeiramente, é feita a preparação do solo conforme ABNT NBR 6457 (2016), em que é colocada uma quantidade de aproximadamente 200g de solo em estufa entre 105° e 110°, que permanece entre 16 e 24 horas. Após a amostra de solo preparada, coloca-se o solo em uma cápsula de porcelana e adiciona-se água destilada, até que se forme uma pasta homogênea. A pasta é transferida para a concha, moldando-a para que consiga dividir na parte central com um cinzel uma ranhura de dez milímetros, conforme Figura 3.

Figura 3: Ranhura da pasta homogênea.



Fonte: ABNT NBR 6459 (2016).

Após, coloca-se a concha no aparelho para golpeá-la contra a base, deixando-a a cair em queda livre, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo. A quantidade de golpes preferencialmente deve ser superior a 25 golpes para fechar a ranhura, conforme representada na Figura 4.

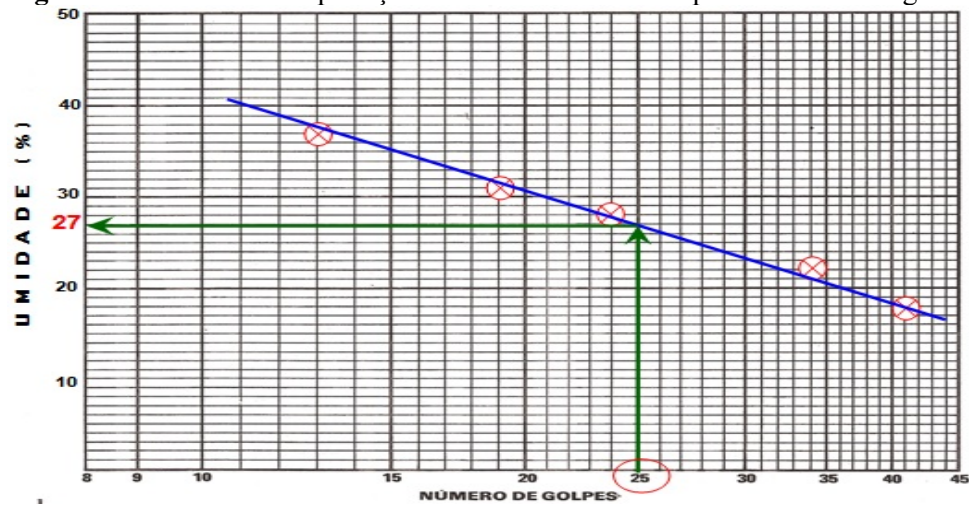
Figura 4: Fechamento de ranhura.



Fonte: ABNT NBR 6459 (2016).

O número de golpes necessários deve ser anotado, e as operações devem ser repetidas para obter pelo menos mais três pontos de ensaio. Com os resultados obtidos, constrói-se um gráfico no eixo das abscissas, que são os números de golpes, e no eixo das ordenadas são os teores de umidade correspondentes, assim, ajustando-se uma reta pelos pontos obtidos, ambos em escala logaritmo. O LL do solo será a reta em que o teor de umidade corresponda a 25 golpes. Na Figura 5, um exemplo do gráfico de interpretação dos resultados obtidos pelo método Casagrande.

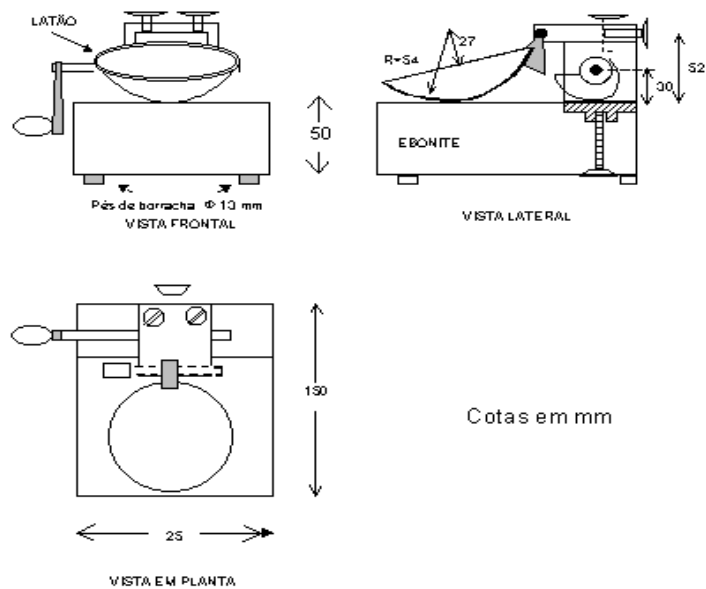
Figura 5: Gráfico de interpretação dos resultados obtidos pelo método Casagrande.



Fonte: Watanabe (2018).

Na Figura 6, apresenta-se o aparelho para realização do ensaio pelo método Casagrande.

Figura 6: Aparelho para determinação do limite de liquidez.

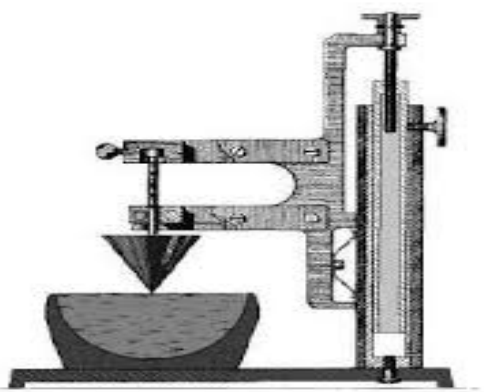


Fonte: ABNT NBR 6459 (2016).

2.1.3.2 Método Cone Sueco

Segundo Couto (2016), esse método alternativo ainda é pouco utilizado no Brasil. Foi desenvolvido em 1914 e 1922 por John Olsson e é denominado Cone Sueco. Este ensaio consiste em um cone padrão, com ângulo do vértice igual a 30° e peso de 80 g. Já Clemente, Moncada e Kormann (2016) apresentam o método com um cone de 60° de abertura e com 60 g. O cone com abertura de 30° de ângulo é baseado na norma britânica BS1377, e o cone com 60° é baseado na norma sueca SS 02 71 20. Na Figura 7, está representado o aparelho utilizado para a realização dos ensaios.

Figura 7: Aparelho para realização do método Cone Sueco.



Fonte: Couto (2016)

Para a execução do ensaio, primeiramente é feita a preparação do solo seguindo a ABNT NBR 6459 (2016); em seguida, coloca-se o solo em uma cápsula de porcelana e adiciona-se água destilada, até que se forme uma pasta homogênea. Após, transfere-se a pasta para uma cápsula de metal. Sobre ela, o cone fica suspenso verticalmente e apenas com a ponta tocando a superfície do solo. Quando liberado, o cone cai livremente pelo seu próprio peso sobre a amostra do solo. Assim, é medida em centímetros a profundidade final que foi penetrada.

Com a sua penetração em 10mm, o LL é apresentado em gráfico, em que os valores de umidade são descritos no eixo y, e os valores de penetração em centímetros no eixo x, ambas em escala aritmética, assim, ajustando-se uma reta, em que o encontro é o LL, como apresentado na Figura 8.

Figura 8: Gráfico de interpretação dos resultados obtidos pelo método cone sueco.



Fonte: Clemente, Moncada e Kormann (2016).

Conforme Clemente (2016), os valores de LL definidos por Casagrande podem ser mais baixos que os de Cone Sueco para LL menores e mais altos para LL maiores, assim, essas diferenças de valores podem ser relacionadas com o argilomineral dominante na argila. Já para Bicalho (2014), esta diferença pode estar ao estudo da resistência não drenada de cada método e o teor de argilas nas amostras. Já sobre a eficaz deste método, ele considera uma boa correlação entre os dois.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

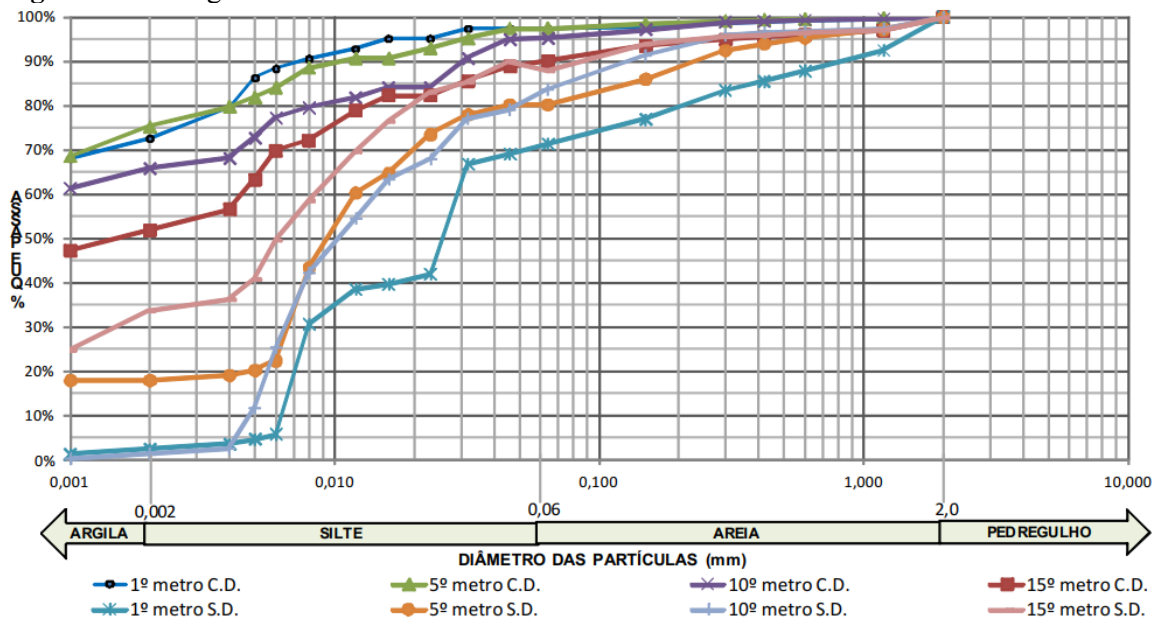
O estudo proposto tem características experimentais e qualitativas para o solo laterítico de Cascavel – PR. O método qualitativo visa a extrair os pensamentos ditos sobre algum tema, objeto ou conceito e, assim, buscar percepções e entendimento sobre a questão em geral. Já a pesquisa experimental é onde o produto é testado em laboratório para obter todas as informações sobre seus resultados. Em geral, mostra o seu desenvolvimento antes mesmo de ser lançado (TELLES J., 2019).

3.1.1 Local da pesquisa e estudo

A cidade de Cascavel/PR é destaque constantemente como uma das melhores do Brasil em questões de crescimento e geração de empregos, investimento de grandes empresas, qualidade de vida entre outros. Segundo IBGE (2015), é a quinta cidade mais populosa do Paraná, com uma estimativa de 312.778 habitantes.

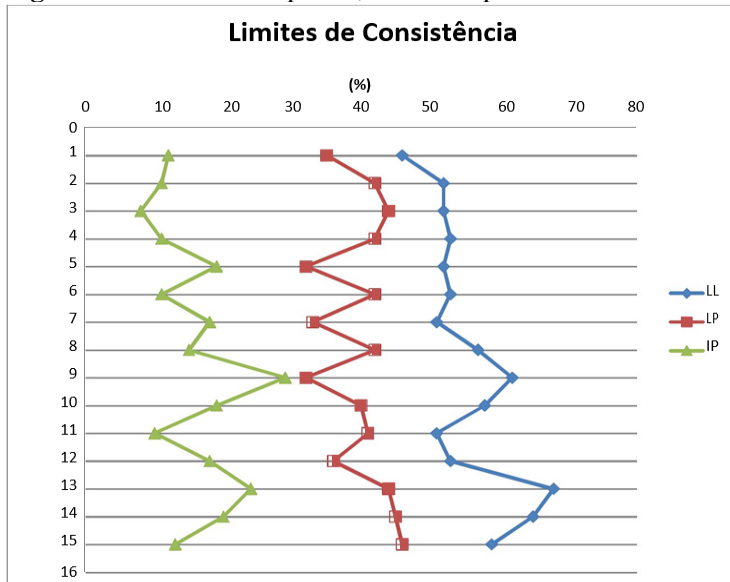
O Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEFG) é uma área destinada a ensaios de solos e fundações, onde já foram realizadas diversas pesquisas, envolvendo caracterização ao longo da profundidade do solo, provas de cargas em placa com solo natural e compactado, poços de inspeções, entre outros de grande importância para o banco de dados do solo de Cascavel – PR.

Conforme Zen e Almeida (2018), o solo do CEEFG classifica-se conforme sua curva granulométrica por Argila Silto Arenosa; pelo Sistema Unificado, classifica-se em solos argilosos muito compressíveis; e com Sistema Rodoviário, classifica-se como argilas siltosas mediantemente plásticas. Na Figura 9, curva granulométrica média do CEEFG definida por Zen e Almeida (2018).

Figura 9: Curva granulométrica do CEEF.

Fonte: Zen e Almeida (2018).

Já a classificação do solo em relação à plasticidade é definida como média plasticidade por Zen e Almeida (2018). A Figura 10 apresenta limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de consistência.

Figura 10: Limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de consistência do CEEF.

Fonte: Zen e Almeida (2018).

3.2.1 Desenvolvimento do equipamento

O equipamento foi desenvolvido em tornearia utilizando como base figuras/imagens relatadas em outros trabalhos. Esse equipamento consiste em um cone de peso específico por norma, o qual pode ser substituído por cone de outro ângulo e peso, pois possui um imã na ponta, o qual se prende ao aparelho. Junto a esse imã, tem uma régua para medir o quanto foi penetrado no solo, assim que solto. Pode-se visualizar o aparelho na Figura 11.

Figura 11: Aparelho utilizado nos ensaios de Cone Sueco.



Fonte: Autor (2019)

3.2.1.1 Coleta de amostras no CEEF

Para a realização deste estudo, foi realizado um furo a trado para a coleta de amostras deformadas do solo de metro a metro, até a profundidade amostrada por Zen e Almeida (2018). Ao chegar aos 15 metros, o solo apresentou condições saturadas. As amostras retiradas foram armazenadas em sacos plásticos no laboratório de Construção Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz. Na Figura 12, apresenta-se o trado usado e o poço de inspeção feito para coleta das amostras e seu armazenamento em sacos plásticos.

Figura 12: Poço de inspeção no CEEF e armazenamento em sacos plásticos.



Fonte: Autor (2018).

3.2.1.2 Execução de ensaios com Cone Sueco

Os ensaios apresentados foram realizados no campus do Centro Universitário Assis Gurgacz no laboratório de Mecânica dos Solos. Foi utilizada como referência a norma sueca SS 02 71 20. Primeiramente, foi realizada a preparação do solo, seguindo a ABNT NBR 6457 (2016). Colocamos uma porção em estufa com aproximadamente 700g de solo de cada metro ensaiado a 105°C por 24 horas, conforme Figura 13.

Figura 13: Amostras retiradas da estufa após 24 horas à temperatura de 105°C



Fonte: Autor (2019).

Após secagem da amostra, foi desterroada com auxílio de um pilão borracha e mão de gral ou com tapete de borracha e pau de macarrão, pressionando a amostra até conseguir a desagregação dos torrões, conforme Figura 14.

Figura 14: Desagregação dos torrões.



Fonte: Autor (2019)

Na sequência, passou-se todo o material pela peneira nº40 da série ASTM. Deste material, foram tomados aproximadamente 550g que se misturaram com água destilada durante dez minutos, utilizando uma espátula para se obter uma pasta homogênea e consistente, conforme Figura 15.

Figura 15: Peneiramento e pasta homogênea.



Fonte: Autor (2019).

Com a homogeneização da pasta realizada, coloca-se aproximadamente um 1/5 da mistura em uma cápsula de dimensões padronizadas com 60mm de diâmetro e 40mm de

profundidade com auxílio de espátula, tomando o devido cuidado de não deixar vazios no interior da cápsula e alisar e retirar o excesso do solo. Com o cone fixo na posição mais elevada, ajustou-se o aparelho para que apenas a ponta do cone tocasse a superfície do solo, conforme Figura 16.

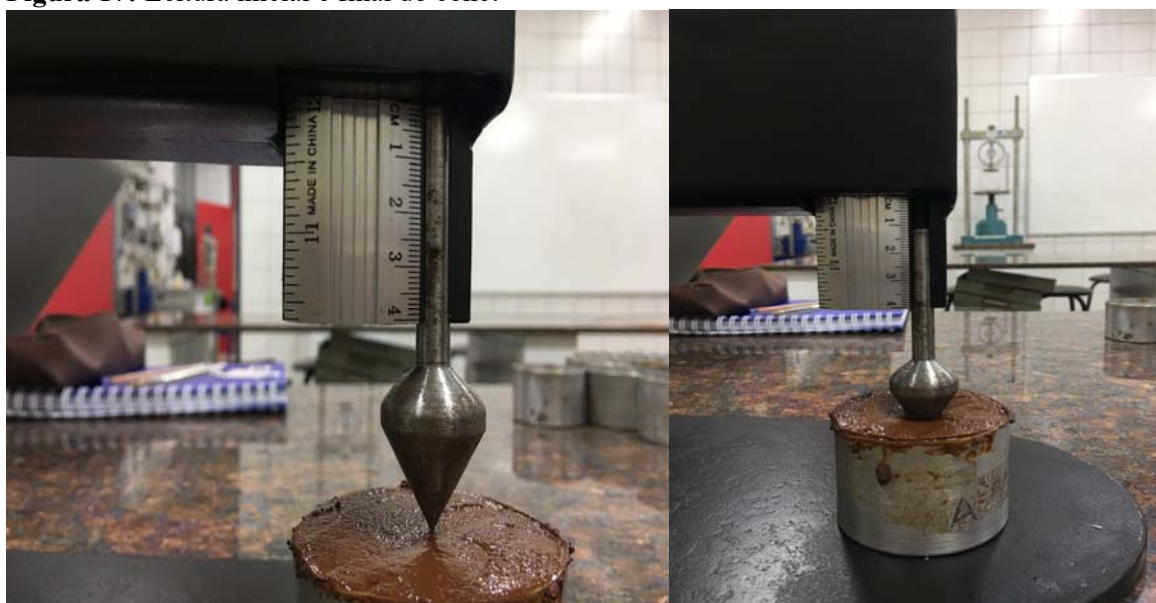
Figura 16: Solo preparado e ensaio.



Fonte: Autor (2019).

Solta-se o cone da posição inicial durante aproximadamente cinco segundos e volta-se a bloquear o equipamento para ser efetuada a leitura referente à posição final. Assim, penetração efetiva do solo será a diferença entre a leitura inicial e a leitura final, conforme Figura 17.

Figura 17: Leitura inicial e final do cone.



Fonte: Autor (2019).

Após, foi retirada uma porção com aproximadamente 10g da área onde o solo penetrou e determinado o teor de água, conforme Figura 18.

Figura 18: Determinação do teor de umidade.



Fonte: Autor (2019).

Por fim, limpou-se o cone e foi realizado o ensaio por cinco vezes, com variações a cada metro de quantidade de água destilada na mistura da pasta homogênea, para obter dados com umidades diferentes.

CAPITULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

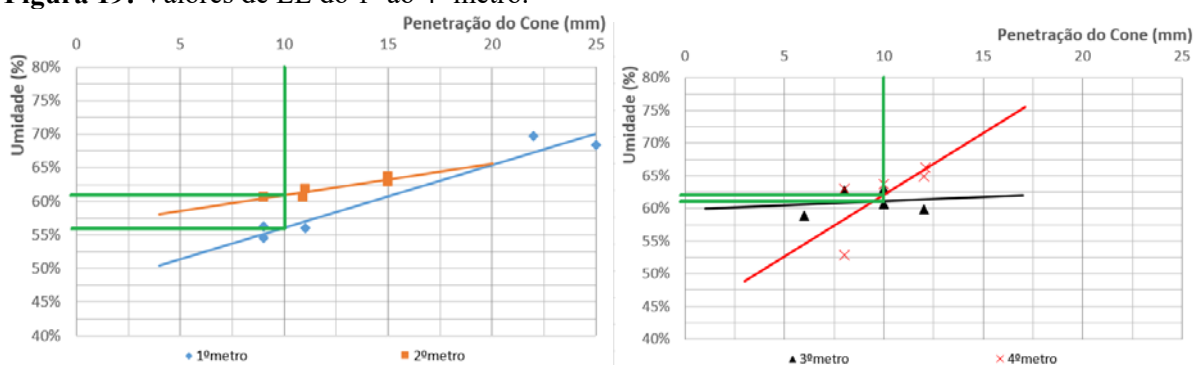
Através da coleta de amostras deformadas, as quais atingiram 15 metros ao longo da profundidade na região do CEEF, os resultados obtidos foram ensaiados pelo método Cone Sueco a fim de comparar com os resultados já realizados por Zen e Almeida (2018) e verificar sua aplicabilidade.

4.1.1 Ensaios cone Sueco

Com o equipamento do Cone Sueco, foi possível estabelecer valores de umidade e penetração e, conseqüentemente, definir o limite de liquidez, a primeira tentativa considerando seu argilo mineral foi traçar uma reta na penetração de 10mm, em que o encontro é o LL, apresentados em Figuras, ambas em escala aritmética.

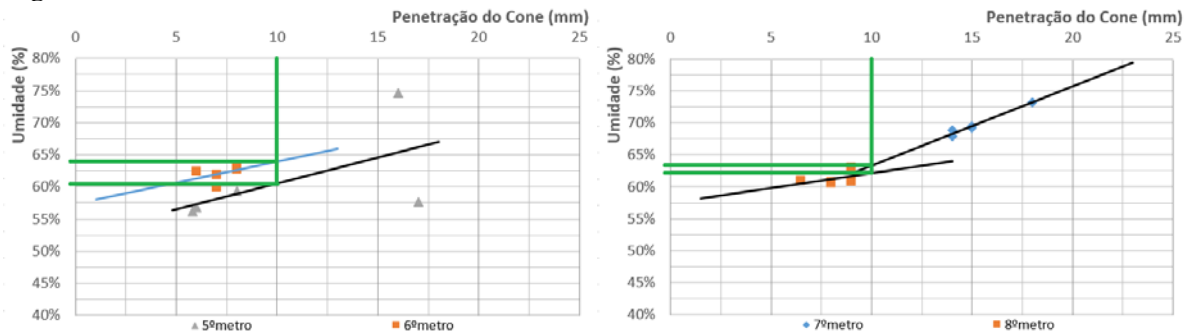
Na Figura 19, apresentam-se os valores do 1º metro ao 4º metro, onde foram realizados 5 ensaios de cada de metro com variações de umidades entre elas, sempre aumentando de um ensaio para o outro. Os valores encontrados para LL pelo método Cone Sueco foram no 1º metro 56%; 2º metro, 61%; 3º metro, 62%; e 4º metro, 64,5%.

Figura 19: Valores de LL do 1º ao 4º metro.



Na Figura 20, apresentam-se os valores do 5º metro ao 8º metro, onde foram realizados 5 ensaios de cada metro com variações de umidades entre elas, sempre aumentando de um ensaio para o outro. Os valores encontrados para LL pelo método Cone Sueco foram no 5º metro 60,5%; 6º metro, 64%; 7º metro, 63%; e 8º metro, 62,5%.

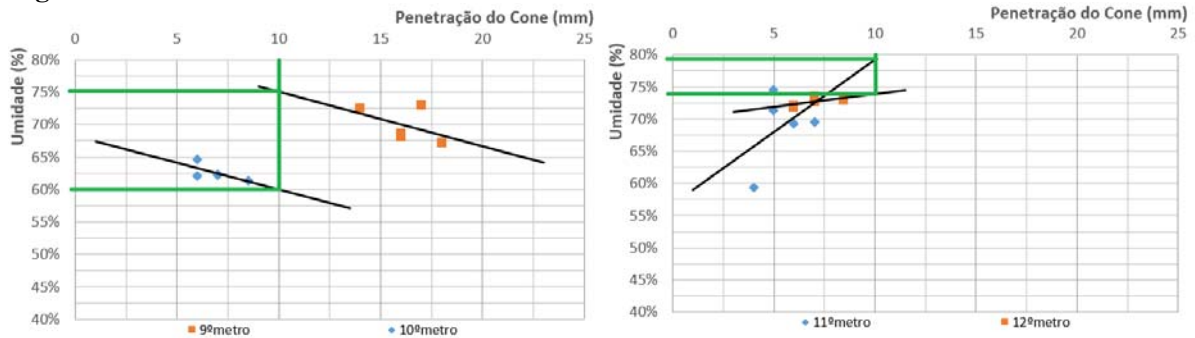
Figura 20: Valores de LL do 5º ao 8º metro.



Fonte: Autor (2019).

Na Figura 21, estão os valores do 9º metro ao 12º metro, onde foram realizados 5 ensaios de cada metro com variações de umidades entre elas, sempre aumentando de um ensaio para o outro.. Os valores encontrados para LL pelo método Cone Sueco foram no 9º metro, 75%; 10º metro, 60%; 11º metro, 79,5%; e 12º metro, 74%.

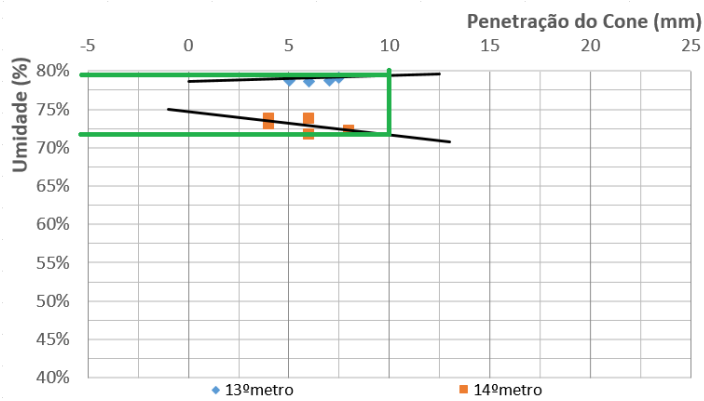
Figura 21: Valores de LL do 9º ao 12º metro.



Fonte: Autor (2019).

Na Figura 22, estão os valores do 13º metro e 14º metro, onde foram realizados 5 ensaios de cada metro com variações de umidades entre elas, sempre aumentando de um ensaio para o outro. Os valores encontrados para LL pelo método Cone Sueco foram, no 13º metro, 79,5%; e no 14º metro, 72%.

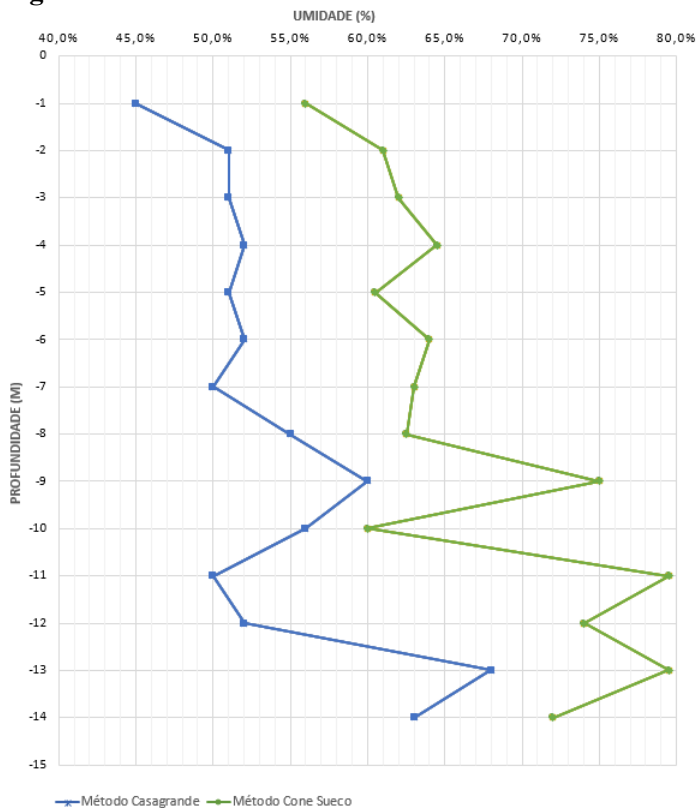
Figura 22: Valores de LL do 13º ao 14º metro.



Fonte: Autor (2019).

Com os LL definidos por meio das figuras, os valores a cada metro serão apresentados na Figura 23, assim, podendo correlacionar com o método Casagrande já definidos por Zen e Almeida (2018).

Figura 23: Valores correlacionados LL.

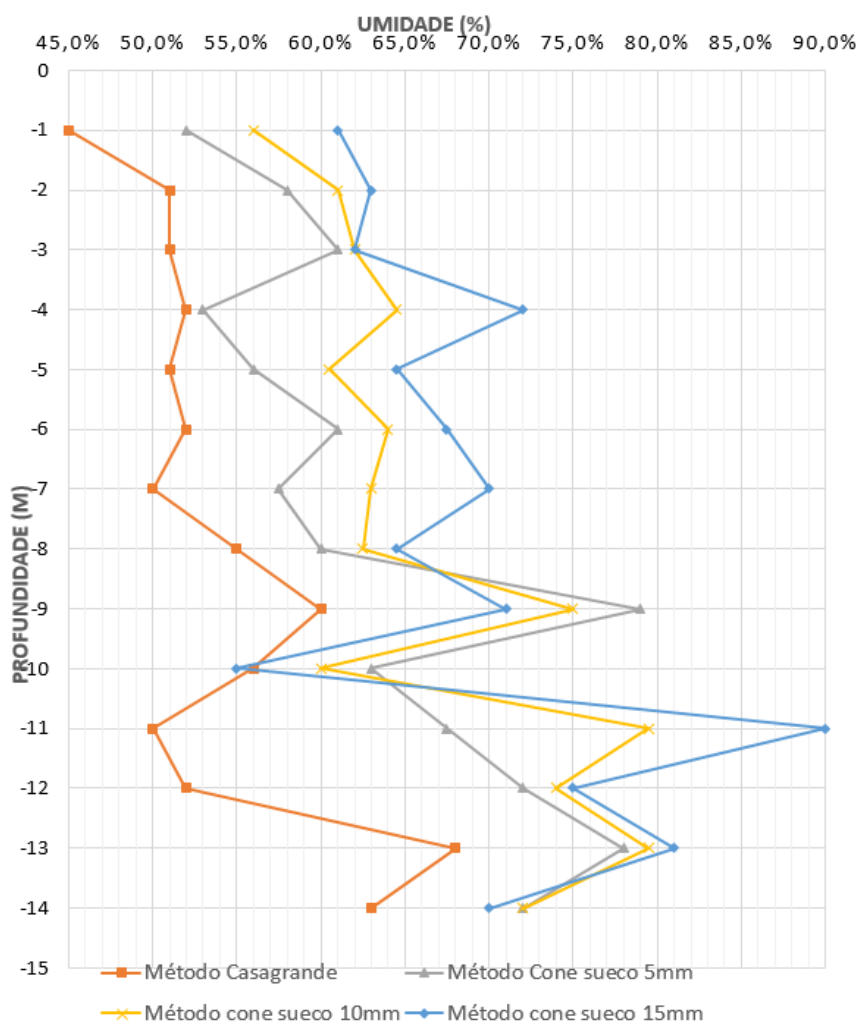


Fonte: Autor (2019).

É possível observar a proximidade dos valores obtidos com a penetração em 10mm. Entre o 1º metro e 7º metro, a diferença entre os métodos variou de 9,5% a 13%; já entre o 8º metro e o 11º metro, ela oscilou um pouco mais, ficando entre o menor 4% e o maior 29,5%, o qual pode ser decorrente de algum erro na execução do ensaio. Por fim, entre o 12º e o 14º, a diferença voltou a se manter baixa, variação de 9% a 11,5%.

Foram realizadas outras tentativas de penetrações, em 5mm e 15mm, com valores de penetração de 5 mm apresentando-se mais próximos aos determinados por Casagrande. Na Figura 24 são apresentadas as comparações entre os métodos.

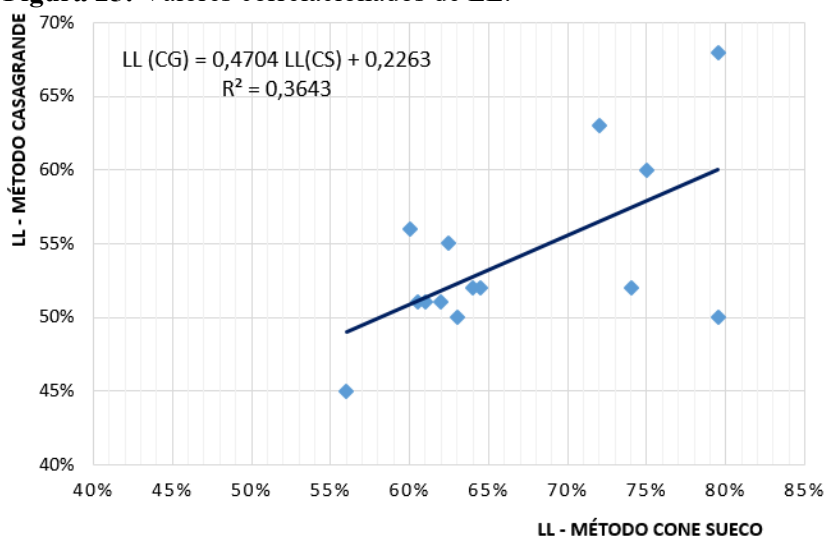
Figura 24: Valores de LL correlacionados.



Fonte: Autor (2019).

Para uma melhor comparação dos dados, construiu-se um gráfico em que, no eixo da ordenada, estão os valores de LL por Cone Sueco e, no eixo da abscissa, os valores de Casagrande. Equação que relaciona as duas variáveis e, portanto, apresenta a relação entre elas é forte ou não. Essa relação é expressa pelo coeficiente de determinação (R^2), que varia de 0 a 1 e que tendo valores superiores a 0,5, em geral, apresenta boa correlação. Na Figura 24, a comparação entre método Casagrande e Cone Sueco.

Figura 25: Valores correlacionados de LL.



Fonte: Autor (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo correlacionar dois métodos, por meio de ensaios realizados em laboratório, a fim de definir valores de limites de consistência do solo do CEEF e, assim, também contribuir com o banco de dados. O método do cone sueco é mais simples, e influência do operador e tempo de execução são menores além de evitar alguns inconvenientes gerados pelo Aparelho de Casagrande, como dispersão nos resultados, pequenas diferenças nas aparelhagens, distribuição da amostra na concha, observação do fechamento da ranhura e tempo de homogeneização incorreto.

Já sobre a correlação dos dois métodos, os valores foram satisfatórios quando comparados, pois o maior intervalo entre os métodos foi de 29,5%, podendo ser melhorado com estudos futuros a sua exatidão.

Uma provável explicação para distorção de resultados entre um método e outro pode ser em relação ao tipo de solo, como textura argilosa, presença de matéria orgânica, assim como pelo manuseio errado de equipamento sendo esta uma explicação mais consistente na justificativa das diferenças.

Por fim, para uma melhor complementação deste estudo, seria necessário um número maior de ensaios e a análise da influência da argila, a qual pode interferir nos resultados.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros:

Usar o mesmo método, porém em solo diferente e correlacioná-los;

Com o mesmo equipamento, usar uma norma diferente, no mesmo solo e correlacionar os resultados, tanto por Casagrande como pelo Cone Sueco;

Realizar maior quantidade de ensaios a fim de validar os resultados obtidos e confirmar o potencial do equipamento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 (2016)**. Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502 (1995)**. Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457 (2016)**. Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.

BICALHO, K. V.; GRAMELICH, J. C.; CUNHA, C. L. S. Comparação entre os valores de limite de liquidez obtidos pelos métodos de Casagrande e cone para solos argilosos brasileiros. **Comunicações geológicas**, v.101, p. 1097-1099, 2014.

CHIOSSI, N. **Geologia de engenharia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

CLEMENTE, C. W.; MONCADA, M. P. H.; KORMANN, A. C. M. Determinação do limite de liquidez através do cone sueco. *In*: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2016, Belo Horizonte. **O Futuro sustentável do Brasil passa por Minas**. Belo Horizonte: ABMS, 2016.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

GUSMÃO FILHO, J. A. Solos – Da formação geológica ao uso na engenharia. 2. ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2006.

KESTLER, M.A., 1982. **Correlations and comparisons between the Casagrande liquid limit device and the fall cone**. MSc Thesis, Massachusetts Institute of Technology (unpublished), 277 p.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SPAGNOLI, G. (2012). **Comparison between Casagrande and drop-cone methods to calculate liquid limit for pure clay**. Canadian Journal of Soil Science. v. 92: 859-864.

SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; VIEIRA, L. B.. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n. 3, p.460-464, 2000.

TELLES JUNIOR, H. O. **Como escrever seu artigo**. 1. ed. Porto Alegre: Plus/Simplíssimo, 2019.

WASTI, Y., Bezirci M.H., 1986. **Determination of the consistency limits of soils by the fall-cone test**. Canadian Geotechnical Journal, 23, 241–246.

ZEN, B. A. B. ; ALMEIDA, M. A.. Implantação e Caracterização Geotécnica do Campo

Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz em Cascavel - PR. *In*: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2018, Salvador. **Cobramseg**. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 2018.