

CENTRO UNIVERSITÁRIO – FAG

MARCOS TONI JUNIOR

**DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ADENSAMENTO DE SOLO SUPERFICIAL
RESIDUAL E LATERÍTICO DE CASCAVEL/PR**

**CASCAVEL – PR
2016**

MARCOS TONI JUNIOR

**DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ADENSAMENTO DE SOLO SUPERFICIAL
RESIDUAL E LATERÍTICO DE CASCAVEL/PR**

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

Prof. Orientador: Eng. Me. Maycon André Almeida

**CASCAVEL – PR
2016**

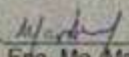
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

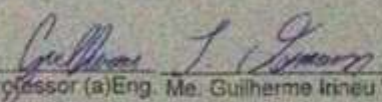
MARCOS TONI JUNIOR

**DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ADENSAMENTO DE SOLO RESIDUAL E
LATERÍTICO DE CASCAVEL/PR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG,
como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob
orientação do Professor Eng. Me. Maycon André Almeida

BANCA EXAMINADORA


Orientador (a) Prof^a Eng. Me. Maycon André Almeida
Centro Universitário FAG
Engenheiro Civil


Professor (a) Eng. Me. Guilherme Ineu Venson
Unioeste
Engenheiro Civil


Professor (a) Eng. Esp. Lincoln Salgado
Centro Universitário FAG
Engenheiro Civil

Cascavel, 11 de Novembro de 2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso especialmente a Deus, aos meus familiares, que sempre estiveram me dando força, e também aos meus amigos que sempre estiveram comigo nesses 4 anos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade e por não deixar faltar nada no decorrer desses 4 anos, me dando força e coragem para enfrentar todos os obstáculos que se puseram no meu caminho. Aos meus pais, que sem eles eu não seria nada, quero agradecer pela paciência e dedicação que tiveram comigo mesmo nos momentos mais difíceis do curso.

Ao professor e mestre Maycon A. Almeida pela paciência e dedicação no decorrer desse trabalho, contribuindo com conhecimentos que serão levados por toda a minha vida profissional.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo e foram minha segunda família durante o curso, e também aos demais professores que contribuíram para minha formação acadêmica. E a todos que contribuíram direto ou indiretamente na minha formação.

RESUMO

O solo é extremamente importante para a construção civil, pois, além de ser um material de construção natural, é ele quem dá suporte para qualquer obra civil. Com isso, para o desenvolvimento de projetos civis que garantam segurança, estabilidade e economia, é necessário o conhecimento das características mecânicas dos solos que servirão como suporte para edificações. Dentre as propriedades mecânicas dos solos, a compressibilidade é uma das mais importantes, por estimar o comportamento dos solos ao serem submetidos a carregamentos. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar 3 (três) ensaios de adensamento, de acordo com a NBR 12.007/90, além de determinar e avaliar a tensão pré-adensamento, o coeficiente de adensamento e o índice de compressão do solo laterítico e colapsível do Campo Experimental de Engenharia da FAG da cidade de Cascavel/PR. Por meio dos ensaios desenvolvidos foi encontrado o valor da tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}) de 453,3kPa pelo método de Pacheco Silva e 460kPa pelo método de Casagrande, o índice de compressão C_c médio dos ensaios foi de 0,2866 e o coeficiente de adensamento C_v médio de 0,0283 cm²/min.

Palavras-chave: adensamento; compressibilidade; fundações rasas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ocorrência de solos lateríticos no território brasileiro	17
Figura 2 – Estrutura do solo colapsível: (a) antes da inundação e (b) após a inundação	18
Figura 3 – Mapa geológico do Paraná e localização do município de Cascavel.....	21
Figura 4 – Efeito do amolgamento da amostra.....	22
Figura 5 – Analogia mecânica para o processo de adensamento	23
Figura 6 – a) Curva e versus σ'_{vm} (kpa); e b) Curva e versus $\log \sigma'_{vm}$ (kpa)	24
Figura 7 – Esquema de um ensaio edométrico	25
Figura 8 – Anel fixo	26
Figura 9 – Anel flutuante.....	26
Figura 10 – Curva de recalque (% de recalque em função do fator tempo)	30
Figura 11 – Prensa de adensamento	32
Figura 12 – Localização do Campo Experimental de Engenharia da FAG.....	33
Figura 13 – Anel de adensamento	34
Figura 14 – Amostra coletada na cota -1,5.....	34
Figura 15 – Anel com amostra pronta para ensaio	35
Figura 16 – Solo confinado na célula de adensamento	35
Figura 17 – Prensa de adensamento, início do ensaio com inundação do C.P.....	36
Figura 18 – Coeficiente de adensamento pelo método de Casagrande.	38
Figura 19 – Coeficiente de adensamento pelo método de Taylor	39
Figura 20 – Determinação da tensão de pré-adensamento por Casagrande	40
Figura 21 – Determinação da tensão de pré-adensamento por Pacheco Silva	41
Figura 22 – – Indicação dos trechos de recompressão, compressão e expansão do solo	42
Figura 23 – Curva do índice de vazios, em função do logaritmo da pressão.	43
Figura 24 – Curva de adensamento dos ensaios	46
Figura 25 – Curva recalque versus fator tempo.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação granulométrica dos solos	15
Tabela 2 – Tabela índices físicos.....	21
Tabela 3 – Fator tempo x Porcentagem pela teoria de Terzaghi	30
Tabela 4 – Recalque do C.P.....	44
Tabela 5 – Dados obtidos antes do ensaio	45
Tabela 6 – Variação índice de vazios – ensaio de adensamento (amostras 1, 2 e 3)	45
Tabela 7– Dados obtidos após o ensaio.....	47
Tabela 8 – Resultado da tensão de pré-adensamento das amostras.....	48
Tabela 9 – Índice de compressão.....	48
Tabela 10 – Coeficiente de adensamento	49

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Índice de vazios inicial	28
Equação 2 – deformação da amostra entre estágios	28
Equação 3 – Índice de vazios ao final de cada estágio de pressão	29
Equação 4 – Porcentagem de recalque em %	29
Equação 5 – Recalque por adensamento para argilas normalmente adensadas	31
Equação 6 – Coeficiente de adensamento método de Casagrande	37
Equação 7 – Altura do corpo de prova correspondente a 50% do adensamento primário	38
Equação 8 – Coeficiente de adensamento método Taylor	39
Equação 9 – Índice de compressão	43

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	10
1.1 INTRODUÇÃO.....	10
1.2 OBJETIVOS.....	11
1.2.1 Objetivo Geral.....	11
1.2.2 Objetivos Específicos.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	12
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	12
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	13
CAPÍTULO 2.....	14
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1.1 Os Solos.....	14
2.1.1.3 Solos Residuais.....	16
2.1.1.1 Os Solos Lateríticos.....	16
2.1.1.2 Solos Colapsíveis.....	17
2.1.1.3 Solos de Cascavel.....	19
2.1.2 Índices Físicos do Solo.....	20
2.1.3 Efeito de Amolgamento da Amostra.....	21
2.2.5 A TEORIA DE TERZAGHI, 1943.....	22
2.1.6 O Ensaio de Adensamento.....	24
2.1.6.1 Equipamentos.....	26
2.1.6.2 Procedimento do Ensaio.....	27
2.1.8 Índice de Vazios e	28
2.1.4 Cálculo de Recalque por Adensamento.....	29
CAPÍTULO 3.....	32
3.1 METODOLOGIA.....	32
3.1.1 O Tipo de Estudo e o Local da Pesquisa.....	33
3.1.2 Coleta e Preparação das Amostras.....	33
3.1.3 Procedimento do Ensaio de Adensamento.....	35
3.1.4 O Coeficiente de Adensamento (C_v).....	37
3.1.4.1 Processo por Casagrande.....	37
3.1.4.2 Processo de Taylor.....	38
3.1.5 A Tensão Pré-Adensamento (σ'_{vm}).....	39

3.1.5.1 Método de Casagrande.....	40
3.1.5.2 Método de Pacheco Silva.....	40
3.1.6 Índice de Compressão (C_c).....	41
CAPÍTULO 4.....	44
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1.1 Dados do Ensaio.....	44
4.1.2 Tensão Pré-Adensamento (σ'_{vm}).....	47
4.1.3 Índice de Compressão (C_c).....	48
4.1.4 Coeficiente de Adensamento (C_v).....	49
4.1.5 Curva tempo x Porcentagem de Recalque	49
CAPÍTULO 5.....	51
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
CAPÍTULO 6.....	52
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS	55

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Cascavel está situada no terceiro planalto do Estado do Paraná, mais especificamente na região Oeste paranaense e região Sul do Brasil e, atualmente, a construção civil tem se destacado na região. Esse fato torna necessário o estudo e o aperfeiçoamento das técnicas existentes em engenharia para a realidade da região (CASCABEL, 2016).

Com o déficit cada vez maior de moradias e redução de custos para viabilizar a construção de conjuntos habitacionais, em grande parte das vezes há a utilização de fundações rasas para esse tipo de obra o que em geral acaba sendo causa de patologias com o decorrer do tempo.

As cargas das edificações são diretamente transferidas para o solo, que devem possuir capacidade de carga para resistir aos esforços, sem que ocorram deslocamentos. No entanto, ao receberem essas tensões superficiais impostas pelas fundações rasas, os solos presentes na região de estudo acabam sofrendo deformações (recalques).

De acordo com Pinto (2006), o recalque que os solos sofrem, quando submetidos a tensões está diretamente relacionado com a compressibilidade do solo. Esse parâmetro é definido como a variação de volume da camada do solo, quando este sofre ação de cargas aplicadas. As deformações volumétricas sofridas pelos solos são calculadas a partir da variação do índice de vazios, os quais são uma propriedade física do solo, que é definida como a relação entre o volume de vazios e o volume dos sólidos de um solo.

A análise de compressibilidade do solo é realizada por meio de ensaios, a partir dos quais se obtêm parâmetros que conseguem determinar o comportamento e prever o recalque dos solos. O método mais utilizado para a determinação dos parâmetros de compressibilidade do solo é o ensaio edométrico, desenvolvido por Karl von Terzaghi (PINTO, 2006).

De acordo com Pinto (2006), a deformabilidade do solo varia de acordo com o tipo e as condições de estado em que o solo se encontra, podendo possuir uma deformação rápida ou lenta após a aplicação de cargas ao longo do tempo. Assim, o ensaio de compressão edométrica ou ensaio de adensamento é realizado para o estudo do comportamento de deformabilidade do solo. Dentre os parâmetros de compressibilidade que o engenheiro geotécnico necessita para a execução de projetos e o estudo do comportamento dos solos, destacam-se a pressão de pré-adensamento (σ'_{vm}), o índice de compressão (C_c) e o coeficiente de adensamento (C_v). A

obtenção desses parâmetros se dá a partir de resultados de ensaios de compressibilidade do solo.

Entende-se por adensamento de solo a diminuição dos seus vazios com o tempo, devido à saída da água do seu interior. Esse processo pode ocorrer em razão de um acréscimo de solicitação sobre o solo, seja pela edificação de uma estrutura, construção de um aterro, rebaixamento do nível de água do lençol freático ou drenagem do solo, entre outros.

Todos os materiais sofrem deformação quando sujeitos a uma mudança de esforço. A deformação dos solos, principalmente os solos finos, não é instantânea, isto é, não ocorre imediatamente após a aplicação da solicitação, mas sim com o tempo. As deformações do solo, geralmente não uniformes, podem não ser prejudiciais ao solo, mas comprometer as estruturas que assentam sobre ele.

O ensaio de adensamento proposto por Terzaghi (1943), apud Pinto (2006), consiste na aplicação de uma tensão vertical sobre um corpo de prova de um solo confinado em um anel lateral, o que impede que ocorram deformações laterais, tornando o adensamento unidimensional. O excesso de poropressão gerado durante o processo de adensamento é drenado pelas pedras porosas colocadas acima e abaixo do corpo de prova, permitindo assim que toda a compressão do solo ocorra em um dado tempo. Para os ensaios de engenharia usuais, o tempo mínimo de ensaio adotado pela norma brasileira NBR 12.007/90 é de 24 horas por cada incremento de tensão vertical. Sendo assim, um ensaio pode durar de uma a duas semanas, de acordo com o número de incrementos de tensão.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Determinar a curva e os parâmetros de adensamento de solo superficial residual e laterítico na cidade de Cascavel/PR.

1.2.2 Objetivos Específicos

1) Realizar ensaios de adensamento com 3 amostras indeformadas de solo superficial extraídas do Campo Experimental de Engenharia da FAG

- 2) Determinar parâmetros médios de adensamento através dos ensaios realizados;

1.3 JUSTIFICATIVA

O solo da cidade de Cascavel/PR, por ser um solo de área tropical, é laterítico e colapsível (EMBRAPA, 1984) e, por ter essas propriedades, apresenta grande porosidade e normalmente acentuada redução de índice de vazios quando solicitado por carregamento e umedecido, o que prejudica demasiadamente a implantação de fundações rasas no solo, por exemplo.

Por essa razão, é importante a realização de estudos no solo quanto ao processo de adensamento (que consiste no recalque que ocorre ao longo do tempo devido à redução do índice de vazios do solo), para que seja possível prever esses recalques e evitar possíveis problemas de fundação em obras populares, tais como obras do programa Minha Casa Minha Vida, que normalmente se utilizam de fundações do tipo radier.

Uma das principais causas de recalques é a compressibilidade dos solos, ou seja, a redução do seu volume sob ação das cargas aplicadas. Em particular, um caso de grande importância é aquele que se refere à compressibilidade de uma camada de solo, saturada e confinada lateralmente. Tal situação condiciona os chamados recalques por adensamento, que alguns autores preferem denominar como recalques por consolidação.

Como diversos ensaios podem ser necessários, isso pode atrasar ou impedir o início de certas obras. Por isso é comum, embora não desejável, que algumas obras iniciem sem que todos os ensaios geotécnicos estejam concluídos, particularmente os de adensamento. Na medida em que os referidos ensaios são executados, os projetistas verificam e, se necessário, modificam o projeto em execução.

A compressibilidade de um solo é indicada pelo índice de adensamento, o qual pode ser obtido por vários métodos, sendo que o mais utilizado é o método clássico desenvolvido por Terzaghi (1943) e conhecido no Brasil como ensaio de adensamento lateralmente confinado ou ensaio edométrico.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os solos colapsíveis se caracterizam pelo alto índice de vazios e baixo teor de umidade. Nessas condições, apresentam uma resistência aparente, atingida devido à pressão de sucção

que é desenvolvida nos seus vazios. Já em condições saturadas, esses solos sofrem colapso de sua estrutura por meio da redução de seu volume pelo adensamento de suas camadas e redução repentina de sua capacidade de carga (CINTRA e AOKI, 2011).

Para evitar o surgimento de patologias e a utilização equivocada de fundações superficiais, neste trabalho será realizado o estudo do comportamento quanto à compressibilidade do solo superficial da região de Cascavel/PR, por meio da realização de ensaios laboratoriais de acordo com as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Contudo, este estudo propõe-se a responder à seguinte pergunta: Quais são os parâmetros de compressibilidade do solo superficial da cidade de Cascavel/PR?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O solo a ser analisado nesta pesquisa será apenas o solo superficial, da cota -1,5 metros, por exemplo, que é onde normalmente ocorre o apoio de fundações rasas. No total serão realizados três ensaios, sendo que as amostras de solos serão retiradas de 3 cavas distintas do Campo Experimental de Engenharia da FAG.

As amostras serão retiradas de 1 a 2 horas antes da execução de cada ensaio e os ensaios serão realizados de acordo com a NBR 12007/90 – ensaio de adensamento unidimensional. O tempo de ensaio para cada amostra pode durar entre 9 a 10 dias, de acordo com número de incrementos de carga aplicado, sendo que cada incremento de carga deve permanecer por 24 horas, as cargas aplicadas serão de 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1280 e 1920 Kpa.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Os Solos

O solo é um material que se origina da decomposição de rochas que constituíam a crosta terrestre e essa decomposição é decorrente de agentes físicos e químicos, que podem ser causados desde a temperatura até a presença de fauna e flora de onde a rocha se situou. O conjunto desses processos leva à formação dos solos, que são misturas de partículas pequenas que se diferenciam pelo tamanho e pela composição química, na qual a composição de partículas que constituem um solo depende das rochas que lhe deram origem (PINTO, 2006). O solo é formado através da ação de fatores que podem ser físicos ou mecânicos e químicos ou biológicos, de modo que a sua origem depende da ação do clima, dos organismos, do relevo e do tempo, (PINTO, 2006).

Por decomposição química entende-se o processo em que há modificação química ou mineralógica das rochas de origem. O principal agente é a água e os mais importantes mecanismos de ataque são a oxidação, hidratação, carbonatação e os efeitos químicos da vegetação. As argilas representam o último produto do processo de decomposição. (CAPUTO, 1988, p. 14).

De acordo com Pinto (2006), classificar o solo pela sua origem é um complemento importante para o acúmulo de conhecimento sobre ele e pode ser tão importante quanto a classificação sob o ponto de vista da constituição física. O mesmo autor ainda afirma que os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas por desintegração mecânica ou decomposição química. Por desintegração mecânica, através de agentes como água, temperatura, vegetação e vento, formam-se os pedregulhos e areias (solos de partículas grossas) e até mesmo os siltes (partículas intermediárias), e, somente em condições especiais, as argilas (partículas finas).

De acordo com Caputo (1988), devido às suas origens, o solo pode ser definido em residuais, sedimentares e deformação orgânica.

- Solos Residuais: São os que permanecem na mesma região onde se situa a sua rocha de origem, podendo se observar uma gradual transição do solo até a rocha. Dentre os residuais, os mais notáveis são os solos lateríticos, os expansivos, e os porosos.
- Solos Sedimentares: São solos que sofreram alguma forma de transporte. Dentre os agentes transformadores temos os aluvionares (transportados pela água), os eólicos (transportados pelo vento), os coluvionares (transportados pela ação da gravidade) e os glaciares (transportados pelas geleiras).
- Solos de Formação Orgânica: São solos de origem essencialmente orgânica, seja de natureza vegetal ou de natureza animal. Podem ser facilmente identificados pela coloração escura e marcante odor. São problemáticos para a construção civil devido a sua alta compressibilidade.

A primeira característica notável que diferencia os solos é o tamanho de suas partículas, havendo uma grande diversidade no tamanho de seus grãos (PINTO, 2006). Os valores adotados pela NBR 6502/95 para a classificação do solo através da granulometria são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação granulométrica dos solos

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	De 20 cm a 1 m
Pedra	De 6,0 cm a 20 cm
Pedregulho	De 2,0 mm a 6 cm
Areia Grossa	De 0,6 mm a 2 mm
Areia Média	De 0,2 mm a 0,6 mm
Areia Fina	De 0,05 mm a 0,2 mm
Silte	0,002 mm a 0,06 mm
Argila	Inferior a 0,002 mm

Fonte: NBR 6502/95

Referente à constituição mineralógica do solo, as partículas constituídas nele estão ligadas diretamente à composição da rocha, o qual ocorreu desagregação. Essas partículas podem ser compostas por quartzo (presente na maioria das rochas); feldspatos que dão origem aos argilo-minerais (parte mais fina do solo), entre outras composições (PINTO, 2006).

2.1.1.3 Solos Residuais

Os solos residuais são formados a partir da decomposição e desagregação da rocha de onde se encontram, não existindo assim o transporte de materiais de outras localidades durante a sua formação (AZEVEDO, 2010).

É interessante determinar sua rocha-mãe para os solos residuais, pois ela condiciona a composição física do solo. Desse modo, os solos provenientes de basaltos são, em sua maioria, argilosos, enquanto os provenientes de gnaisses são siltosos e os de granito possuem em sua constituição areia média, silte e argila (PINTO, 2006).

Inicialmente, os solos residuais se caracterizam pela sua heterogeneidade, que reproduz a heterogeneidade de sua rocha matriz. Tal característica, em certos casos, dificulta a determinação de suas propriedades por meio de ensaios de laboratório, pois corpos de prova moldados a partir de uma única amostra podem apresentar diferentes características (PINTO, 2006).

Os solos residuais possuem características muito semelhantes à da rocha que lhe originou, sendo possível encontrar blocos de rocha praticamente inalterados, denominados matações (AZEVEDO, 2010). Também, esse tipo de solo apresenta granulometria bem graduada, ou seja, possuem parcelas de material graúdo, médio ou fino, sem uma predominância (AZEVEDO, 2010).

2.1.1.1 Os Solos Lateríticos

De acordo com Nagomi e Villibor (1995), os solos lateríticos são intemperizados e característicos de áreas bem drenadas, que estão na posse das camadas mais superficiais. Em sua coloração predominam o vermelho e o amarelo, com macroestrutura aparente homogênea e isotrópica. O grupo da argila é constituído de argilomineirais (geralmente a caulinita) bem como óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

Os solos lateríticos têm como características físicas a elevada porosidade, baixa

resistência e baixa capacidade de suporte em seu estado natural, porém, quando devidamente compactados, apresentam elevada resistência, grande capacidade de suporte, baixa permeabilidade e pequena perda na capacidade de suporte quando saturado (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

Segundo Pinto (2006), os solos lateríticos têm sua fração de argila constituída predominantemente de minerais cauliníticos e apresentam elevada confluência de ferro e alumínio na forma de óxidos e hidróxidos, do que resulta sua particular coloração avermelhada. Na natureza, os solos lateríticos apresentam-se, geralmente, não saturados, com índice de vazios elevado, daí sua baixa capacidade de suporte. Mas quando compactados, sua capacidade de suporte é elevada. Ademais, depois de compactado, o solo laterítico apresenta contração se o teor de umidade diminuir, mas não apresenta expansão na presença de água.

No Brasil, o solo laterítico está presente em cerca de 65% do território nacional, como mostrado na Figura 1. Também é possível observar que a região oeste do Paraná é abundante nesse tipo de solo

Figura 1 – Ocorrência de solos lateríticos no território brasileiro



Fonte: NOGAMI e VILLIBOR (1995)

2.1.1.2 Solos Colapsíveis

Os solos colapsíveis podem ser definidos como solos que apresentam uma elevada e repentina mudança de comportamento quando saturados. Quando o teor de umidade aumenta, os agentes cimentantes do solo são enfraquecidos, reduzindo a resistência ao cisalhamento e causando a redução do volume do solo, quando sob tensão. (LOBO, FERREIRA, RENOFIO, 2003).

Denominam-se solos colapsíveis aqueles que apresentam alto teor de porosidade, formados tanto por areias como por argilas, e possuem a característica de ter suas partículas unidas por uma espécie de cimentação, proporcionada por materiais como o calcário (REBELLO, 2008).

De acordo com Mendonça (1990), o colapso é um fenômeno observado em alguns solos não saturados que apresentam súbita redução de volume quando o teor de umidade aumenta, podendo ser também necessário modificar o estado de tensões atuantes. Deve-se entender como súbita redução de volume a velocidade muito superior à velocidade de adensamento de solo argiloso saturado.

Segundo Pinto (2006), solos colapsíveis são solos não saturados que apresentam uma considerável e rápida compressão quando submetidos a um aumento de umidade sem que varie a tensão total a que estejam submetidos.

A Figura 2 representa a estrutura de um solo colapsível antes da inundação (a) e após a inundação (b):

Figura 2 – Estrutura do solo colapsível: (a) antes da inundação e (b) após a inundação



Fonte: GUTIERREZ (2003)

Os solos colapsíveis têm suas partículas de solo unidas pela tensão de sucção presente entre eles. Porém, quando há um acréscimo no seu grau de saturação, a ligação de suas partículas se desfaz e a tensão que antes os unia diminui, gerando, assim, escorregamentos entre as partículas, o que leva ao colapso do solo (AZEREDO, 2010).

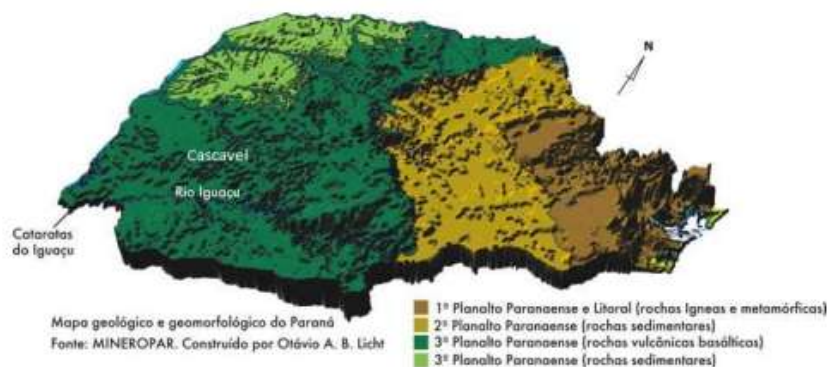
De acordo com Mariz (1993), solos colapsíveis são estruturalmente instáveis, ou seja,

ao sofrerem aumento no seu grau de saturação apresentam mudanças significativas no seu comportamento tensão-deformação. De forma geral, esses são solos com estruturas com elevada porosidade e que apresentam elevados índices de vazios, bem como teor de umidade abaixo do necessário para saturação. Assim, esse são solos que se demonstram instáveis, uma vez que, sem sofrerem alterações nos esforços externos a eles aplicados, eles sofrem alteração nos arranjos das partículas que os constituem, o que resulta em redução no volume apenas pela ação do peso próprio.

2.1.1.3 Solos de Cascavel

O município de Cascavel situa-se no terceiro planalto, na região Oeste do Paraná, apresentando altitude de aproximadamente 800 metros, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Mapa geológico do Paraná e localização do município de Cascavel.



Fonte: MINEROPAR (2015).

O solo no qual foram realizados os ensaios referentes a este trabalho, é um solo laterítico, classificado assim pela podologia (ciência que estuda as camadas superficiais da crosta terrestre, sua formação, ação dos agentes que levaram a essa formação e a classificação da camada). Quanto a sua origem, ele é classificado como um solo residual proveniente de basalto. (EMBRAPA, 1997)

Segundo Pinto (2006) os solos lateríticos em seu estado natural (geralmente não saturada) apresentam alta porosidade e capacidade de carga considerável, no entanto, quando elevado o seu teor de umidade esse tipo de solo vem a demonstrar característica colapsível.

Os solos colapsíveis são assim caracterizados por apresentar elevada porosidade e baixo grau de saturação, sendo que podem ter seu teor de umidade elevado por motivos naturais,

causando alterações que lhe diminuem a capacidade de suporte. Dessa forma, estruturas apoiadas em solos colapsíveis podem se mostrar estáveis durante grande tempo, mas podem vir a ter recalques indesejáveis pelo fato de haver uma mudança nas condições de umidade do solo (PINTO, 2006)

De acordo com trabalho realizado por Damin (2012), o solo de Cascavel é classificado como predominantemente argiloso. Essa classificação foi realizada de acordo com resultados obtidos em ensaios de determinação do peso específico dos sólidos, análise granulométrica conjunta, determinação do limite de liquidez, determinação do limite de plasticidade e determinação do peso específico aparente, confrontados respectivamente com a NBR 6508/84, NBR 7181/84, NBR 6459/84, NBR 7180/84 e NBR 10838/88.

2.1.2 Índices Físicos do Solo

O solo é um material constituído por um conjunto de partículas sólidas que deixam vazios entre si, os quais podem estar parcial ou totalmente preenchidos pela água. É, pois, no caso mais geral, um sistema disperso formado por três fases: sólida, líquida e gasosa.

Segundo Caputo (1987), a relação entre o peso da água contida em um determinado volume de solo e o peso da parte sólida nesse mesmo volume é a umidade, que tem seu valor expresso por uma porcentagem. Para determinar a umidade, basta determinar o peso da amostra de solo em seu estado natural, colocá-la em uma estufa a 110°C para a secagem completa e determinar, então, o peso seco. Com a diferença entre o peso seco e o peso natural, tem-se o peso da água.

Pinto (2006) e Caputo (1988) discorrem que a relação entre o volume de vazios e o volume das partículas sólidas, representado pela letra (e) , é o índice de vazios do solo. A porosidade é definida como a relação entre o volume de vazios e o volume total do solo, expresso pela letra n .

O peso específico dos sólidos (γ_s) é a relação entre o peso das partículas sólidas que compõe o solo e o seu volume, sendo que sua medida é determinada por meio de ensaios em laboratório. Também chamado de peso específico dos grãos, o peso específico dos sólidos varia pouco para diferentes tipos de solo, apresentando valores em torno de 27kN/m³ (PINTO, 2006).

O peso específico natural é representado por (γ_n) e consiste na relação entre o peso e o volume do solo no seu estado natural. Para a sua determinação, molda-se uma amostra de solo natural e indeformado em dimensões conhecidas que permitam calcular seu volume e, então, o

peso dessa amostra é dividido pelo seu pelo volume (PINTO, 2006).

O peso específico aparente seco (γ_d) é a relação entre o peso do solo seco e o seu volume total, correspondendo ao peso específico que o solo teria seco sem que se alterasse seu volume em estado natural (PINTO, 2006).

Alguns índices físicos e suas equações estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela índices físicos

γ_d (g/cm ³)	γ_n (g/cm ³)	η	Sr (%)
$\gamma_d = \frac{\gamma_n}{1 + w}$	$\gamma_n = \frac{M_s}{V_s}$	$n = \frac{e}{1 + e}$	$w = \frac{Sr \cdot e \cdot \gamma_w}{\gamma_s}$
$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + e}$			

Fonte: Autor (2016)

2.1.3 Efeito de Amolgamento da Amostra

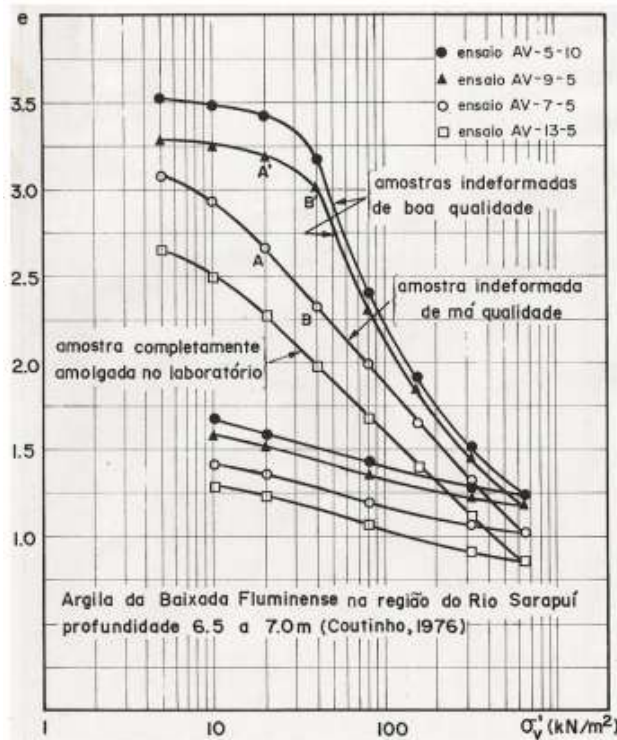
Segundo Martins e Lacerda (1994), em argilas moles saturadas o amolgamento é a destruição parcial ou total da estrutura original por deformação de distorção, sem que haja variação de volume, ou seja, sem perda de umidade.

No que se refere ao seu possível amolgamento (perturbação) durante a sua coleta, transporte ao laboratório ou ainda na sua preparação antes de ser submetida à prensa do edômetro, a qualidade da amostra a ser submetida ao ensaio de adensamento influencia diretamente na qualidade dos resultados a serem obtidos.

Segundo Martins e Lacerda (1994), quem primeiro se atentou para o problema da influência da qualidade da amostra no ensaio de compressão unidimensional foi Casagrande (1936). Entretanto, Rutledge (1944) foi quem primeiro descreveu os primeiros efeitos do amolgamento sobre a curva “e” versus “ σ'_v ” (log) (MARTINS e LACERDA, 1994).

Os efeitos do amolgamento tornam-se evidentes ao se compararem os resultados de ensaios em amostras de boa e má qualidade, como mostra a Figura 4. Para isso, tomem-se, por exemplo, os resultados obtidos por Coutinho (1976) na argila do Sarapuí - RJ.

Figura 4 – Efeito do amolgamento da amostra



Fonte: COUTINHO (1976)

Os efeitos mais marcantes do amolgamento das amostras sobre a curva “ e ” versus “ $\log \sigma'_v$ ”, abordados por Martins e Lacerda (1994), são:

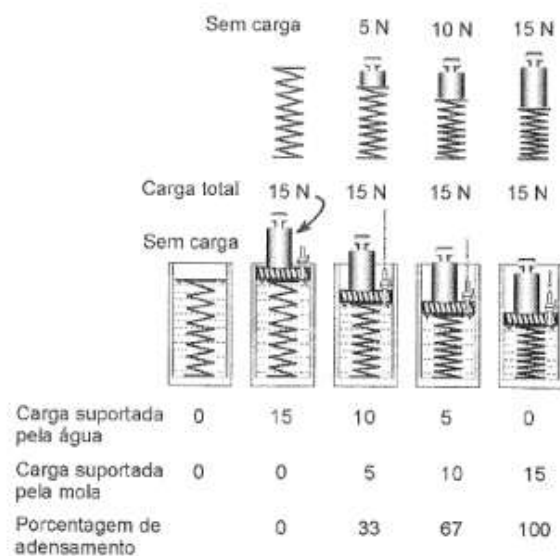
- Qualquer que seja a tensão vertical efetiva (σ'_v), o índice de vazios (e) é menor para amostras de qualidade inferior;
- O trecho de maior curvatura do gráfico “ e ” versus “ $\log \sigma'_v$ ” torna-se menos acentuado, dificultando a determinação da tensão de sobreadensamento (σ'_{vm});
- Redução do valor estimado para σ'_{vm} ;
- Aumento da compressibilidade na região de recompressão;
- Decréscimo da compressibilidade no trecho de compressão virgem;
- Eliminação da concavidade da curva “ e ” versus “ $\log \sigma'_v$ ” no trecho virgem, resultando em uma linha aproximadamente reta.

2.2.5 A TEORIA DE TERZAGHI, 1943.

No entendimento de Pinto (2006), na analogia apresentada por Taylor (1948) para a teoria de Terzaghi (1943), considera-se que a estrutura sólida do solo seja semelhante a uma mola, cuja deformação é proporcional à carga sobre ela aplicada, como se demonstra na Figura

5. Nesse contexto, o solo saturado é representado por uma mola dentro de um pistão cheio de água, no êmbolo do qual existe um orifício de reduzida dimensão pelo qual a água só passa lentamente, sendo que a pequena dimensão representa a baixa permeabilidade.

Figura 5 – Analogia mecânica para o processo de adensamento



Fonte: PINTO (2006)

De acordo com Pinto (2006), no que se diz respeito a teoria, ao se aplicar uma carga sobre o pistão, no instante imediatamente seguinte a mola não se deforma, pois ainda não terá ocorrido qualquer saída de água e a água é muito menos compressível do que a mola. Nesse caso, toda a carga aplicada estará suportada pela água, estando a água em carga, ela procura sair do pistão, já que o exterior está sob pressão atmosférica. Num instante qualquer, a quantidade de água expulsa terá provocado uma deformação da mola que corresponde a certa carga (por exemplo, 5 N). Nesse instante, a carga total de 15 N está sendo parcialmente suportada pela água (10 N) e parcialmente suportada pela mola (5 N). A água ainda em carga continuará a sair do pistão. Simultaneamente, a mola estará se comprimindo e, portanto, suportando cargas cada vez maiores. Assim, o processo continua até que toda a carga esteja suportada pela mola. Não havendo mais sobrecarga na água, cessa a sua saída do êmbolo.

As hipóteses que Terzaghi (1943) apud Pinto (2006) admitiu em sua teoria do adensamento foram:

- 1) O solo é homogêneo;
- 2) O solo é saturado;
- 3) Compressibilidades dos grãos e da água dos vazios do solo são desprezíveis se

comparadas à compressibilidade do esqueleto sólido;

4) Não há diferença entre comportamento entre as camadas de argila de pequenas e grandes espessuras;

5) A compressão é unidimensional (vertical);

6) O fluxo de água é unidimensional (vertical);

7) Vale a lei de Darcy ($v = ki$);

8) Admitem-se constantes certos parâmetros físicos que em verdade variam durante o processo; e

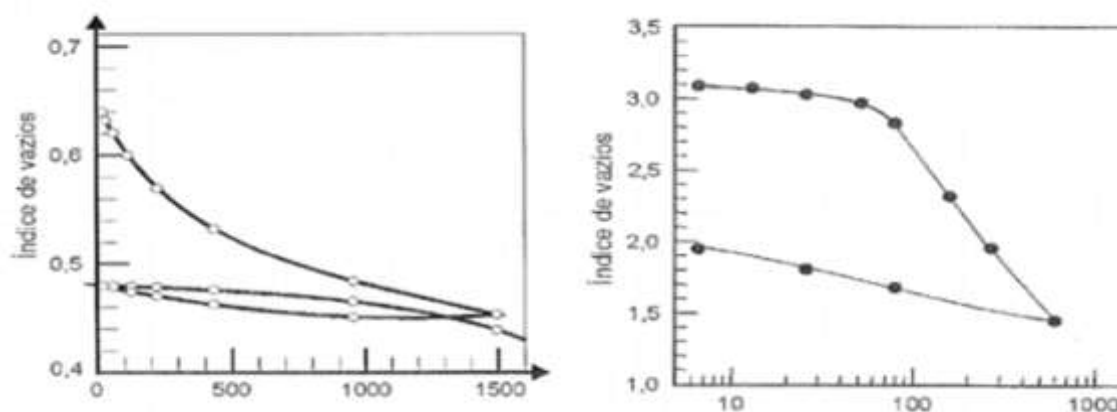
9) Vale a relação idealizada entre índice de vazios (e) e tensão vertical efetiva σ'_v , na qual o índice de vazios varia linearmente com o aumento da tensão efetiva durante o adensamento.

Sobre essas hipóteses, Martins (2013), apud Pinto (2006), comenta que as três primeiras indicam que a teoria se restringe à compressão edométrica, com fluxo unidimensional e a solos saturados.

A hipótese 8 não se verifica porque à medida que o solo adensa, muitas de suas propriedades se alteram, como, por exemplo, o índice de vazios diminui e consequentemente a permeabilidade diminui.

A hipótese 9 também não se verifica, pois o índice de vazios não varia linearmente em função da tensão efetiva (Figura 5). Para pequenas variações de tensão no trecho sobreadensado (valores inferiores ao σ'_{vm}), essa aproximação se assemelha bastante à realidade, enquanto para valores maiores, um trecho da curva (depois que ultrapassado o valor de σ'_{vm}) é retilíneo quando se apresenta o eixo das abscissas em logaritmo da tensão efetiva, conforme Figura 6.

Figura 6 – a) Curva e versus σ'_{vm} (kpa); e b) Curva e versus $\log \sigma'_{vm}$ (kpa)



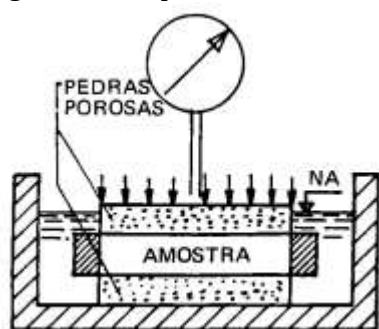
Fonte: Pinto (2006)

2.1.6 O Ensaio de Adensamento

No entendimento de Pinto (2006), o ensaio de adensamento tem por objetivo a determinação experimental das características do solo que interessam à determinação dos recalques provocados pelo adensamento. Sua concepção, como será visto, corresponde ao estudo de um modelo para a posterior interpretação do protótipo.

Todos os tipos de aparelhos utilizados no laboratório para a determinação das características de adensamento de um solo, denominados edômetros, aplicam o princípio introduzido por Terzaghi (1943), conhecido como princípio da compressão de uma amostra, geralmente indeformada, de altura pequena em relação ao diâmetro, confinada lateralmente por um anel rígido e colocada entre dois discos porosos, conforme esquematicamente representado na Figura 7.

Figura 7 – Esquema de um ensaio edométrico



Fonte: PINTO (2006)

De acordo com o mesmo autor, observa-se que, apesar da pequena altura das amostras, o atrito que se desenvolve entre o solo e a parede do anel, durante o ensaio, constitui uma causa de erro, embora não muito importante. Segundo se observa, a força de atrito lateral atinge valores da ordem de 10 a 20% da pressão vertical aplicada. Daí a razão de alguns laboratórios utilizarem amostras de altura ainda menor.

O anel rígido procura reproduzir no laboratório o que ocorre na natureza, onde a deformação lateral da massa de solo solicitada pela obra é impedida pelo restante do maciço terroso que a envolve. A carga é aplicada sobre a pedra prosa superior por meio de um disco metálico rígido e a compressão é medida com o auxílio de um extensômetro (com sensibilidade de 0,01 mm).

Em geral são aplicados de 8 a 10 carregamentos → podendo chegar a 2 semanas de ensaio.

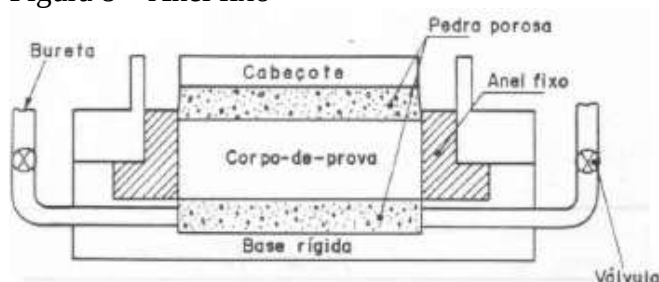
2.1.6.1 Equipamentos

De acordo com a Norma 12.007/90, o objetivo do ensaio de adensamento prescreve o método de determinação das propriedades de adensamento do solo, caracterizadas pela velocidade e magnitude das deformações, quando o solo é lateralmente confinado e axialmente carregado e drenado.

A aparelhagem utilizada para a realização do ensaio foi a seguinte:

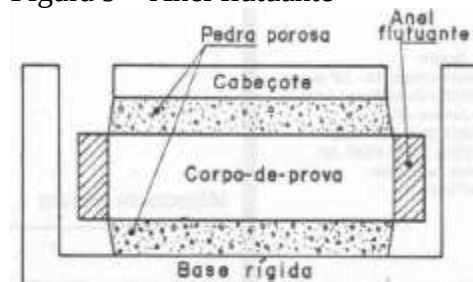
- Sistema de aplicação de carga (prensa de adensamento): O sistema de aplicação de carga deve permitir a aplicação e manutenção das cargas verticais especificadas, ao longo do período necessário de tempo, e com uma precisão de 0,5% da carga aplicada. Quando da aplicação de um incremento de carga, a transferência para o corpo de prova deve ocorrer em um intervalo de tempo não superior a dois segundos e sem impacto significativo.
- Célula de adensamento: Trata-se de um dispositivo apropriado para conter o corpo de prova e que deve proporcionar meios para a aplicação de cargas verticais, a medida da variação da altura do corpo de prova e sua eventual submersão. Consiste em uma base rígida, um anel para conter o corpo de prova, pedras porosas e um cabeçote rígido de carregamento. O anel pode ser do tipo fixo (indeslocável em relação à base rígida) ou flutuante (deslocável em relação à base, sendo suportado pelo atrito lateral desenvolvido entre o corpo de prova e o anel), conforme esquemas indicados nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Anel fixo



Fonte: NBR 12007/90

Figura 9 – Anel flutuante



Fonte: NBR 12007/90

- Pedras porosas;
- Balança com capacidade nominal de 3 kg, com resolução de 0,1 g e sensibilidade compatível;
- Cronômetro com resolução de 1 s; e
- Equipamentos diversos incluindo paquímetro, espátulas.

2.1.6.2 Procedimento do Ensaio

De acordo com a Norma 12.007/90, no caso de solos saturados, as pedras porosas devem ser previamente fervidas e mantidas imersas em água até o instante de entrar em contato com o corpo de prova. Para solos parcialmente saturados, devem ser utilizadas pedras porosas simplesmente umedecidas.

A montagem da célula de adensamento deve obedecer à seguinte sequência: base rígida, pedra porosa inferior, corpo de prova contido no anel, pedra porosa superior e cabeçote rígido.

Ainda a referida norma descreve que após a colocação da célula de adensamento no sistema de aplicação de carga com os devidos ajustes, deve-se instalar o extensômetro e aplicar uma pressão de assentamento de 5 Kpa para solos resistentes ou 2 Kpa para solos moles. O extensômetro deve ser zerado cinco minutos após a aplicação dessa pressão.

Decorrido esse período de tempo, deve-se transmitir as cargas adicionais à célula de adensamento, em estágios, para obter pressões totais sobre o solo de aproximadamente 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1280, 1920 Kpa.

Cada estágio de carga deverá permanecer por suficiente tempo para permitir a deformação total da amostra, registrando-se durante esse tempo e a intervalos apropriados (15s, 30s, 1min, 2min, 4min, 8min, 16min, 32min, 1h, 2hrs, 4hrs, 8hrs, 24hrs) as indicações (deformações) do extensômetro. O carregamento do corpo de prova deve continuar até a definição da região de compressão virgem, e ao final de cada estágio, quase sempre após 24 horas, as pressões são praticamente efetivas.

Segundo a norma, em amostras indeformadas saturadas nas condições de campo, o ensaio deve ser executado com inundação do corpo de prova imediatamente após a aplicação da pressão de 10 Kpa, e a duração de cada estágio de pressão deve ser aproximadamente a mesma ao longo de todo o ensaio, exceção feita, se necessário, nos fins de semanas.

Completadas as leituras correspondentes ao máximo carregamento empregado, deve-se efetuar o descarregamento do corpo de prova em estágios, fazendo-se leituras no extensômetro, sendo que o descarregamento deve ocorrer em, no mínimo, três estágios.

Após ter-se atingido no descarregamento a pressão de 10 Kpa e verificado a estabilização da altura do corpo de prova, deve-se descarregar totalmente o corpo de prova e imediatamente retirar da célula de adensamento o anel com o corpo de prova. Então, deve-se proceder ao enxugamento das superfícies expostas do corpo de prova, determinar a sua massa e, em seguida, tomar porções do material para determinar o teor de umidade final.

2.1.8 Índice de Vazios e

Segundo Pinto (2006), a cada estágio de carga corresponde uma redução de altura da amostra, a qual, usualmente, se expressa segundo a variação do índice de vazios. Existem diversos modos de se representar os resultados do ensaio de adensamento. A taxa de deformação do solo no início do ensaio é bastante veloz, mas decresce com o decorrer do ensaio. Depois de transcorrido o tempo necessário para que as leituras se tornem constantes, os resultados de cada estágio são colocados em um gráfico em função do logaritmo do tempo.

A curva de compressão do solo é normalmente representada em um gráfico, em função do índice de vazios *versus* o logaritmo da tensão vertical. Logo o índice de vazios inicial (e_i) do corpo de prova pode ser calculado de acordo com a Equação 1.

$$e_i = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 \quad (1)$$

Onde:

e_i = índice de vazios inicial

γ_s = peso específico dos grãos em g/cm³

γ_d = peso específico aparente seco em g/cm³

Antes de se obter o índice de vazios ao final de cada estágio de pressão precisa-se encontrar a altura dos sólidos do corpo de prova, de acordo com a Equação 2.

$$\Delta H = \frac{\Delta e \cdot H}{1 + e_0} \quad (2)$$

Onde:

ΔH = deformação da amostra entre estágios

H = altura do corpo de prova

e_0 = índice de vazios inicial

Δe = Variação do índice de vazios

Encontrado a deformação da amostra entre os estágios, o índice de vazios ao final de cada estágio de pressão é obtido segundo a Equação 3.

$$e = \frac{H}{H_s} \quad (3)$$

Onde:

e = índice de vazios ao final do estágio de pressão

H = altura do corpo de prova ao final do estágio em cm

ΔH = deformação da amostra entre estágios

2.1.4 Cálculo de Recalque por Adensamento

Segundo Pinto (2002), um dos aspectos de maior interesse para a Engenharia Geotécnica é a determinação das deformações devidas a carregamentos verticais na superfície do terreno ou em contatos próximas à superfície, ou seja, os recalques das edificações com fundações superficiais (sapatas ou radiers) ou de aterros construídos sobre os terrenos.

As deformações podem ser de dois tipos: as que ocorrem rapidamente após a construção e as que se desenvolvem lentamente após a aplicação das cargas. Deformações rápidas são observadas em solos arenosos ou solos argilosos não saturados, enquanto que nos solos argilosos saturados os recalques são muito lentos, pois é necessária a saída da água dos vazios do solo (PINTO, 2002).

O autor ainda afirma que o grau de adensamento define-se como a relação entre a deformação ocorrida num elemento, numa certa posição, caracterizada pela sua profundidade z , num determinado tempo t e a deformação desse elemento quando todo o processo de adensamento tiver ocorrido é dado pela letra U , conforme a Equação 4:

$$U = \frac{P}{\Delta H} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

U = porcentagem de recalque em %

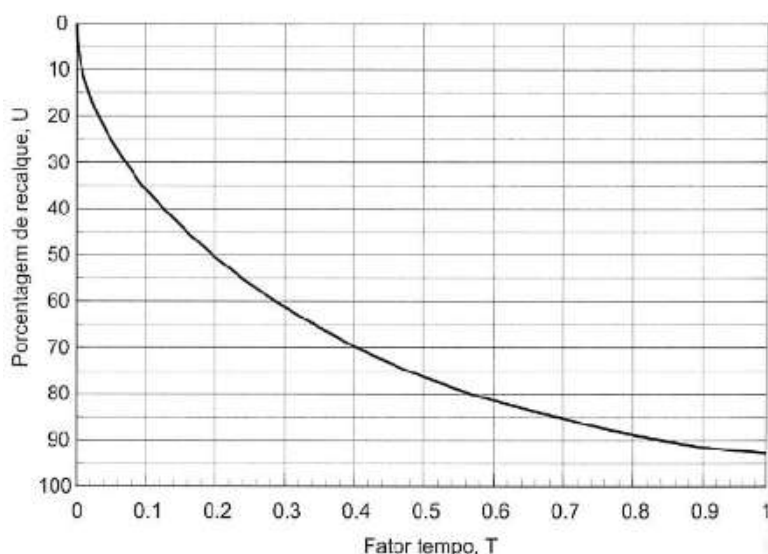
P = recalque parcial, após tempo t

ΔH = recalque total da camada no tempo infinito

Portanto, pode-se dizer que o grau de adensamento é a relação entre a variação do índice de vazios até o instante t e a variação total do índice de vazios devido ao carregamento.

A curva da Figura 10, abaixo, indica como os recalques se desenvolvem ao longo do tempo. Todos os recalques por adensamento seguem a mesma evolução. Se o solo for mais deformável, os recalques serão maiores, sendo que a curva indica a porcentagem de recalque. Se o solo for mais impermeável, ou a distância de drenagem for maior, os recalques serão mais lentos, sendo que a curva refere-se ao fator tempo, que se liga ao tempo real pelo coeficiente de adensamento e pelas condições de drenagem de cada situação prática.

Figura 10 – Curva de recalque (% de recalque em função do fator tempo)



Fonte: PINTO (2002)

Já a Tabela 3 define o fator tempo em função da porcentagem de recalque para adensamento pela teoria de Terzaghi (1943) *apud* Pinto (2006).

Tabela 3 – Fator tempo x Porcentagem pela teoria de Terzaghi

U (%)	T	U (%)	T	U (%)	T	U (%)	T	U (%)	T
1	0,0001	21	0,0348	41	0,132	61	0,297	81	0,588
2	0,0003	22	0,0380	42	0,138	62	0,307	82	0,610
3	0,0007	23	0,0415	43	0,145	63	0,318	83	0,633
4	0,0013	24	0,0452	44	0,152	64	0,329	84	0,658
5	0,0020	25	0,0491	45	0,159	65	0,340	85	0,684
6	0,0028	26	0,0531	46	0,166	66	0,351	86	0,712
7	0,0038	27	0,0572	47	0,173	67	0,364	87	0,742
8	0,0050	28	0,0616	48	0,181	68	0,377	88	0,774
9	0,0064	29	0,0660	49	0,189	69	0,389	89	0,809
10	0,0078	30	0,0707	50	0,197	70	0,403	90	0,848
11	0,0095	31	0,0755	51	0,204	71	0,416	91	0,891
12	0,0113	32	0,0804	52	0,212	72	0,431	92	0,938
13	0,0133	33	0,0855	53	0,221	73	0,445	93	0,992
14	0,0154	34	0,0908	54	0,230	74	0,461	94	1,054
15	0,0177	35	0,0962	55	0,239	75	0,477	95	1,128
16	0,0201	36	0,102	56	0,248	76	0,493	96	1,219
17	0,0227	37	0,108	57	0,257	77	0,510	97	1,335
18	0,0254	38	0,113	58	0,266	78	0,528	98	1,500
19	0,0283	39	0,119	59	0,276	79	0,547	99	1,781
20	0,0314	40	0,126	60	0,287	80	0,567	100	∞

Fonte: PINTO (2002)

Utilizando os dados obtidos no ensaio de adensamento, o recalque total devido a uma variação do índice de vazios, numa camada compressível é dado pela Equação 5:

$$\Delta H = \frac{H}{1+e} \cdot C_c \cdot \log \frac{\sigma'_{vm} + \Delta \sigma'_v}{\sigma'_{vm}} \quad (5)$$

Onde:

ΔH = recalque por adensamento para argilas normalmente adensadas

C_c = índice de compressão

e_i = índice de vazios inicial

σ'_{vm} = tensão de pré-adensamento

$\Delta \sigma'_v$ = acréscimo de tensão efetiva no centro da camada (Teoria da Elasticidade)

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Com o intuito de se obter os resultados esperados e objetivos do presente trabalho, foram realizados o ensaio de adensamento unidimensional utilizando a prensa de adensamento, apresentada na Figura 11.

O ensaio apresentado a seguir foi realizado no laboratório de mecânica dos solos da FAG – Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz. O resultado do ensaio apresenta-se através de cálculos, tabelas, gráficos, apresentando de forma clara e simples o objetivos da pesquisa. E os resultados apresentados poderão ser utilizados no dimensionamento de fundações diretas ou superficiais.

Figura 11 – Prensa de adensamento



Fonte: Autor (2016)

3.1.1 O Tipo de Estudo e o Local da Pesquisa

Tratou-se de um estudo de solo da cidade de Cascavel/PR, retirado precisamente no Campo Experimental de Engenharia da FAG (Figura 12). O estudo teve como objetivo obter as características e propriedades mecânicas do solo para a determinação da curva de adensamento, que foi realizada através de estudos bibliográficos e práticas laboratoriais de acordo com a NBR 12007/90.

Figura 12 – Localização do Campo Experimental de Engenharia da FAG



Fonte: Google Maps (2016)

3.1.2 Coleta e Preparação das Amostras

As amostras para a realização do ensaio do presente trabalho foram coletadas por meio de um molde no formato de um anel com diâmetro de 10 cm e altura de 3 cm (Figura 13). No total, foram 3 amostras indeformadas coletadas em três poços distintos da cota -1,5 m (Figura 14) do Campo Experimental Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz.

As amostras foram coletadas de 1 a 2 horas antes da execução de cada ensaio, assim,

a umidade inicial podia variar de acordo com o clima no dia da coleta do solo.

A primeira amostra foi coletada no dia 28/09/2016, a segunda amostra foi coletada no dia 13/10/2016 e a terceira amostra foi coletada no dia 21/10/2016,

Figura 13 – Anel de adensamento



Fonte: Autor (2016)

Figura 14 – Amostra coletada na cota -1,5



Fonte: Autor (2016)

As amostras coletadas em campo foram levadas para o laboratório de mecânica dos solos do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz e devidamente acondicionadas para que se mantivessem suas características de campo e preservasse seu teor de umidade, visto que os resultados do ensaio são altamente dependentes da qualidade da amostra.

Finalmente, em laboratório, foi feita a raspagem do solo rente ao topo e base do anel, (Figura 15), e os restos de solo resultantes da raspagem do corpo de prova foram acondicionados em 3 cápsulas e levados à estufa para posteriormente determinar o teor de umidade inicial do solo. Também, a partir das aparas de solo foi determinado o peso específico real dos grãos de solo.

Figura 35 – Anel com amostra pronta para ensaio



Fonte: Autor (2016)

3.1.3 Procedimento do Ensaio de Adensamento

Após a moldagem do corpo de prova, primeiramente foi verificado o equilíbrio da prensa e, então, colocado o anel na célula de adensamento como mostra a Figura 16, para, posteriormente, a célula ser colocada na prensa de adensamento para se dar início ao ensaio.

Figura 16 – Solo confinado na célula de adensamento



Fonte: Autor (2016)

A NBR 12.007/90 determina que, antes de dar início ao ensaio, deve-se aplicar uma pressão de 2 KPa para solos moles e 5 KPa para solos resistentes. Neste caso, como o solo é considerado um solo mole, foi aplicada uma pressão de 2 KPa e, após 5 min do solo já estabilizado, zerou-se o extensômetro. Decorrido esse tempo, aplicou-se uma pressão de 10 KPa (Figura 17) e, imediatamente após a aplicação da carga, fez-se a inundação do corpo de

prova que, conforme mencionado na NBR 12.007/90: “amostra indeformada saturada nas condições de campo, o ensaio deve ser executado com inundação do corpo de prova imediatamente após a aplicação da pressão de 10 Kpa”. As demais cargas aplicadas foram de 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1280 kPa, mantendo-se cada pressão pelo período de tempo de 24 horas.

Para cada estágio de pressão, fez-se a leitura do extensômetro da altura do corpo de prova, imediatamente antes do carregamento (tempo zero) e, a seguir, nos intervalos de tempo 15s, 30s, 1min, 2min, 4min, 8min, 15min, 30min, 1h, 2hrs, 4hrs, 8hrs, 16hrs e 24hrs.

Completadas as leituras correspondentes ao máximo carregamento empregado, efetuou-se o descarregamento do corpo de prova em 3 estágios, fazendo-se leituras no extensômetro de expansão do corpo de prova, devido ao alívio de pressão.

Após o término do ensaio, realizou-se a pesagem do solo e, posteriormente, dividiu-se o solo do anel em 3 cápsulas que foram então levadas à estufa para se determinar o teor de umidade final da amostras.

Figura 17 – Prensa de adensamento, início do ensaio com inundação do C.P.



Fonte: Autor (2016)

Para cada amostra indeformada retirada da cota -1,5m foi realizado o mesmo procedimento, sendo que no total foram feitos 3 ensaios de adensamento. Após a realização do

ensaio foram encontrados os parâmetros de adensamento das amostras ensaiadas.

3.1.4 O Coeficiente de Adensamento (C_v)

O denominado Coeficiente de Adensamento (C_v) reflete as características do solo (permeabilidade, porosidade e compressibilidade) e o seu valor é admitido como constante para cada acréscimo de tensões. Esse coeficiente pode ser obtido por meio do método de Casagrande (Figura 13) ou do método de Taylor (Figura 14) (NBR 12.007/90).

3.1.4.1 Processo por Casagrande

De acordo com a NBR 12.007/90, no processo proposto por Casagrande, para cada incremento de carga escolhido, é desenhada a curva de adensamento e são marcados no eixo das ordenadas a altura do corpo de prova e no eixo das abcissas o logaritmo do tempo.

Depois, para se obter 100% do adensamento primário, faz-se intersecção das retas tangentes aos ramos da curva que definem as compressões primárias e secundárias e, em seguida, transporta-se o ponto encontrado para o eixo das ordenadas, obtendo-se a altura H_{100} .

Já para se determinar o ponto correspondente a 0% do adensamento primário, são selecionadas duas alturas do corpo de prova, H_1 e H_2 , marcando os tempos t_1 e t_2 , cuja relação t_2/t_1 seja igual a quatro. A altura correspondente a 0% de adensamento primário será calculada pela diferença de H_1 e H_2 , mais H_1 , e, para que o processo seja válido, a variação de altura correspondente ao tempo t deve ser maior que $\frac{1}{4}$ e menor do que $\frac{1}{2}$ da variação total de altura no estágio de pressão considerado.

O tempo t_{50} , correspondente à ocorrência de 50% do adensamento primário, é obtido tomando-se a abcissa do ponto da curva correspondente a H_{50} . Para calcular o coeficiente de adensamento (C_v), de acordo a Figura 18, é usada a Equação 6.

$$C_v = \frac{0.197 \cdot (0.5 \cdot H_{50}^2)}{t_{50}} \quad (6)$$

Onde:

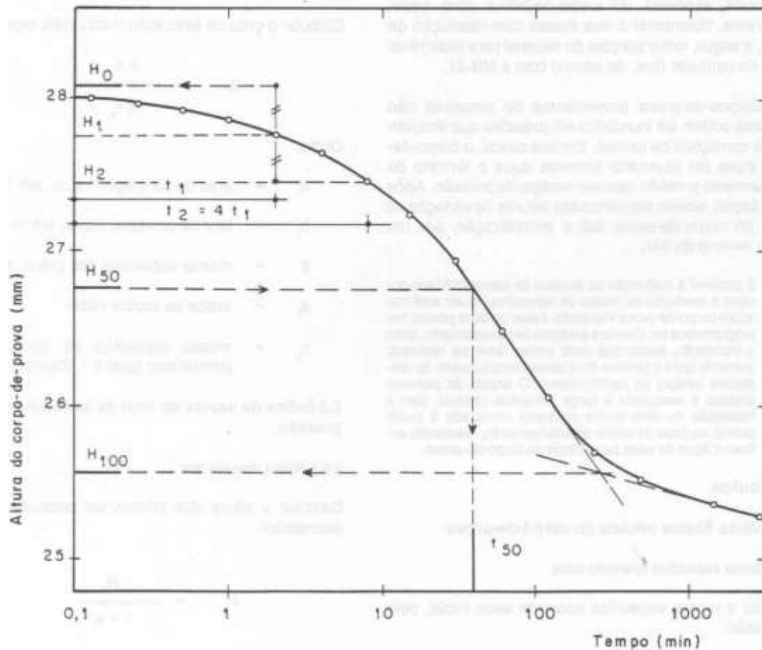
C_v = coeficiente de adensamento cm/s^2

H_{50} = altura do corpo de prova correspondente a 50% do adensamento primário em cm

t_{50} = tempo corresponde a 50% do adensamento primário em segundos

0.197 é o fator tempo para = 50 %

Figura 18 – Coeficiente de adensamento pelo método de Casagrande



Fonte: NBR12.007 (1990)

3.1.4.2 Processo de Taylor

De acordo com Taylor (NBR 12.007/90), para cada incremento de carga escolhido, deve-se desenhar a curva de acordo com a Figura 19 e, então, marcar a altura do corpo de prova no eixo das ordenadas e a raiz quadrada do tempo no eixo das abcissas. O ponto de 0% do adensamento primário é determinado pelo prolongamento da reta definida pelos pontos iniciais da curva de adensamento até o eixo das ordenadas. Deve-se traçar pelo ponto uma linha reta com coeficiente angular igual a 1,15 vezes o coeficiente angular da reta obtida anteriormente. A intersecção desta reta com a curva de adensamento define o ponto correspondente a 90% do adensamento primário, obtendo-se, assim, os valores de t_{90} e H_{90} . A altura do corpo de prova correspondente a 50% do adensamento primário é obtida pela Equação 7.

$$H_{50} = H_0 - \frac{5}{9}(H_0 - H_{90}) \quad (7)$$

Onde:

H_{50} = altura do corpo de prova correspondente a 50% do adensamento primário em cm

H_0 = altura do corpo de prova correspondente a 0% do adensamento primário em cm

H_{90} = altura do corpo de prova correspondente a 90% do adensamento primário em cm

E o coeficiente de adensamento será dado pela Equação 8.

$$C_v = \frac{0.848.(0,5.H_{50})^2}{t_{90}} \quad (8)$$

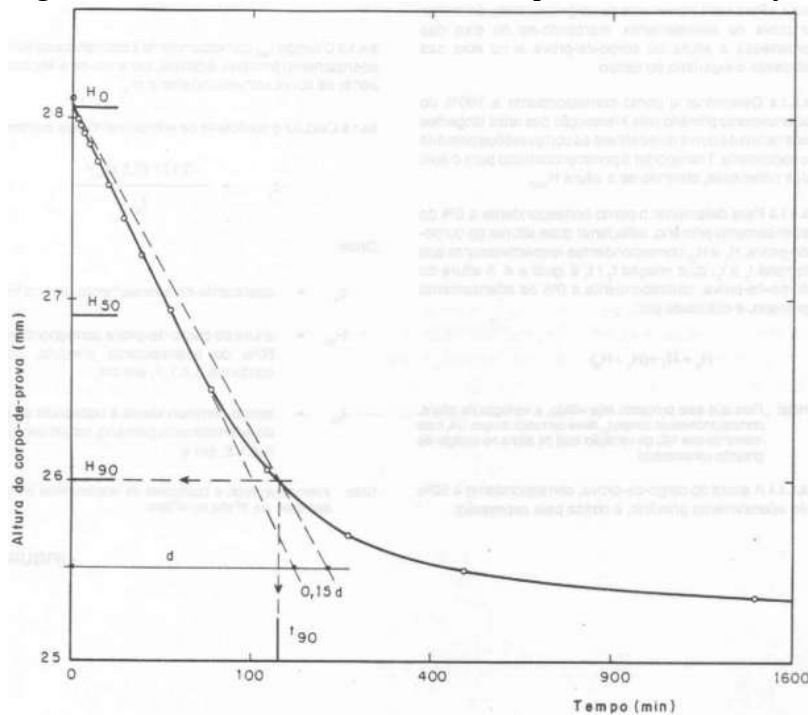
Onde:

C_v = coeficiente de adensamento cm/s^2

t_{90} = tempo correspondente a 90% do adensamento primário em segundos

0.848 é o fator tempo para $U=90\%$.

Figura 19 – Coeficiente de adensamento pelo método de Taylor



Fonte: NBR 12.007 (1990)

3.1.5 A Tensão Pré-Adensamento (σ'_{vm})

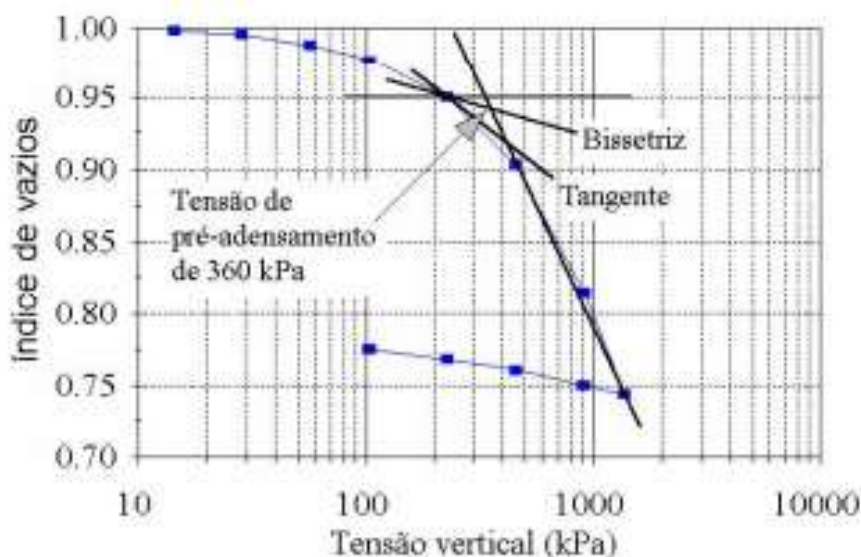
O valor da tensão que separa os trechos de recompressão e compressão virgem do solo

na curva de compressão do solo é normalmente denominado de tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}) e representa, conceitualmente, o maior valor de tensão já sofrido pelo solo em campo. De acordo com Pinto (2006), a tensão pré-adensamento não pode ser determinada com precisão, entretanto, existem vários métodos empíricos que permitem estimar o valor mais provável dessa tensão, um dos métodos para se obter a tensão de pré-adensamento é o método de Casagrande e o método de Pacheco Silva.

3.1.5.1 Método de Casagrande

De acordo com a NBR 12.007/90, pelo método de Casagrande, primeiramente, determina-se o ponto de maior curvatura da curva de compressão confinada do solo. Por este ponto, traça-se uma tangente à curva e uma reta horizontal. Assim, a tensão de pré-adensamento do solo será determinada pela interseção do prolongamento da bissetriz ao ângulo formado por estas duas retas com o prolongamento da reta de compressão virgem do solo, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Determinação da tensão de pré-adensamento por Casagrande



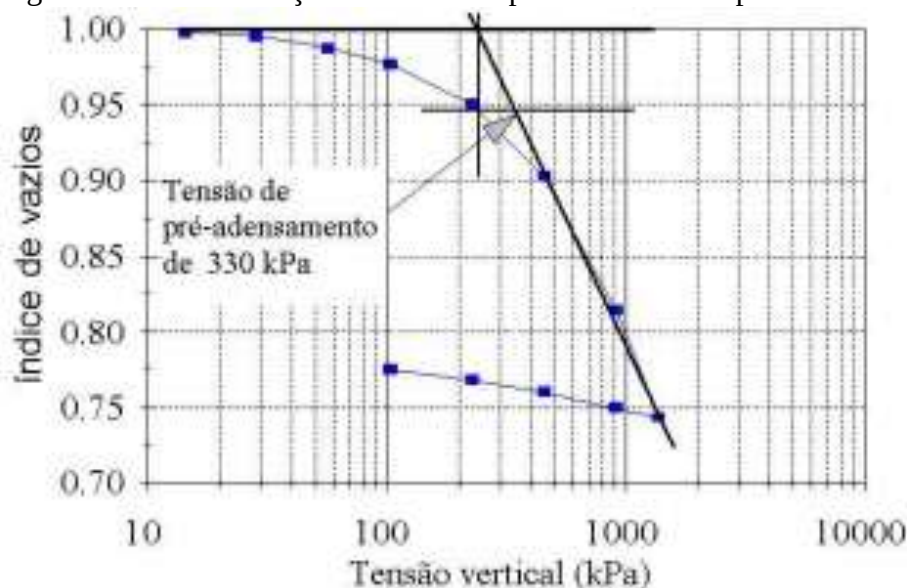
Fonte: CASAGRANDE (1936)

3.1.5.2 Método de Pacheco Silva

De acordo com a NBR 12.007/90, pelo método de Pacheco Silva, prolonga-se o trecho

da inclinação da reta virgem até que este toque uma reta horizontal, fixada em um valor correspondente ao índice de vazios inicial do solo, ou seja, antes do ensaio de adensamento. Sobre este ponto de interseção, passa-se uma reta vertical até se atingir a curva de compressão do solo. Por este ponto, traça-se novamente uma horizontal até atingir o prolongamento do trecho de compressão virgem, realizado anteriormente, sendo este o ponto cujo valor é a tensão de pré-adensamento do solo, como mostra a Figura 21.

Figura 21 – Determinação da tensão de pré-adensamento por Pacheco Silva



Fonte: PINTO (2009)

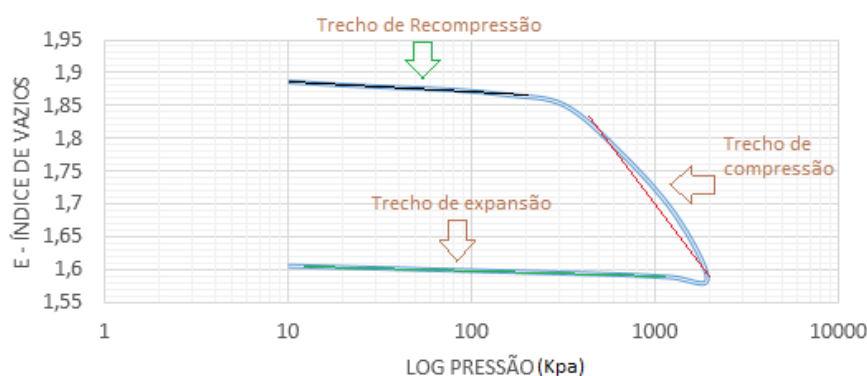
Segundo Pinto (2006), ao comparar-se as tensões efetivas sobre o solo no local de onde foi retirada a amostra com a tensão de pré-adensamento da amostra, pode-se conhecer um pouco a evolução desse solo. Às vezes, a tensão de pré-adensamento é igual à tensão efetiva do solo. Isso indica que o solo nunca esteve submetido anteriormente a maiores tensões, ou seja, ele é *normalmente adensando*.

Outras vezes segundo Pinto (2006), a tensão pré-adensamento (σ'_{vm}) é sensivelmente maior do que a tensão efetiva (σ'_{vo}) do solo. Isso seria uma indicação de que, no passado, o solo esteve sujeito a tensões maiores do que as atuais, eventualmente, teria havido uma camada de solo sobreposta a atual que teria sido removida por erosão. Neste caso, o solo é considerado como *solo sobreadensado* e a relação entre a tensão de pré-adensamento e a tensão efetiva atual dá-se o nome de *razão de sobreadensamento* (RSA).

3.1.6 Índice de Compressão (C_c)

Quando às tensões verticais efetivas, estas são plotadas em escala logarítmica. Distinguem-se três trechos de comportamento distintos do solo: o trecho de recompressão, o trecho de compressão virgem e o trecho de expansão (PINTO, 2006), conforme apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Indicação dos trechos de recompressão, compressão e expansão do solo

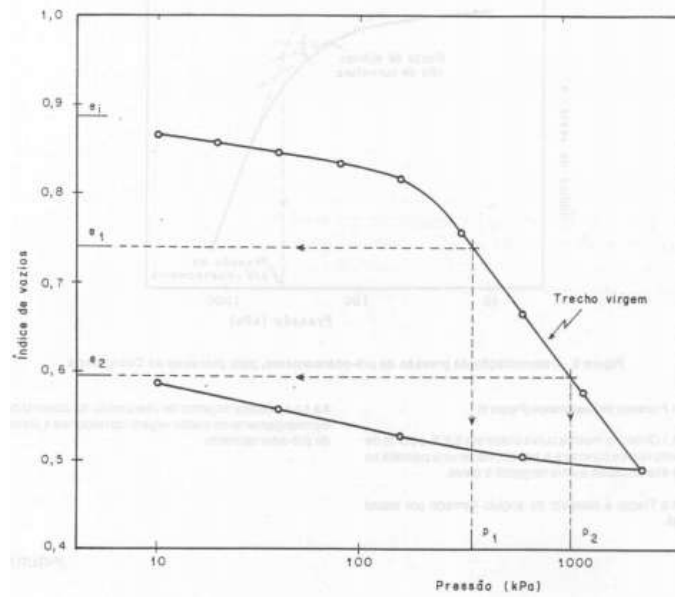


Fonte: Autor (2016)

A inclinação dos trechos de descarregamento/recarregamento e carregamento virgem da curva de compressão em escala semi-log são dadas pelos índices de expansão ou recompressão (C_e) e de compressão (C_c), (NBR 12007/90).

De acordo com Pinto (2006), a curva "e - log p" fornece dois parâmetros de grande utilidade no cálculo dos recalques por adensamento. Um é a pressão de pré-adensamento, já conceituada; outro é o chamado índice de compressão K^* ou C_c , que é a inclinação da reta virgem, de modo que quanto maior o índice de compressão mais compressível é o solo, e que é determinada de acordo com a curva da Figura 23 e representada na Equação 7.

Figura 23 – Curva do índice de vazios, em função do logaritmo da pressão



Fonte: NBR 12007/90

$$Cc = \frac{e_1 - e_2}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1} \quad (9)$$

Onde:

C_c = índice de compressão

$e_1 - e_2$ = índices de vazios, correspondentes a dois pontos quaisquer do trecho virgem

$\sigma_1 - \sigma_2$ = pressões associadas aos índices de vazios e_1 e e_2

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Dados do Ensaio

As leituras realizadas no extensômetro para cada incremento de carga se encontram em ANEXO 3. Após a obtenção de todas as informações, deu-se início à análise dos dados e aos cálculos necessários para se determinar os resultados finais, a partir dos quais é possível extrair os parâmetros para aplicação nos cálculos da magnitude e velocidade dos recalques do solo em questão.

A altura do corpo de prova é de 30 mm e para cada amostra foi verificada a deformação ou o recalque de acordo com o último incremento de carga. Os valores referentes aos recalques sofridos pelas amostras estão apresentadas na Tabela 4, a seguir, juntamente com a porcentagem de recalque que cada amostra apresentou.

Tabela 4 – Recalque do C.P.

Amostra	Altura C.P. (mm)	Recalque (mm)	Recalque (%)
1	30	3,16	10,47
2	30	3,14	10,40
3	30	3,34	11,13

Fonte: Autor (2016)

Os índices físicos foram determinados imediatamente antes da execução do ensaio, durante o processo de talhagem da amostra. Obteve-se, assim, o peso específico natural (γ_n) e o teor de umidade (w), sendo que, em conjunto com o peso específico dos grãos (γ_s) para cota -1,5m encontrado no valor de 2,67 kN/cm³, conforme a NBR 6508/84, assim foi possível determinar todos os índices físicos da amostra, tais como o peso específico seco (γ_d), grau de saturação (S_r) e porosidade (n) (Tabela 5).

Tabela 5 – Dados obtidos antes do ensaio

Amostras	γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	Sr (%)	W (%)	e	n
<u>1</u>	1,21	0,92	44,4	31,68	1,90	0,65
<u>2</u>	1,596	1,09	84,7	46,07	1,45	0,59
<u>3</u>	1,519	1,01	80,9	49,71	1,64	0,61

Fonte: Autor (2016)

Para os ensaios realizados, foram calculados os índices de vazios no final de cada incremento de carga. Os resultados encontram-se ilustrados na Tabela 6, a seguir, de acordo com cada amostra ensaiada.

Nos ensaios realizados com as 3 amostras, observou-se que no ensaio da primeira amostra o índice de vazios foi mais elevado que nos das amostras 1 e 2. A diferença inicial entre os índices de vazios pode ter ocorrido devido a leves compactações ocorridas durante o processo de moldagem, transporte e/ou talhagem do corpo de prova.

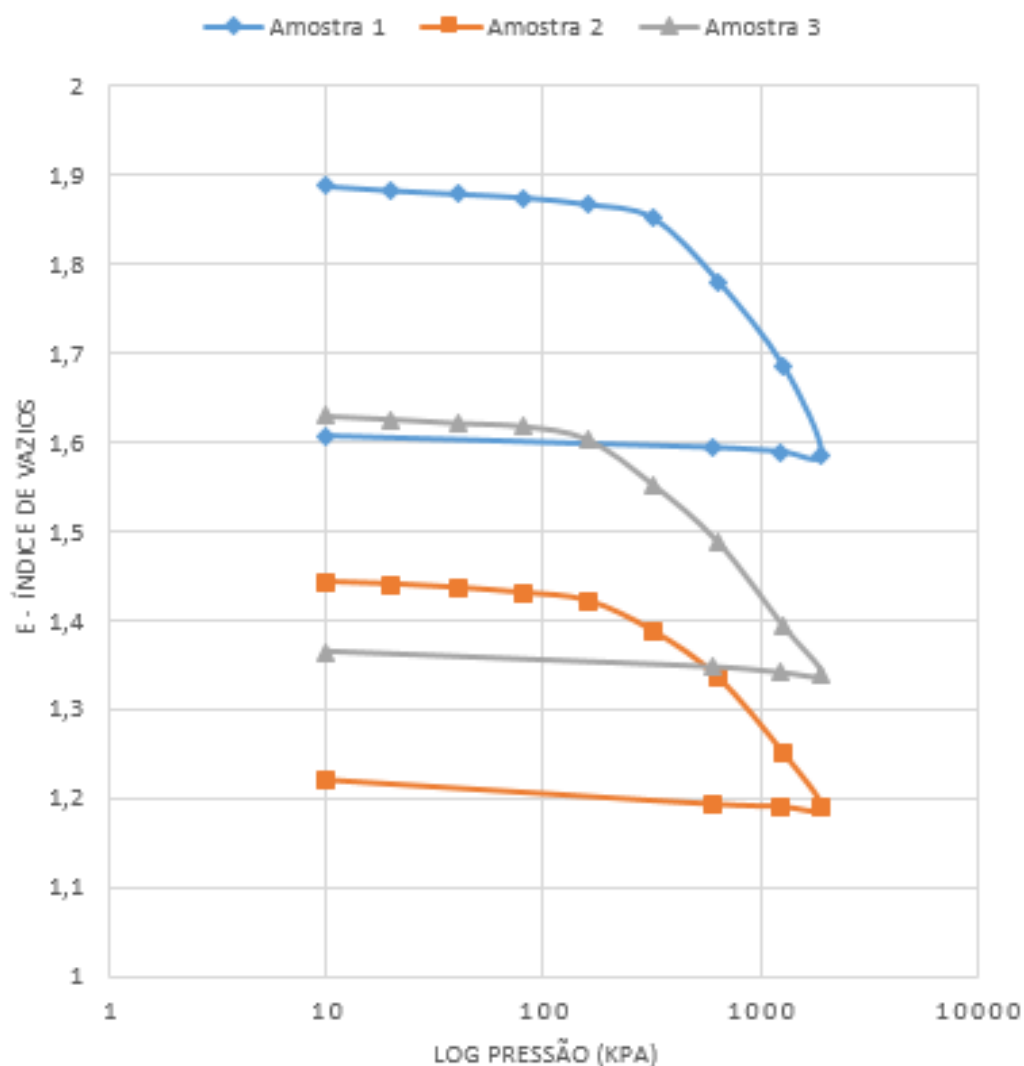
Tabela 6 – Variação índice de vazios – ensaio de adensamento (amostras 1, 2 e 3)

AMOSTRA 1			AMOSTRA 2			AMOSTRA 3		
Tensão (Kpa)	Variação do C.P. (mm)	e	Tensão (Kpa)	Variação do C.P. (mm)	e	Tensão (Kpa)	Variação do C.P. (mm)	e
0	30,0	1,9000	0	30,0	1,4500	0	30,00	1,6400
10	29,997	1,8872	10	29,98	1,4422	10	29,97	1,6289
20	29,992	1,8824	20	29,95	1,4397	20	29,92	1,6354
40	29,988	1,8786	40	29,90	1,4356	40	29,88	1,6210
80	29,984	1,8747	80	29,83	1,4299	80	29,84	1,6175
160	29,976	1,8670	160	29,72	1,4209	160	29,67	1,6026
320	29,960	1,8893	320	29,30	1,3868	320	29,09	1,5517
640	29,950	1,7456	640	28,66	1,3346	640	28,35	1,4868
1280	29,882	1,6248	1280	27,62	1,2499	1280	27,27	1,3921
1920	29,784	1,5820	1920	26,86	1,1880	1920	26,66	1,3386

Fonte: Autor (2016)

Com o índice de vazios calculado para cada incremento de carga, foi possível montar a curva de adensamento ($e \times \log P$) do solo para os três ensaios. As curvas referentes aos ensaios de adensamento estão apresentadas na Figura 24.

Figura 4 – Curva de adensamento dos ensaios



Fonte: Autor (2016)

Pode se observar que os índices de vazios iniciais obtidos por cada amostra foram bastante diferentes isso pode ter ocorrido devido a compactação da amostra durante sua talhagem ou algum outro fator externo, como heterogeneidade do solo, pelas amostras serem de cavas diferentes.

Ao final do ensaio, pesou-se o solo confinado no anel afim de se obter o peso específico aparente natural (γ_n) e o peso específico aparente seco (γ_d), e também se determinou o teor de umidade final.

Com o valor do índice de vazios encontrado ao final do último incremento de carga

foi possível encontrar o grau de saturação final da amostra e os valores referentes ao índice de vazios finais (e) e teor de umidade (w) de cada amostra, conforme ilustrado na Tabela 7.

Tabela 7– Dados obtidos após o ensaio

Amostras	γ_n	γ_d	S_r	w	e
	(g/cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(%)	
<u>1</u>	1,25	1,03	82,21	48,83	1,5857
<u>2</u>	1,59	1,06	84,74	49,33	1,1880
3	1,56	1,05	99,73	50,13	1,3386

Fonte: Autor (2016)

Determinado o índice de vazios para cada estágio de pressão bem como os índices físicos após o ensaio, os próximos resultados encontrados foram a tensão pré-adensamento, o índice de compressão e o coeficiente de adensamento.

4.1.2 Tensão Pré-Adensamento (σ'_{vm})

Como os solos apresentam um comportamento não-elástico, eles possuem uma certa “memória de carga”. Assim, a tensão de pré-adensamento é definida como a tensão correspondente ao maior carregamento a que um solo esteve submetido na sua vida geológica, identificada na curva (e x $\log \rho$). (CASAGRANDE, 1936, apud PINTO, 2006).

Os métodos empregados foram o método de Casagrande e de Pacheco Silva, embora o método de Casagrande seja mais difundido internacionalmente, pois exige uma curva com trechos de recompressão e compressão virgem mais bem definidos e sofra maior influência do operador.

As curvas e a aplicação dos métodos realizados para determinação da tensão pré-adensamento (σ'_{vm}) estão em ANEXO 1 ao final deste trabalho e o resultado final encontra-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultado da tensão de pré-adensamento das amostras

Amostras	Pacheco Silva (kPa)	Casagrande (kPa)
1	540	580
2	510	500
3	340	300
Média	453,33	460

Fonte: Autor (2016)

4.1.3 Índice de Compressão (C_c)

Segundo Pinto (2006), o processo de deformação nas argilas saturadas se dá pela expulsão da água existente em seus vazios. O tempo de duração deste processo depende da permeabilidade da argila, que é muito baixa, e da compressibilidade

O trecho de recompressão é caracterizado pelo comportamento menos compressível do solo, indicado pela pequena inclinação da curva de compressão. Quando a tensão vertical efetiva atinge o valor da tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}), há um aumento brusco da compressibilidade do solo, dando-se início ao trecho de compressão virgem, já o trecho de expansão é aquele correspondente à fase de descarregamento do ensaio edométrico.

Os índices de compressão (C_c) das amostras 1, 2 e 3 foram encontrados de acordo com que já foi revisado no Capítulo 2 deste trabalho e são apresentados na Tabela 9 e as curvas escolhidas para a aplicação da Equação 8 da primeira e segunda amostras foram as curvas de 1280 kPa e 1920 kPa, ambas encontradas no trecho virgem e para a terceira amostra foram escolhidas as curvas referente a pressão de 600 kPa e 1280 kPa.

Tabela 9 – Índice de compressão

AMOSTRAS	Índice de Compressão (C_c)
1	0,2989
2	0,2757
3	0,2853

Fonte: Autor (2016)

4.1.4 Coeficiente de Adensamento (C_v)

Em cada estágio de carregamento do ensaio obteve-se a evolução dos recalques em função do tempo. Essa evolução seguiu a própria teoria do adensamento, portanto, a curva obtida é semelhante a todas as curvas de recalque. O ajuste desta curva à curva teórica permite determinar o coeficiente de adensamento, aplicando-se o tempo real em que ocorreu um certo recalque e o fator tempo corresponde à respectiva porcentagem de recalque.

Os dois processos apresentam resultados muito próximos, mas há solos em que os resultados não definem convenientemente o trecho retilíneo do processo de Taylor, enquanto que outros, com acentuado adensamento secundário, tornam difícil a aplicação do processo de Casagrande.

Neste trabalho foi utilizado o método de Taylor para a determinação do coeficiente de adensamento e os valores estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Coeficiente de adensamento

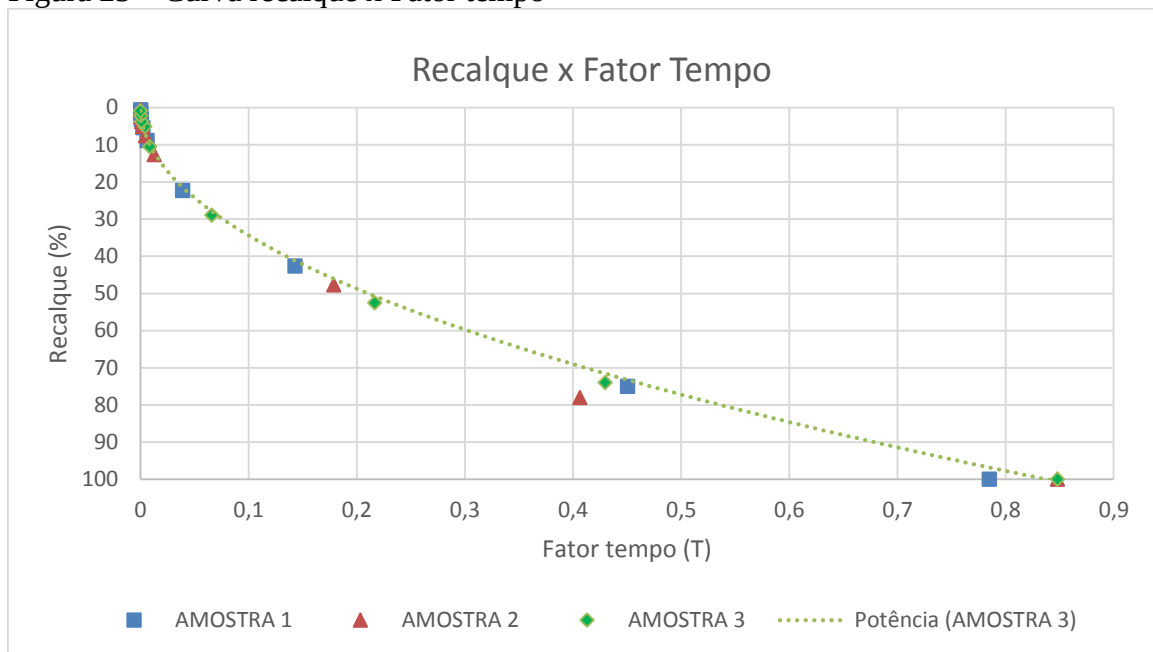
ENSAIO	C_v (cm ² /s)
AMOSTRA 1	0,032
AMOSTRA 2	0,030
AMOSTRA 3	0,023

Fonte: Autor (2016)

4.1.5 Curva tempo x Porcentagem de Recalque

Aproveitando os dados do presente trabalho, optou-se por determinar as curvas de porcentagem de recalque x fator tempo, de acordo com a Figura 25, de modo a observar se as expressões e o comportamento das amostras nos ensaios foram conforme a bibliografia apresentada no Capítulo 2.

Figura 25 – Curva recalque x Fator tempo



Fonte: Autor (2016)

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio de adensamento ou ensaio edométrico constitui uma importante ferramenta para avaliar o comportamento de certos solos. Com o final do ensaio de adensamento do presente trabalho foram obtidos alguns resultados, tais como os índices físicos, parâmetros de compressibilidade do solo e também a tensão pré-adensamento.

Primeiramente foram encontrados os índices de vazios iniciais de cada amostra ensaiada, a média das 3 amostras resultaram em um índice de vazios inicial no valor de 1,66. Outros resultados encontrados foi o peso específico aparente seco (γ_d) no valor de 1,006 g/cm³.

A tensão pré-adensamento que representa a maior tensão que o solo esteve submetido durante sua vida geológica, foi determinada pelo método de Pacheco Silva e pelo método de Casagrande e a média de seus valores respectivamente foram de 453,3 kPa e 460 kPa.

A amostra encontra-se no estado normalmente adensado, visto que devido as diversas influencias (manuseio da amostra, eventuais compactações, erros de determinação no ensaio e/ou precisão na obtenção dos valores) fazem com o que ocorra uma pequena diferença entre a tensão de pré-adensamento e a tensão geostática sobre a camada em campo.

O coeficiente de adensamento (C_v) determina a velocidade de adensamento da camada do solo quando sujeito a um carregamento, e ele pode ser obtido tanto pelo processo gráfico de Casagrande como pelo processo gráfico de Taylor, porém, como os dados do ensaio ficaram mais bem caracterizados na segunda opção, decidiu-se fazer o gráfico pela raiz do tempo, assim, fazendo-se uma média do coeficiente de adensamento das amostras ensaiadas, obteve-se o valor de 0,028 cm/s². O índice de compressão C_c , que se dá pela inclinação da reta de compressão do solo, foi encontrada nas 3 amostras, encontrado um valor médio de 0,2866.

Os resultados obtidos podem ser usados para cálculo de dimensionamento de fundações superficiais, estimativa de recalque em relação ao fator tempo, e também, de acordo com os valores encontrados, influenciar diretamente no valor final da obra, podendo gerar economia ou no caso de resultados errados ou ensaios em amostras de má qualidade, gerar custo extras ou até um dimensionamento errado da fundação.

É interessante que novos ensaios sejam realizados de modo a confirmar os resultados obtidos, também verificar a situação de ensaios com o mesmo solo no seu estado natural sem realizar o saturamento de modo a verificar a colapsibilidade do solo mediante carregamento.

CAPITULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar ensaios de adensamento em cotas diferentes, outra sugestão é realizar ensaios de adensamento em outro tipo de solo e fazer uma comparação entre os resultados obtidos.

Por fim também é possível realizar ensaios considerando a pré saturação do solo preliminarmente aos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.007** – Solo: Ensaio de adensamento unidimensional – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1990.

AZEVEDO, A. L. C. **Estabilização de solos com adição de cal. Um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal.** 2010. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** Rio de Janeiro: LTC, 1988.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1987. 2 v.

CARDOSO, D. L; MEDEIROS, J. A. Propriedades geotécnicas da região de Cascavel-PR. Anais do I ENGEOPAR – **Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense.** Maringá, 2003.

CINTRA, J.C.A.; AOKI, N. **Fundações Diretas:** Projetos Geotécnicos. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

DAMIN, Eduardo. **Aplicação do modelo Cam-Clay modificado ao solo de Cascavel/PR.** Trabalho de Conclusão de Curso. FAG – 2012

LOBO, A. S; FERREIRA, C. V; ALBIERO, J. H; MARTINS A. G. R. Penetrômetro Portátil – Novas Correlações. **3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia – SEFE III.** São Paulo, 1996.

MARIZ, D.F. (1993). **Um Estudo Químico Mecânico sobre o Colapso de Solos Residuais Sesquióxidos Micro-agregados do Planalto Central.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, RJ, 168 p.

MARTINS, I. S. M.; LACERDA, W. A. Sobre a Relação Índice de Vazios - Tensão Vertical Efetiva na Compressão Unidimensional, **Solos e Rochas**, vol. 17, n. 3, p.157-166, São Paulo, 1994.

MENDONÇA, M. B. **Comportamento de solos colapsáveis da região de Bom Jesus da**

Lapa/Bahia. Tese de Doutorado. COPEE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1990.

MINEROPAR – MINERAIS DO PARANÁ S.A. **Mineração na geração de emprego e renda:** oportunidades de negócios com mineração. Curitiba: SERT, 1998.

MORAES. 2008.

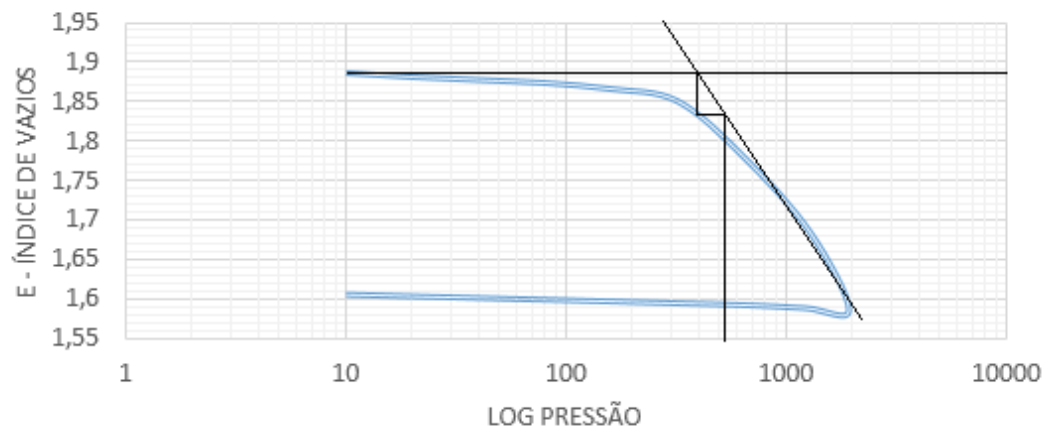
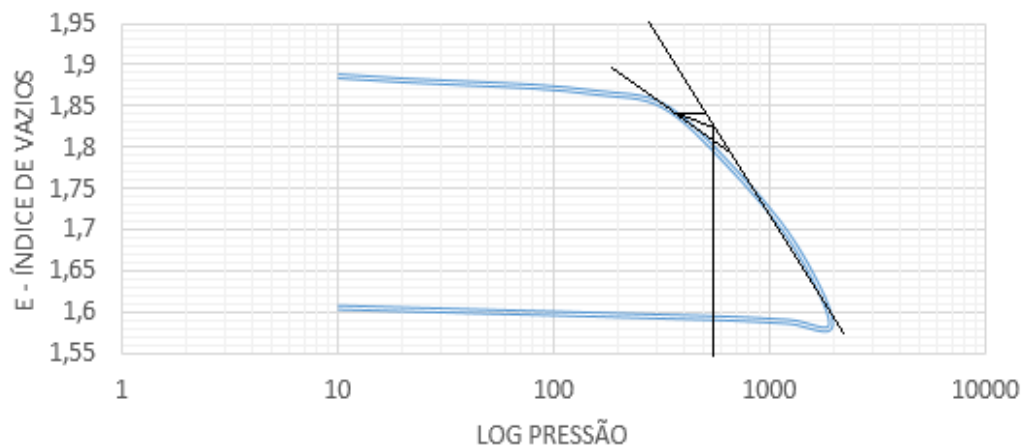
NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos.** São Paulo: Villibor, 1995.

CASCADEL. Portal do Município de Cascavel/PR. **História.** Disponível em: <<http://www.cascavel.pr.gov.br>>. Acesso em: 12 maio 2016.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

REBELLO, Y. C. P. Fundações: **Guia Prático de Projeto, Execução e Dimensionamento.** São Paulo: Zigurate, 2008.

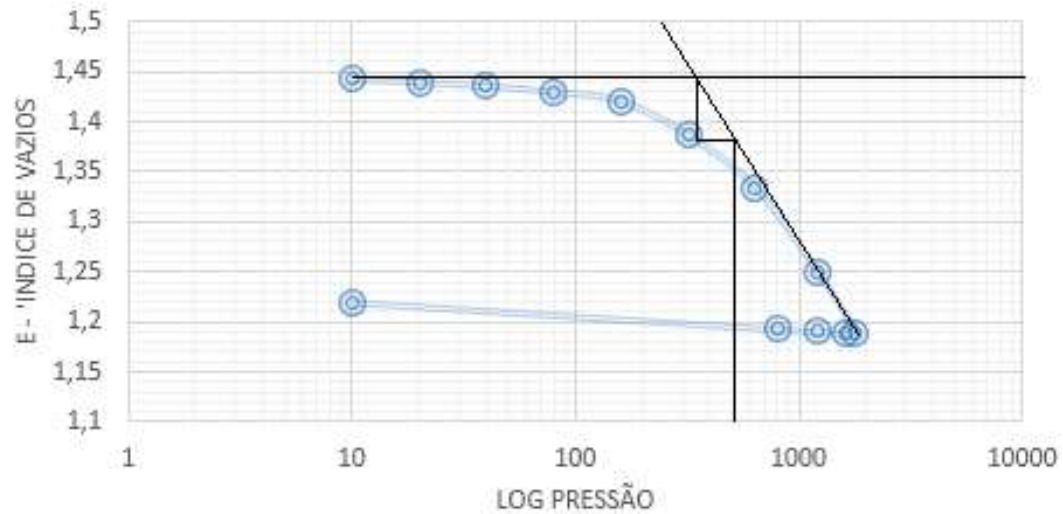
SUWIDAN, Ruba. **Determinação dos parâmetros de compressibilidade em amostras de solo mole reforçadas com a incorporação de colunas de areia.** 2012. 58. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

ANEXOS**ANEXO 1 – TENSÃO PRÉ-ADENSAMENTO****AMOSTRA 1***Pacheco Silva***Curva de Adensamento - Amostra 1***Casagrande***Curva de Adensamento - Amostra 1**

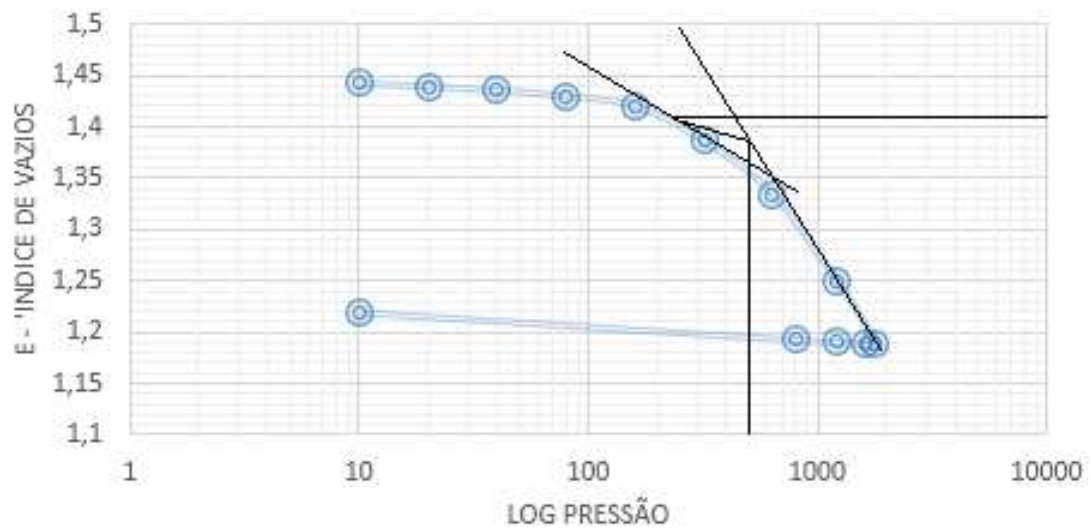
AMOSTRA 2

Pacheco Silva

Curva de Adensamento

*Casagrande*

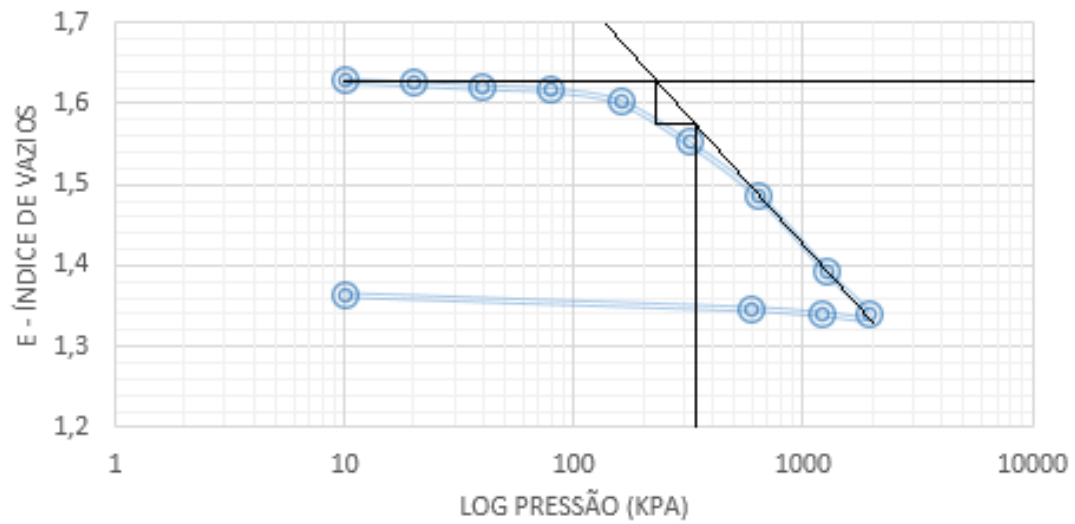
Curva de Adensamento



AMOSTRA 3

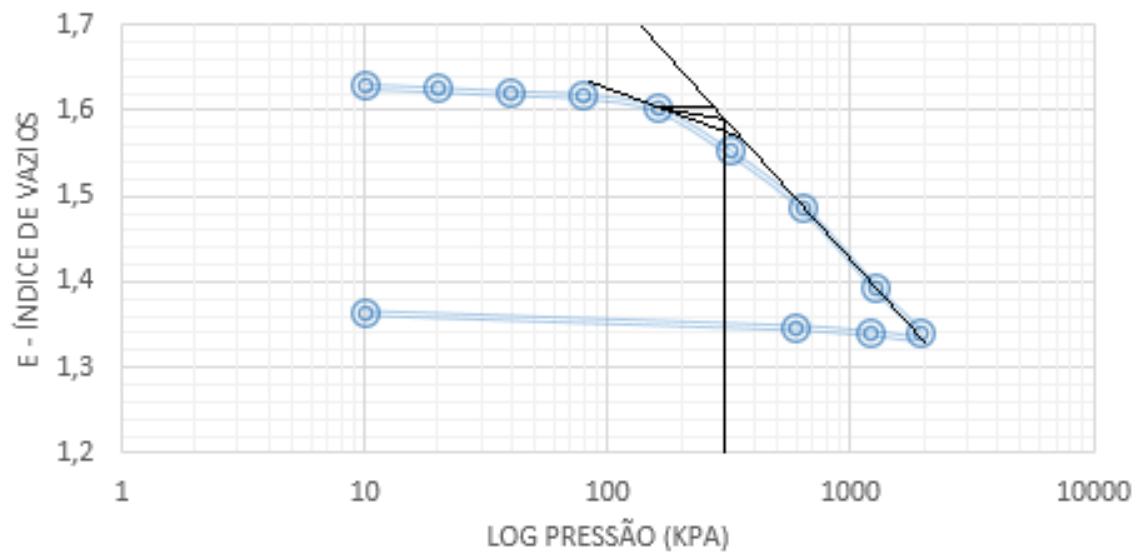
Pacheco Silva

Curva de Adensamento



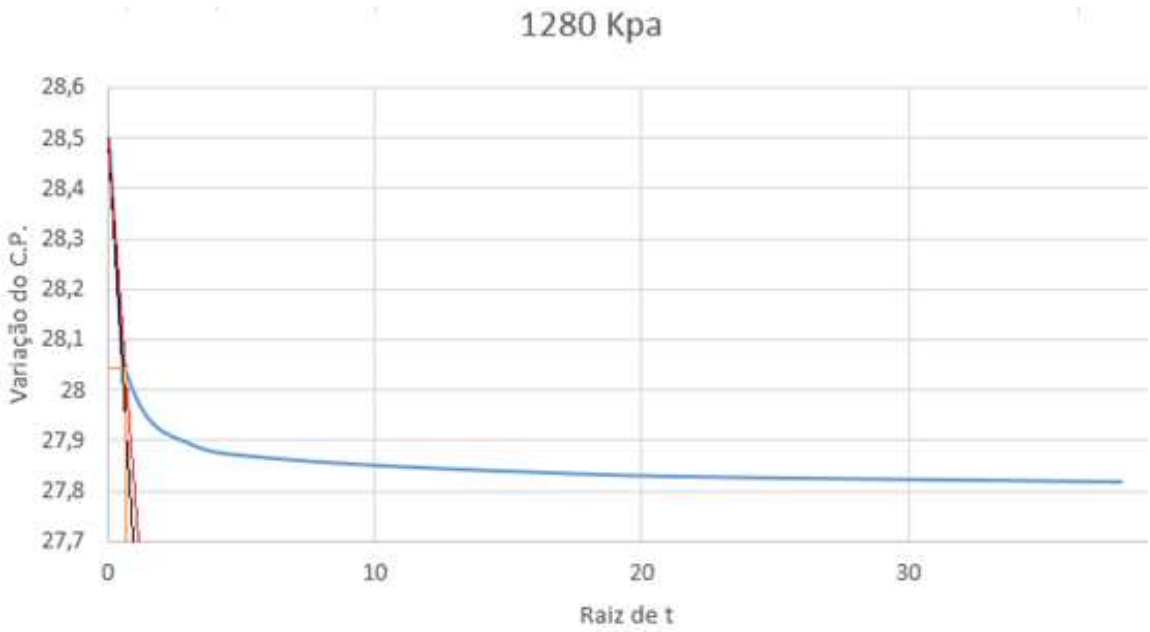
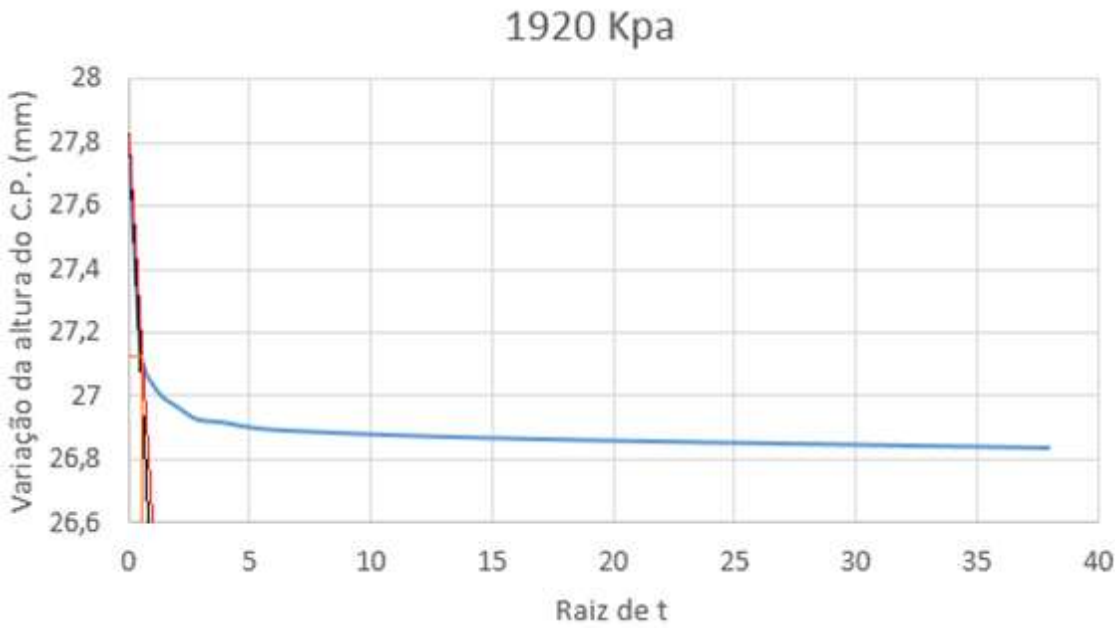
Casagrande

Curva de Adensamento



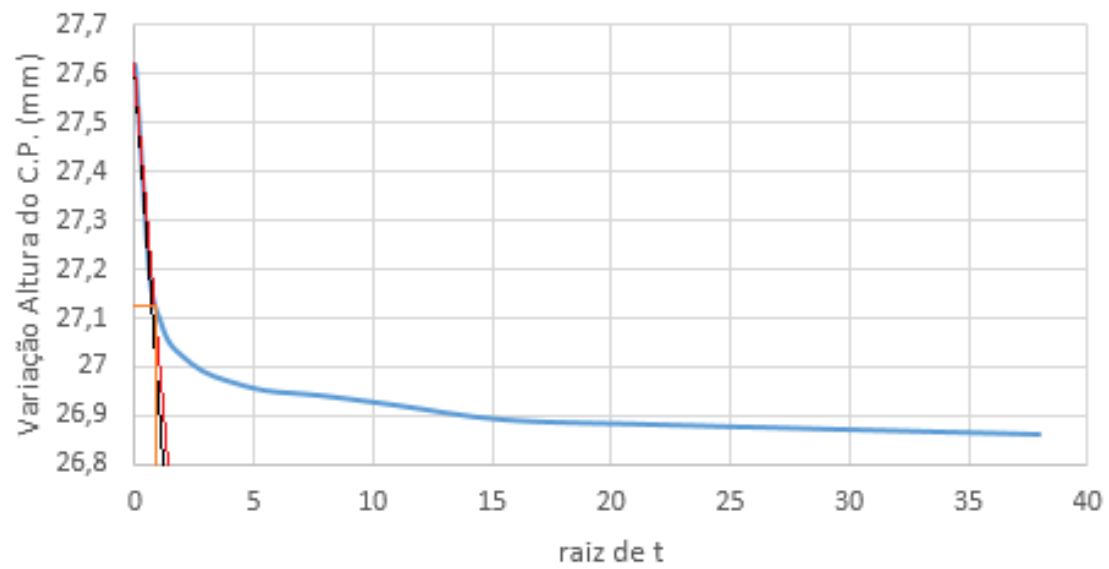
ANEXO 2 – COEFICIENTE DE ADENSAMENTO

AMOSTRA 1

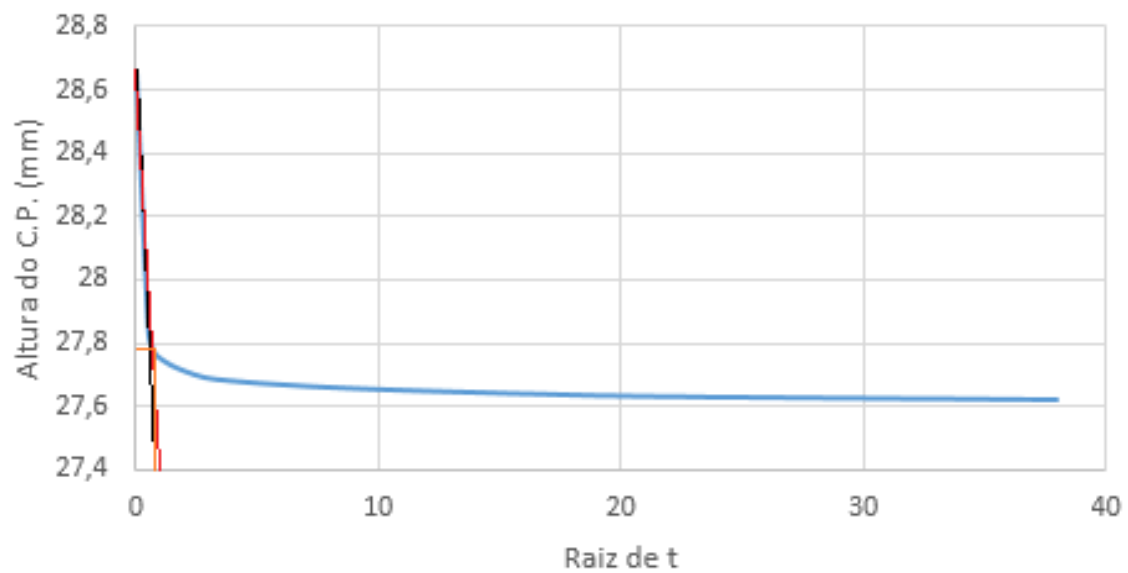


AMOSTRA 2

Curva de Adensamento - 1920 Kpa

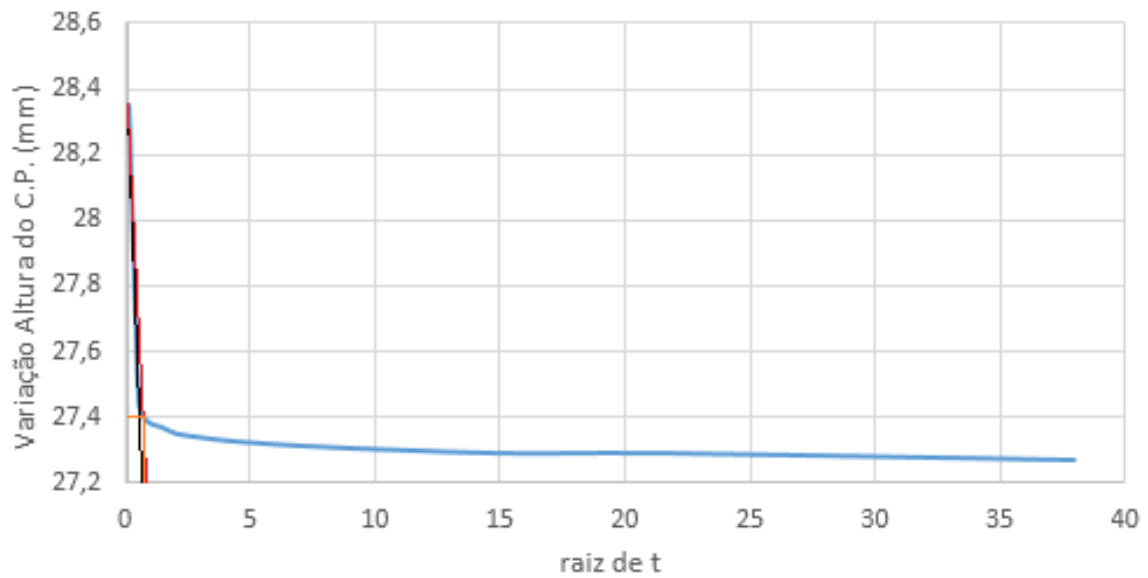


Curva de Adensamento 1280 Kpa

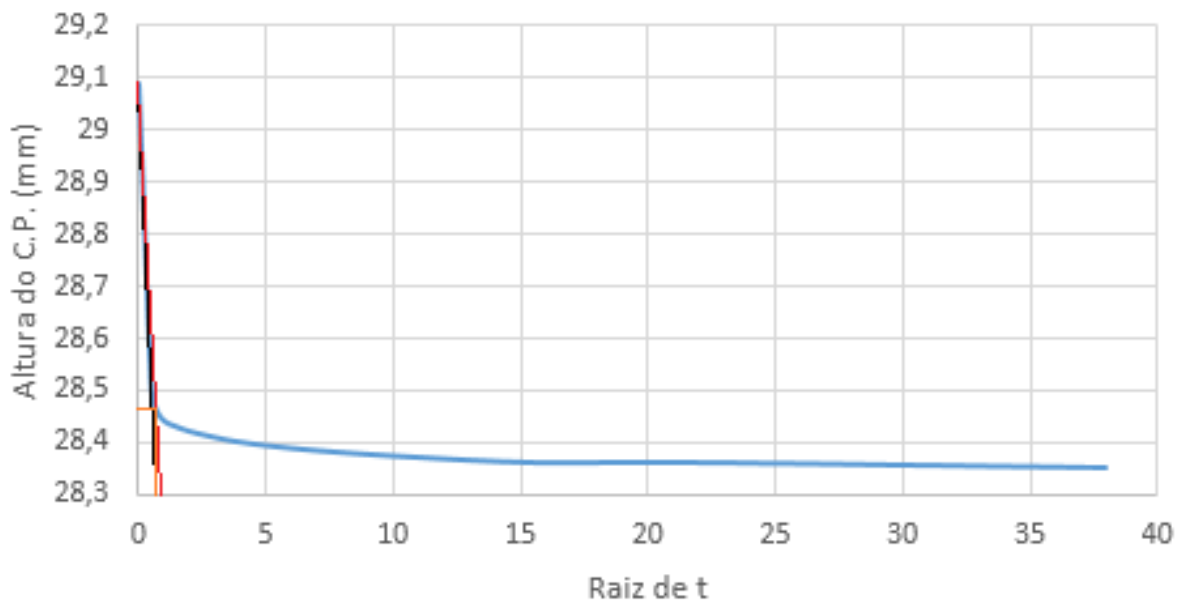


AMOSTRA 3

Curva de Adensamento 1280 Kpa



Curva de Adensamento 600 Kpa



ANEXO 3 – TABELAS DE LEITURA



LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS

AMOSTRA: Amostra 01

ENSAIO DE ADENSAMENTO – NBR – 12007/90**CARACTERISTICA DO ANEL****CARACTERISTICA DO CORPO DE PROVA**

Altura: 3 cm Volume: 235,62 cm³ Massa anel+solo+água: 400,87 g
 Diâmetro: 10 cm Área: 78,54 cm² Massa solo inicial: 285,67 g
 Massa: 115,20 g Massa Especifica Aparente: 1,215 g/cm³
 Massa Especifica Aparente seca: 0,9226 g/cm³

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						
	Umidade inicial (%)			Umidade final		
	X	Y	W	U	V	K
Cápsula	35,9	36	36	35,51	33,6	33,07
Tara (g)	126,01	128,14	145,69	136,50	124,37	123,29
Tara + Solo + Água (g)	90,11	92,14	109,69	100,99	90,77	90,22
Solo inicial (g)	69,89	69,29	83,96	67,86	61,0	60,61
Solo seco (g)	31,7	31,66	31,68	48,8	48,83	48,86
Umidade (%)						
Umidade média (%)	31,68			48,83		

LEITURAS DURANTE O ADENSAMENTO

Pressão (Kpa)	10	20	40	80	160	320	640	1280	1920
Data:	28/09	29/09	30/09	03/10	04/10	05/10	06/10	07/10	10/10
Tempo	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)
0	0,00	0,03	0,08	0,12	0,16	0,24	0,40	0,50	1,18
15"	0,01	0,03	0,09	0,14	0,21	0,31	0,41	0,92	1,85
30 "	0,01	0,03	0,09	0,14	0,21	0,33	0,41	0,97	1,92
1'	0,02	0,03	0,09	0,14	0,21	0,34	0,42	1,01	1,96
2 '	0,02	0,04	0,09	0,14	0,21	0,35	0,42	1,05	2,00
4'	0,02	0,04	0,09	0,14	0,22	0,36	0,43	1,08	2,03
8 '	0,02	0,04	0,09	0,14	0,22	0,36	0,44	1,10	2,07
15'	0,02	0,04	0,09	0,14	0,22	0,37	0,45	1,12	2,08
30 '	0,02	0,04	0,09	0,14	0,22	0,37	0,45	1,13	2,10
1h	0,02	0,04	0,09	0,15	0,23	0,38	0,46	1,14	2,11

2 h	0,03	0,04	0,09	0,15	0,23	0,38	0,46	1,15	2,12
4h	0,03	0,05	0,10	0,15	0,23	0,385	0,47	1,16	2,13
8 h	0,03	0,06	0,12	0,15	0,23	0,39	0,49	1,17	2,14
24h	0,03	0,08	0,12	0,16	0,24	0,40	0,50	1,18	2,16

DESCARREGAMENTO

	Inicial	Pressão 1920 Kpa	Pressão 600 Kpa	Pressão 10 Kpa
Leitura (mm)	2,16	2,135	2,09	1,95

ANEXO 4



CENTRO UNIVERSITÁRIO

AMOSTRA: Amostra 02

ENSAIO DE ADENSAMENTO – NBR – 12007/90**CARACTERISTICA DO ANEL****CARACTERISTICA DO CORPO DE PROVA**

Altura: 3 cm Volume: 235,62 cm³ Massa anel+solo+água: 490,32 g
 Diâmetro: 10 cm Área: 78,54 cm² Massa solo inicial: 375,12 g
 Massa: 115,20 g Massa Específica Aparente: 1.596 g/cm³
 Massa Específica Aparente seca: 1,01 g/cm³

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						
	Umidade inicial (%)			Umidade final		
	X	Y	W	U	V	K
Cápsula						
Tara (g)	29,99	33,38	33,7	29,99	33,6	33,07
Tara + Solo + Água (g)	146,43	154,59	142,78	135,72	157,29	141,85
Solo inicial (g)	116,02	121,21	109,08	105,68	125,24	108,35
Solo seco (g)	79,82	82,92	74,62	71,89	83,21	71,54
Umidade (%)	45,50	46,10	47,20	48,82	48,50	49,86
Umidade média (%)	46,06			49,33		

LEITURAS DURANTE O ADENSAMENTO

Pressão (Kpa)	10	20	40	80	160	320	640	1280	1920
Data:	13/10	14/10	15/10	07/10	18/10	19/10	20/10	21/10	22/10
Tempo	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)
0	0,00	0,02	0,05	0,10	0,17	0,28	1,21	1,34	2,38
15"	0,01	0,03	0,09	0,14	0,21	0,45	1,23	2,17	2,75
30 "	0,01	0,03	0,09	0,14	0,21	0,50	1,24	2,21	2,85
1'	0,02	0,03	0,09	0,14	0,21	0,55	1,26	2,25	2,9
2 '	0,02	0,04	0,09	0,14	0,22	0,61	1,26	2,27	2,95
4'	0,02	0,04	0,09	0,14	0,22	0,62	1,27	2,29	2,98
8 '	0,02	0,04	0,09	0,14	0,23	0,65	1,28	2,31	3,01
15'	0,02	0,04	0,09	0,14	0,23	0,66	1,29	2,32	3,03
30 '	0,02	0,04	0,09	0,14	0,24	0,66	1,30	2,33	3,05
1h	0,02	0,04	0,09	0,15	0,26	0,66	1,31	2,34	3,06
2 h	0,02	0,04	0,09	0,15	0,26	0,67	1,32	2,35	3,09
4h	0,02	0,05	0,10	0,15	0,27	0,68	1,32	2,36	3,11
8 h	0,02	0,05	0,10	0,15	0,28	0,69	1,33	2,37	3,12
24h	0,02	0,05	0,10	0,17	0,28	0,70	1,34	2,38	3,14

DESCARREGAMENTO				
	Inicial	Pressão 1920 Kpa	Pressão 600 Kpa	Pressão 10 Kpa
Leitura (mm)		3,14 3,14	3,08	2,75

ANEXO 5



CENTRO UNIVERSITÁRIO

AMOSTRA: Amostra 03

ENSAIO DE ADENSAMENTO – NBR – 12007/90**CARACTERISTICA DO ANEL****CARACTERISTICA DO CORPO DE PROVA**

Altura: 3 cm Volume: 235,62 cm³ Massa anel+solo+água: 471,98 g
 Diâmetro: 10 cm Área: 78,54 cm² Massa solo inicial: 356,78 g
 Massa: 115,20 g Massa Especifica Aparente: 1,519 g/cm³
 Massa Especifica Aparente seca: 1,01 g/cm³

ETERMINAÇÃO DA UMIDADE						
	Umidade inicial (%)			Umidade final		
	X	Y	W	U	V	K
Cápsula	29,99	32,05	33,5	29,99	33,6	33,07
Tara (g)	135,72	157,29	141,85	135,72	157,29	141,85
Tara + Solo + Água (g)	105,68	125,24	108,35	105,68	125,24	108,35
Solo inicial (g)	71,89	83,21	71,54	71,89	83,21	71,54
Solo seco (g)	47,00	49,90	51,45	48,82	48,50	49,86
Umidade (%)						
Umidade média (%)	49,71			49,33		

LEITURAS DURANTE O ADENSAMENTO

Pressão (Kpa)	10	20	40	80	160	320	640	1280	1920
Data:	13/10	14/10	15/10	07/10	18/10	19/10	20/10	21/10	22/10
Tempo	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)	Leitura (mm)
0	0,00	0,03	0,07	0,12	0,16	0,33	0,91	1,65	2,73
15"	0,01	0,05	0,08	0,14	0,21	0,75	1,50	2,55	3,00
30 "	0,01	0,05	0,08	0,15	0,22	0,80	1,54	2,60	3,07
1'	0,02	0,05	0,09	0,15	0,23	0,81	1,56	2,62	3,12
2'	0,01	0,05	0,09	0,16	0,25	0,83	1,57	2,63	2,15
4'	0,01	0,05	0,09	0,16	0,27	0,84	1,58	2,65	2,18
8'	0,01	0,06	0,09	0,16	0,29	0,85	1,60	2,66	3,22
15'	0,02	0,06	0,09	0,16	0,29	0,85	1,60	2,67	3,24
30'	0,02	0,06	0,09	0,16	0,30	0,86	1,62	2,68	3,28
1h	0,02	0,07	0,10	0,16	0,30	0,86	1,62	2,69	3,29
2 h	0,03	0,07	0,10	0,16	0,30	0,88	1,63	2,70	3,30
4h	0,03	0,07	0,11	0,16	0,31	0,88	1,63	2,71	3,31
8 h	0,03	0,07	0,11	0,16	0,31	0,89	1,64	2,71	3,32
24h	0,03	0,07	0,12	0,16	0,33	0,91	1,65	2,73	3,34

DESCARREGAMENTO				
	Inicial	Pressão 1920 Kpa	Pressão 600 Kpa	Pressão 10
Leitura (mm)				

