

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
DELMIR FRITZEN DO PRADO**

**ANÁLISE DE RECALQUE EM SOLOS COMPACTADOS COM DIFERENTES
ENERGIAS DE COMPACTAÇÃO**

**CASCATEL - PR
2019**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
DELMIR FRITZEN DO PRADO

ANÁLISE DE RECALQUE EM SOLOS COMPACTADOS COM DIFERENTES
ENERGIAS DE COMPACTAÇÃO

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

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso especialmente a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, aos meus familiares, que sempre estiveram me dando força e também a minha namorada que sempre esteve comigo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por me proporcionar, apesar das dificuldades encontradas, suporte, força e saúde no decorrer desses 5 anos de graduação.

Aos meus pais pelo esforço em toda a trajetória de vida e apoio que me forneceram nessa fase tão importante da graduação.

Aos meus irmãos e a minha namorada, que sempre estiveram me dando apoio e suporte nos momentos difíceis.

Ao professor e Mestre Maycon A. Almeida pelo esforço e dedicação para a realização desse trabalho de conclusão de curso, contribuindo com conhecimentos que serão levados à vida profissional.

A todos os professores que fizeram parte da graduação, estes que são exemplos a serem seguidos.

Aos laboratoristas do Centro Universitário Assis Gurgacz que me apoiaram e me ajudaram na realização dos ensaios.

A todos os colegas de classe que sempre estiveram presentes para apoiar nas dificuldades encontradas.

EPÍGRAFE

*“O senhor é meu pastor, nada me faltará...
Pelos caminhos retos ele me leva, por amor do seu
Nome”.*

Salmo 22.

RESUMO

Considerando que o solo em seu estado natural não satisfaça as exigências do projeto geotécnico, e que o mesmo sofra deformações, é necessário o desenvolvimento de técnicas para melhorar sua resistência, como a compactação. Com o intuito de avaliar o comportamento do solo compactado sob atuação de cargas, foram realizados 3 ensaios de adensamento unidimensional, de acordo com os padrões estabelecidos pela NBR 12007 (1990). Para a realização dos ensaios foram coletadas amostras do solo superficial do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEf) em Cascavel/PR, sendo moldados os corpos de prova com 3 energias diferentes de compactação. Verificou-se uma variação dos recalques ocorridos entre as energias de compactação de 65,42%, e uma brusca redução no adensamento, quando comparadas ao solo em condições pré-saturadas, de 79,64%.

Palavras-chave: Adensamento. Compactação de Solos. Solos lateríticos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Molas de adensamento.....	18
Figura 02 - Aparelho de ensaio de adensamento.....	19
Figura 03 - Trechos do ensaio edômetro.....	20
Figura 04 - Escala natural.....	21
Figura 05 - Escala logarítmica	21
Figura 06 - Método de Pacheco Silva para determinação tensão pré-adensamento.....	22
Figura 07 - Determinação do índice de compressão.....	22
Figura 08 - Método de Casagrande para determinação coeficiente de adensamento.....	23
Figura 09 - Método de Taylor para determinação coeficiente de adensamento.....	24
Figura 10 - Tipos de curva de compactação	26
Figura 11 - Equipamentos para realização do ensaio de compactação.....	27
Figura 12 - Diferenças entre energias de compactação.....	27
Figura 13 - Localização do CEEF.....	29
Figura 14 - Curva granulométrica do solo do CEEF.....	30
Figura 15 - Curvas de adensamento para solo pré-inundado.....	32
Figura 16 - Curvas de adensamento com amostras indeformadas.....	32
Figura 17 - Coleta de amostras.....	33
Figura 18 - Coleta de amostras.....	33
Figura 19 - Solo peneirado.....	33
Figura 20 - Soquete e compactação do corpo de prova.....	34
Figura 21 - Anel da célula de adensamento compactada.....	35
Figura 22 - Curvas de adensamento.....	37
Figura 23 - Aplicação do método na Amostra 01(energia normal)	38
Figura 24 - Cv para 640 kPa compactado com energia normal.....	40
Figura 25 - Cv para 640 kPa compactado com energia normal.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Dimensões das partículas.....	16
Tabela 02 - Índices físicos do solo.....	17
Tabela 03 - Energias de compactação.....	26
Tabela 04 - Características do solo do CEEF.....	31
Tabela 05 - Peso específico e umidade ótima.....	31
Tabela 06 - Parâmetros para compactação.....	34
Tabela 07 - Dados das amostras compactadas.....	36
Tabela 08 - Variação da altura do corpo de prova.....	36
Tabela 09 - Deformação dos corpos de prova.....	37
Tabela 10 - Tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}).....	39
Tabela 11 - Índice de compressão(C_c).....	39
Tabela 12 - Coeficiente de adensamento (C_v).....	41
Tabela 13 - Porcentagens de deformação.....	42
Tabela 14 - Porcentagens de deformações obtidos por Silva e Souza (2018) e por Prado (2019).....	42

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 - Índice de compressão.....	23
Equação 02 - Coeficiente de adensamento por Casagrande.....	24
Equação 03 - Coeficiente de adensamento por Taylor.....	25
Equação 04 - Cálculo de recalque.....	25
Equação 05 - Energias de compactação.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas

CEEF - Campo experimental de engenharia do centro universitário Assis Gurgacz

CP - Corpo de prova

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

kN - Quilo Newton

kPa - Quilo Pascal

log - Logaritmo

NBR - Norma brasileira

PR - Paraná

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
1.1 INTRODUÇÃO.....	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo geral.....	13
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 JUSTIFICATIVA.....	14
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	15
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
CAPÍTULO 2	16
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.1 Formação do solo	16
2.1.2 Tipos de solos.....	16
2.1.3 Caracterização do solo	17
2.1.3.1 Granulometria conjunta	17
2.1.4 Índices físicos do solo.....	18
2.1.5 Recalques	18
2.1.6 Adensamento dos solos.....	19
2.1.6.1 Ensaio de adensamento	20
2.1.6.2 Obtenção da curva de adensamento	21
2.1.6.3 Tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}).....	22
2.1.6.4 Índice de compressão (C_c).....	23
2.1.6.5 Coeficiente de adensamento (C_v).....	24
2.1.6.6 Cálculo de recalques	26
2.1.7 Compactação de solos.....	26
2.1.7.1 Influência da energia de compactação	28

CAPÍTULO 3	30
3.1 METODOLOGIA.....	30
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa	30
3.1.2 Caracterização do solo	31
3.1.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados	34
CAPÍTULO 4	37
4.1 RESULTADO E DISCUSSÕES.....	37
4.1.1 Dados do ensaio de adensamento	37
4.1.1.1 Tensão de pré-adensamento (σ'_{vm})	39
4.1.1.2 Índice de compressão (C_c).....	40
4.1.1.3 Coeficiente de adensamento (C_v).....	40
4.1.2 Comparativo entre o solo compactado e o solo deformado com pré-inundação	43
CAPÍTULO 5	45
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
CAPÍTULO 6	47
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
REFERÊNCIAS	47
APÊNDICE A	50
APÊNDICE B.....	53
APÊNDICE C	59
APÊNDICE D	60

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Sendo o solo um material essencial para o apoio de fundações, analisar os efeitos que as estruturas causam sobre ele é de extrema importância. Tais efeitos podem ocasionar problemas, muitas vezes irreparáveis, dentre eles pode-se citar o recalque. Cintra (2011) define recalque como sendo as deformações volumétricas por diminuição do índice de vazios de um maciço de solo.

Considerando que o solo em seu estado natural não satisfaça as exigências do projeto geotécnico, e que o mesmo sofra deformações, é necessário o desenvolvimento de técnicas para melhorar sua resistência. Dentre as técnicas existentes, observa-se a compactação, que de acordo com Caputo (1957) é o processo manual ou mecânico que visa reduzir o volume de seus vazios e aumentar sua resistência, tornando o solo mais estável. Ainda segundo Caputo (1957), o ensaio original para determinação da umidade ótima e do peso específico máximo de um solo é o ensaio de *Proctor*, conhecido no Brasil como ensaio de compactação, regido pela ABNT NBR 7.182 (2016).

A realização deste trabalho teve como objetivo determinar por meio de ensaio de adensamento unidimensional, regido pela ABNT NBR 12.007 (1990), os recalques que podem ocorrer no solo com profundidades de um metro, na cidade de Cascavel, PR, com as amostras compactadas com energias distintas de compactação, utilizando-se do ensaio de *Proctor*, normal, intermediário e modificado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar os recalques apresentados por amostras de solo compactadas com três diferentes energias de compactação, coletadas do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz, por meio de ensaios de adensamento unidimensional.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar ensaios de adensamento com amostras compactadas com as três diferentes energias de compactação;
- Analisar através de ensaio de adensamento unidimensional os recalques para cada amostra compactada;
- Comparar os resultados com outros trabalhos realizados com amostras obtidos do mesmo solo em condições naturais pré-inundadas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com o elevado crescimento populacional dos últimos anos, surge à necessidade da construção de moradias, e com isso o apoio das estruturas no solo. Porém, com essa elevada produção ocorre problemas que afetam as fundações, ocasionando patologias indesejadas.

Segundo Milititski (2015) a transmissão de cargas ao solo pode ser afetada por inúmeros fatores. Iniciando por aqueles decorrentes do projeto propriamente dito, que envolve o conhecimento do solo, passando pelos procedimentos construtivos e finalizando por efeitos de acontecimentos pós-implantação, incluindo sua possível degradação. A determinação de parâmetros para dimensionamento de fundações é estudada há muitos anos através das teorias de Terzaghi e outros estudiosos. A importância desses estudos está relacionada diretamente com os custos da obra e a segurança da mesma.

Para Das (2007), os recalques por adensamento são alterações volumétricas em solos coesivos saturados por causa da expulsão de água que ocupa os vazios e a compactação reduz o recalque indesejado, aumentando a resistência dos solos, o que por sua vez, aumenta a resistência das fundações construídas sobre sua superfície. Desse modo, realizar a compactação em solos trará efeitos benéficos ao mesmo.

Sendo assim, trazer para o centro das discussões a redução que pode ocorrer nos recalques, devido à compactação dos solos, utilizando as três energias de compactação (normal, intermediária, modificada), e mostrar como a compactação pode impactar diretamente na resistência do solo, pode contribuir favoravelmente na redução das patologias em fundações.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Quais serão as reduções de recalque que o processo de compactação com as três energias distintas (normal, intermediária e modificada), irá causar no solo superficial do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEF), quando comparado com a situação natural pré-inundada?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

As amostras de solo utilizadas para análise nesse trabalho foram retiradas na cota de um metro do CEEF. O teor de umidade e a densidade seca do solo nessa região foram determinados por Zen e Almeida (2018).

Posteriormente foi realizado o ensaio de compactação, aplicando em cada amostra, as três energias normatizadas (normal, intermediária e modificada), conforme ABNT NBR 7.182 (2016), para moldagem dos corpos de prova. Dessa forma, através do ensaio de adensamento unidimensional normatizado pela ABNT NBR 12.007 (1990), pode-se obter a determinação experimental das características do solo que interessam para a verificação dos recalques provocados pelo adensamento, quando o mesmo foi submetido a carregamentos.

Segundo Pinto (2003), quando se compacta o solo, tem-se como objetivo deixá-lo com o menor índice de vazios possíveis, com os meios disponíveis. Isto porque, nestas condições, o solo apresenta menor deformabilidade quando posteriormente carregado. Desse modo, foram analisados os recalques ocorridos em cada amostra compactada com as distintas energias de compactação, podendo assim analisar a redução de recalque que cada uma ofereceu ao solo.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa limitou-se em analisar os recalques por adensamento em três amostras de solo do CEEF, compactadas com as três energias distintas de compactação, apenas para o primeiro metro de solo. Os corpos de prova foram moldados de acordo com critérios de compactação prescritos na ABNT NBR 7.182 (2016) e adensados conforme ABNT NBR 12.007 (1990).

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Formação do solo

De acordo com Pinto (2006), todos os solos originam-se da decomposição das rochas que constituíam inicialmente a crosta terrestre. Essa decomposição é decorrente de agentes físicos e químicos. As variações de temperatura provocam trincas, nas quais penetra a água, atacando quimicamente os minerais, ocorre então, o congelamento da água nas trincas e outros fatores, que exercem elevadas tensões, o que decorre maior fragmentação dos blocos. Ainda há a presença da fauna e flora que promove o ataque químico, através de hidratação, hidrólise, oxidação, lixiviação, troca de cátions e carbonatação. Todos esses processos em conjunto são mais atuantes em climas quentes do que em climas frios, levando à formação dos solos.

Segundo Senço (2007), o solo é uma formação natural, de estrutura solta e removível e de espessura variável, resultante da transformação de uma rocha-mãe, pela influência de diversos processos físicos, físico-químicos e biológicos.

2.1.2 Tipos de solos

Os solos residuais (ou autóctones) são solos que permanecem no local da rocha de origem, observando-se uma gradual transição do solo até a rocha ao longo do seu perfil geotécnico. Dentre os solos residuais, merecem destaque os solos lateríticos, os expansivos e os porosos. Estes últimos são assim denominados pelo fato de sua porosidade ser extremamente elevada. Na literatura estrangeira designam-se por “solos colapsíveis”, pois em determinadas condições de umidade sua estrutura quebra-se, dando origem a elevados recalques das obras que assentam sobre eles (CAPUTO, 1988).

Ainda segundo Caputo (1988), solos sedimentares (ou alotóctones), são aqueles que sofrem ação de agentes transportadores, podendo ser aluvionares (quando transportados pela água), eólicos (quando transportados pelo vento), coluvionares (pela ação da gravidade) e glaciares (pelas geleiras).

Solos orgânicos são aqueles que contêm uma quantidade apreciável de matéria decorrente de decomposição de origem vegetal ou animal, em vários estágios de decomposição, geralmente argilas ou areias finas. Os solos orgânicos são de fácil identificação pela cor escura e pelo odor característico (PINTO, 2006).

2.1.3 Caracterização do solo

2.1.3.1 Granulometria conjunta

Segundo Pinto (2003), a análise granulométrica consiste de duas fases: peneiramento e sedimentação. O peso de material que passa em cada peneira, referido ao peso seco da amostra, é considerado como a "porcentagem que passa" e representada graficamente em função da abertura da peneira, está em escala logarítmica. A abertura nominal da peneira é considerada como o diâmetro das partículas, trata-se, evidentemente, de um diâmetro equivalente, pois as partículas não são esféricas. A análise por peneiramento tem como limitação a abertura da malha das peneiras, que não pode ser tão pequena quanto o diâmetro de interesse.

Ainda de acordo com Pinto (2003), quando se deseja conhecer a distribuição da porção mais fina dos solos, emprega-se a técnica da sedimentação, que se baseia na Lei de Stokes. Com estes dados, compõe-se a curva granulométrica. Uma característica importante do ensaio, mesmo quando só se faz o peneiramento, é o pré-tratamento das amostras para deflocular totalmente o solo, de forma que as partículas se comportem isoladamente.

Segundo a ABNT NBR 6.502 (1995), a representação de um solo pelas dimensões de suas partículas e suas respectivas porcentagens em massa é denominada classificação granulométrica do solo. Essas porcentagens, de acordo com a escala granulométrica brasileira estão dispostas na Tabela 01.

Tabela 01 – Dimensões das partículas de solo

Classificação	Diâmetro dos grãos
Argila	Menor que 0,002 mm
Silte	Entre 0,002 e 0,06 mm
Areia	Entre 0,06 e 2,0 mm
Pedregulho	Entre 2,0 e 60,0 mm

FONTE: ABNT NBR 6.502 (1995)

2.1.4 Índices físicos do solo

Uma massa de solo é considerada como um conjunto de partículas sólidas, que contêm vazios ou interstícios de tamanho variado. Os vazios poderão ser preenchidos com ar ou com água, ou parcialmente com ar e parcialmente com água (CHIOSSI, 2013). A Tabela 02 apresenta os principais índices físicos do solo.

Tabela 02 – Índices físicos do solo.

Índices Físicos	Equações	Unidade
Peso específico natural (γ_n)	$\gamma_n = \frac{M_s}{V_s}$	g/cm ³
Peso específico seco (γ_d)	$\gamma_d = \frac{\gamma_n}{1 + w}$	g/cm ³
Teor de umidade (w)	$w = \frac{m_w}{m_s}$	%
Grau de saturação (Sr)	$S_r = \frac{\gamma_s \cdot w}{e \cdot \gamma_d} \cdot 100$	%
Índice de vazios (e)	$e = \frac{\gamma_d}{\gamma_s} - 1$	%

FONTE: Autor (2018)

2.1.5 Recalques

Segundo Rebello (2008), o recalque é a deformação que ocorre no solo quando o mesmo é submetido a carregamentos. Essa deformação provoca movimentação na fundação, que dependendo da intensidade pode causar danos à superestrutura. As deformações podem ocorrer basicamente de três tipos: a deformação elástica, a deformação por escoamento lateral e a deformação por adensamento.

A deformação elástica é apresentada quando um material é submetido a um carregamento, o recalque elástico ocorre imediatamente após a aplicação de carga, e são maiores em solos não coesivos. A deformação por escoamento lateral é a migração do solo das regiões mais solicitadas para as menos solicitadas, desse modo o escoamento se dá do centro para as laterais. A deformação por adensamento ocorre pela diminuição do volume aparente do

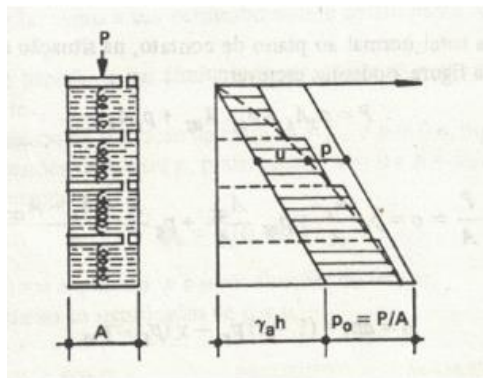
maciço do solo, causado pelo fechamento dos vazios deixados pela água intersticial expulsa pela pressão que as cargas exercem sobre as fundações (REBELLO, 2008).

De acordo com Cintra (2011), os solos colapsíveis apresentam uma estrutura porosa, com alto índice de vazios e baixos teores de umidade, e estes solos sofrem colapso da sua estrutura quando em contato com quantidade suficiente de água.

2.1.6 Adensamento dos solos

De acordo com Caputo (1980), é possível compreender facilmente o mecanismo de transferência de pressões para o solo, utilizando a analogia mecânica de Terzaghi, onde as molas representam o esqueleto sólido do solo, e os furos capilares nos êmbolos, os seus vazios, dessa forma a pressão nas molas aumenta à medida que a água escapa pelos furos. Escapando-se a água intersticial da camada compressível considerada, o volume dos seus vazios vai diminuindo e, conseqüentemente, o seu volume total. Como a camada esta confinada lateralmente, a redução de volume se dará por diminuição de altura, ou seja, recalque por adensamento. A Figura 01 apresenta o mecanismo de molas para a analogia do adensamento.

Figura 01 - Molas de Adensamento.



FONTE: Caputo (1980)

Segundo Pinto (2006), Terzaghi admite em sua teoria do adensamento que o solo é homogêneo, saturado, a compressibilidade dos grãos e de água nos vazios do solo é desprezível se comparadas à compressibilidade do esqueleto sólido. Não há diferença entre o comportamento entre as camadas de argila de pequenas e grandes espessuras, a compressão é unidimensional, o fluxo de água é unidimensional, admitem-se constantes certos parâmetros físicos que variam durante o processo de adensamento e vale a relação idealizada entre o índice

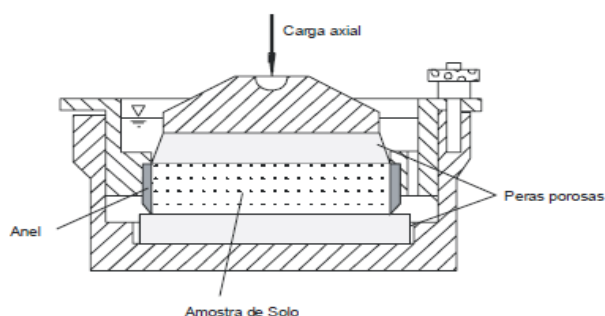
de vazios (e) e tensão vertical efetiva, na qual o índice de vazios varia linearmente com o aumento da tensão durante o adensamento.

2.1.6.1 Ensaio de adensamento

Segundo Pinto (2003), o ensaio de compressão edométrica é muito útil para a determinação da compressibilidade dos solos, não fornecendo informações referentes à resistência. Nele o solo é submetido a acréscimos sucessivos de tensão axial não se permitindo deformação lateral. Este ensaio, que é também denominado ensaio de compressão confinada, é mais conhecido como ensaio de adensamento, por ser frequentemente aplicado com o objetivo de obter parâmetros referentes ao adensamento de solos saturados. Como o ensaio é empregado também para solos não saturados com o objetivo de determinar deformabilidades não associadas à dissipação de pressões neutras, é interessante identificá-lo de maneira distinta, para que não se induza o emprego de parâmetros da teoria do adensamento para indicar o comportamento de solos não contemplados nesta teoria.

Ainda de acordo com Pinto (2003), o equipamento para o ensaio consta essencialmente de uma prensa de carregamento e de um dispositivo para colocação da amostra (câmara). Consta de um anel, que impede a deformação lateral do corpo de prova, de duas pedras porosas, que permitem drenagem de uma base e de um cabeçote rígido através do qual as cargas são transmitidas, os anéis têm diâmetros cerca de três vezes a altura, com o objetivo de reduzir o efeito de atrito lateral, o carregamento é feito por etapas, mantendo-se as cargas por tempo necessário para estabilização das deformações. A Figura 02 apresenta o equipamento para realização do ensaio.

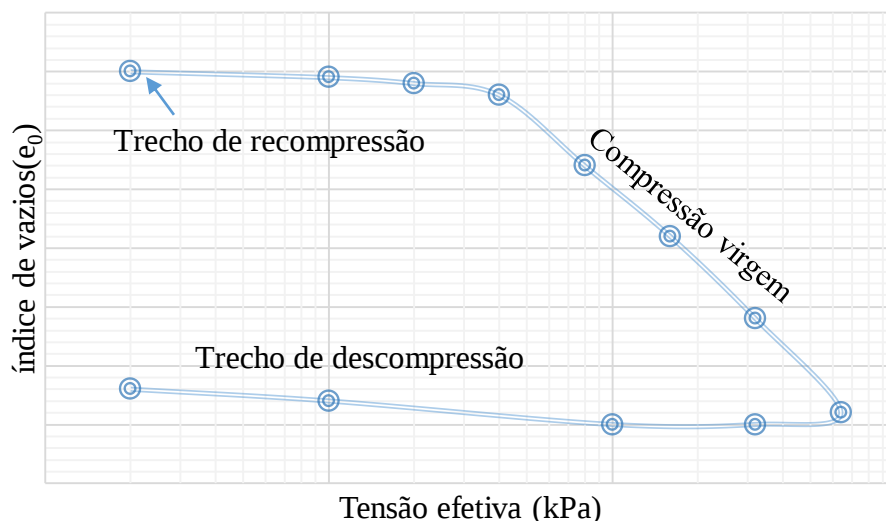
Figura 02 – Aparelho de ensaio de adensamento.



FONTE: Ortigão (2007)

Segundo Caputo (1980), o ensaio edométrico fornece informações que correspondem à máxima deformação sob cada estágio de carga aplicado, geralmente em um gráfico semilogarítmico, conforme Figura 03.

Figura 03 - Trechos do ensaio edométrico



FONTE: Autor (2019)

Ainda segundo Caputo (1980), a primeira curva é chamada de curva de recompressão. Ela ocorre em laboratório devido ao processo de descarregamento ocasionado pela retirada do peso das camadas sobrejacentes no solo. A segunda parte é denominada reta de compressão virgem, ou seja, o solo está sendo carregado pela primeira vez, para valores de tensão efetiva maiores do que os máximos que o depósito já foi submetido, o último trecho é o trecho de expansão que corresponde ao descarregamento da amostra.

Segundo a ABNT NBR 12.007 (1990), após a realização do ensaio é possível determinar alguns parâmetros do solo, como a curva de adensamento que contempla a tensão efetiva pela altura do corpo de prova, a tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}), o coeficiente de compressão (C_c), o coeficiente de adensamento (C_v), e estimar o recalque da camada.

2.1.6.2 Obtenção da curva de adensamento

De acordo com Pinto (2003), quando um solo é submetido a um acréscimo de tensão, sua deformação pode ser devida à compressão das partículas, à compressão da água, ou à expulsão da água dos vazios, comprimindo-se a estrutura sólida do solo. Qualquer carregamento

é inicialmente suportado pela água, provocando sua saída dos vazios do solo, transferindo-se as cargas gradualmente para a estrutura formada pelos grãos. A tensão efetiva aumenta, até que toda a carga seja suportada efetivamente pelo solo, tendo-se aí o índice de vazios correspondente à tensão efetiva aplicada.

Ainda segundo Pinto (2003), no ensaio edométrico, cada aplicação de carga é mantida até que as tensões neutras tenham se dissipado e a altura do corpo-de-prova se estabilizado. Os resultados de ensaios edométricos podem ser apresentados com as tensões em abscissas em escala natural, como mostrado na Figura 04, ou em escala logarítmica, como na Figura 05.

Figura 04 - Escala natural

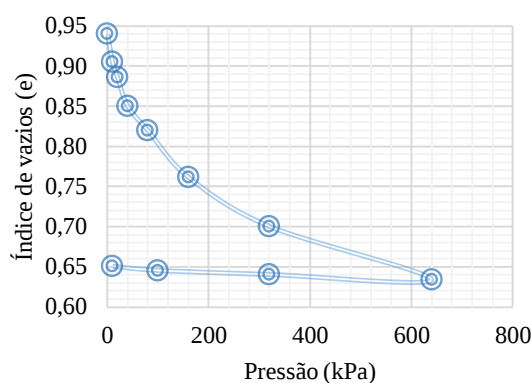
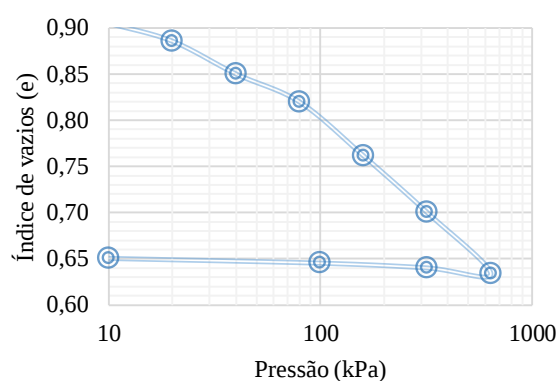


Figura 05– Escala logarítmica



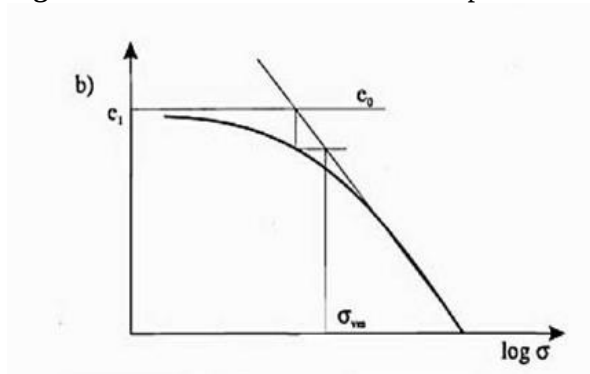
FONTE: Autor (2019)

2.1.6.3 Tensão de pré-adensamento (σ'_{vm})

Chama-se tensão de pré-adensamento a pressão que corresponde aos estados de solicitação a que anteriormente esteve submetida à camada de solo, a tensão de pré-adensamento não pode ser determinada com precisão. Entretanto, existem alguns métodos empíricos para a sua determinação, como por exemplo, o método de Pacheco Silva (CAPUTO,1957).

Segundo Pinto (2006), o método de Pacheco Silva consiste em prolongar a reta virgem até a horizontal correspondente ao índice de vazios iniciais da amostra. Do ponto de intersecção, abaixa-se uma vertical até a curva de adensamento e desse ponto traça-se uma horizontal, a intersecção da horizontal com o prolongamento da reta virgem é considerado o ponto de pré-adensamento, conforme Figura 06.

Figura 06 - Método de Pacheco Silva para a determinação da tensão de pré-adensamento

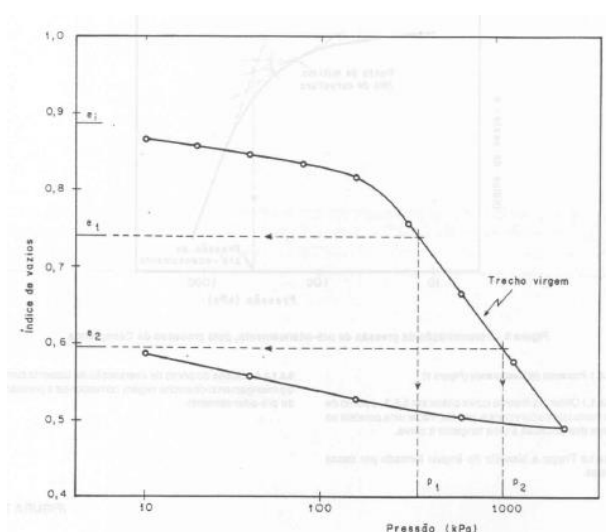


FONTE: Pinto (1998)

2.1.6.4 Índice de compressão (C_c)

Conforme Pinto (2006) com o resultado do ensaio de adensamento pode ser elaborada uma curva de adensamento. A partir do trecho de pré-adensamento o índice de vazios varia linearmente com o logaritmo de pressão aplicada, esse trecho retilíneo é denominado trecho virgem, conforme Figura 07.

Figura 07 - Determinação do índice de compressão



FONTE: ABNT NBR 12.007 (1990)

Como informa a ABNT NBR 12.007(1990), o índice de compressão pode ser calculado pela Equação 01, onde $e_1 - e_2$ é a variação dos índices de vazios em um determinado período após a pressão de pré-adensamento, ou seja, na reta de compressão virgem e $\log \sigma_2 - \log \sigma_1$ são pressões associadas aos índices de vazios ($e_1 - e_2$) determinados.

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1} \quad (1)$$

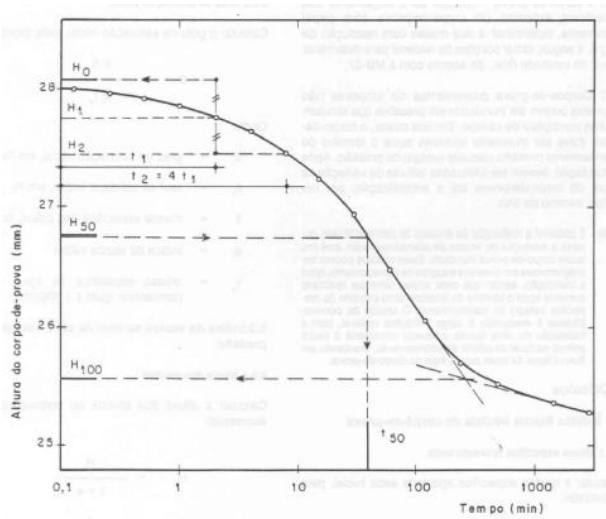
2.1.6.5 Coeficiente de adensamento (Cv)

De acordo com Ortigão (2007), o fator mais importante e mais difícil para a utilização da teoria do adensamento é a determinação correta do coeficiente de adensamento (Cv), havendo dois métodos tradicionais para obtê-lo: o de Casagrande, ou $\log t$, e o de Taylor, ou $\sqrt{t}$.

Segundo Pinto (2006), o método de Casagrande para a determinação do Cv, consiste em determinar a altura do corpo de prova correspondente ao início do adensamento primário, que não é necessariamente a altura da aplicação de carga. Como a parte inicial da curva é parabólica, toma-se a ordenada para um tempo qualquer no trecho inicial, t , verifica-se sua diferença com a ordenada para um tempo $4t$ e soma-se a diferença a ordenada do tempo t , obtendo-se assim a ordenada correspondente ao início do adensamento primário.

Estima-se a altura do corpo de prova correspondente ao final do adensamento primário pela ordenada de intersecção da tangente ao ponto de inflexão da curva a assíntota ao trecho final da curva que, na escala, logarítmica é linear e corresponde ao adensamento secundário. É determinada então a altura do corpo de prova quando 50% do adensamento tiverem ocorrido que é a média dos dois valores obtidos anteriormente. Verifica-se, pela curva, o tempo em que teriam ocorrido 50% dos recalques por adensamento primário, conforme Figura 08 (PINTO, 2006).

Figura 08 - Método de Casagrande para determinação do coeficiente de adensamento.



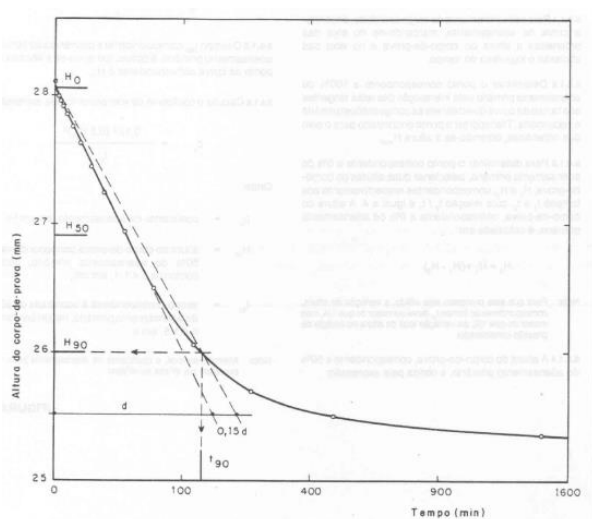
FONTE: ABNT NBR 12.007 (1990)

A Equação 02 é usada para obtenção do coeficiente de adensamento (C_v) por Casagrande, onde 0,197 é o fator de tempo correspondente a 50% do adensamento, H_d é altura da metade do corpo de prova, como no ensaio utilizam-se pedras porosas nas duas extremidades é considerada a drenagem para as duas faces e T_{50} é igual ao tempo que corresponde a 50% do recalque (PINTO, 2006).

$$C_v = \frac{0,197 \cdot (H_d)^2}{T_{50}} \quad (2)$$

Pinto (2006) cita que o método para determinação do coeficiente de adensamento (C_v) por Taylor, consiste em colocar os dados do ensaio de adensamento em função da raiz quadrada do tempo. O trecho inicial é aproximadamente uma reta, como o trecho correspondente da curva teórica. A intersecção da reta com o eixo das ordenadas indica a altura do corpo de prova no início do adensamento e a diferença entre esse ponto e a altura do corpo de prova antes do carregamento indica a compressão inicial. Do início do adensamento primário, traça-se uma reta com abscissas iguais a 1,15 vezes as abscissas correspondentes da reta inicial, a intersecção da reta com a curva do ensaio indica o ponto que teriam ocorrido 90% do adensamento, conforme Figura 09.

Figura 09 - Método de Taylor para determinação do coeficiente de adensamento.



FONTE: ABNT NBR 12.007 (1990)

Definido o ponto a 90% de recalque, o tempo em que isso ocorreu t_{90} é determinado e pode-se calcular o coeficiente de adensamento pela Equação 03. Onde, H_d é a altura da metade

do corpo de prova, pois trata-se de um ensaio drenado nas duas faces e t_{90} é o tempo correspondente a 90% do adensamento primário (PINTO, 2006).

$$C_v = \frac{0,848(H_d)^2}{t_{90}} \quad (3)$$

2.1.6.6 Cálculo de recalques

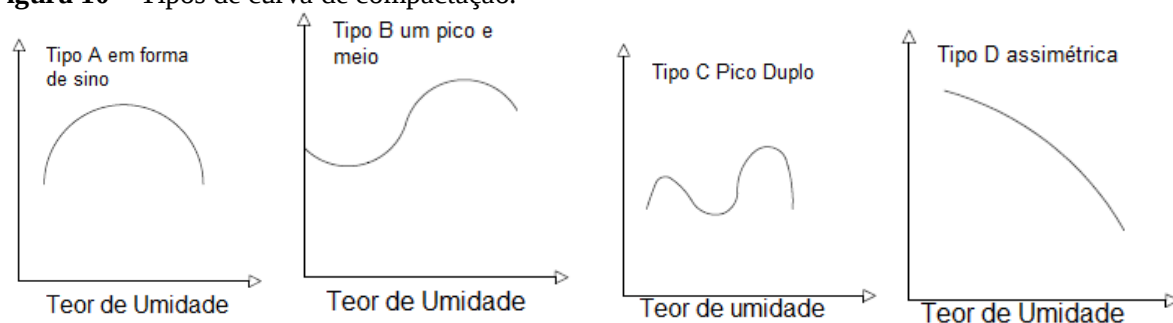
Segundo Caputo (1988), para corpos de prova submetidos ao ensaio de Adensamento Unidimensional, o recalque é calculado em consequência de um acréscimo de pressão, onde há uma deformação por índice de vazios. Reduzindo-se a Equação 04, com Δh equivalendo ao recalque total (mm), h a espessura da camada de argila (mm), e_0 o índice de vazios inicial e Δe a variação do índice de vazios.

$$\Delta h = \frac{H \cdot \Delta e}{1 + e_i} \quad (4)$$

2.1.7 Compactação de solos

De acordo com Pinto, (2006), a compactação tem em vista dois aspectos: aumentar o contato entre os grãos e tornar o aterro mais homogêneo. O aumento da densidade ou redução do índice de vazios é desejável não por si, mas porque diversas propriedades do solo melhoram com isto. Os tipos de obra e de solo disponível vão ditar o processo de compactação a ser empregado. Esses processos levarão em conta a umidade em que o solo deve se encontrar na ocasião e a densidade a ser atingida, com o objetivo de reduzir futuros recalques, aumentar a rigidez e a resistência do solo e reduzir a permeabilidade.

Com estudos realizados por Lee e Suedkamp (1972 *apud* Das, 2007), é possível obter quatro tipos de curvas de compactação, conforme Figura 10. As curvas de compactação do tipo A caracterizam-se pela existência de um só pico, e são comuns em solos com limite de liquidez de 30 a 70. Já as curvas de compactação do tipo B, são curvas de um pico e meio e as do tipo C são de pico duplo. Ambas podem ser obtidas para solos com limite de liquidez menor de 30. As curvas do tipo D não possuem pico definido e são chamadas assimétricas.

Figura 10 – Tipos de curva de compactação.

FONTE: Das (2007)

Conforme Senço (2007) o Ensaio de Proctor consiste em compactar o solo com porcentagens crescentes de umidade num molde cilíndrico de dimensões específicas. A ABNT NBR 7.182 (2016) recomenda que sejam respeitados os parâmetros para compactação de acordo com o grau que se deseja obter, a Tabela 03 apresenta as dimensões do soquete, o número de camadas, o número de golpes por camada e a altura de queda do soquete para cada energia.

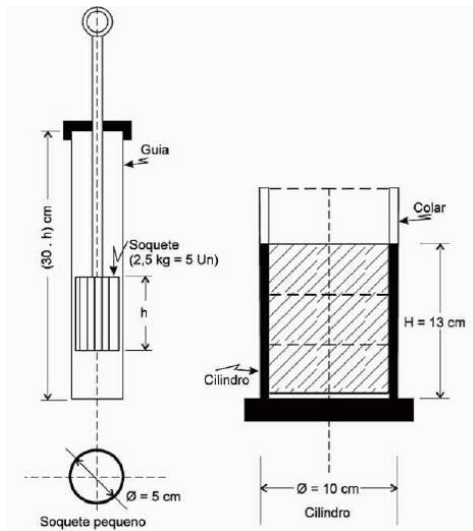
Tabela 03 – Energias de Compactação.

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de Camadas	3	3	3
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de Camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do Disco Espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

FONTE: ABNT NBR 7.182 (2016)

A ABNT NBR 7.182 (2016) informa que para realizar a compactação, deve-se travar o cilindro em base rígida e então preparar o solo que está em umidade higroscópica até atingir a umidade ótima, coloca-se então uma quantidade de solo no cilindro e profere golpes perpendiculares em quantidades especificadas e com alturas de queda de acordo com a energia pretendida. A partir disso, insere-se novamente mais solo e repete o passo, até que atinja o número de camadas especificadas a energia de compactação requerida. A ABNT NBR 7.182 (2016), recomenda que na última camada seja excedido 10 mm de solo acima do cilindro e o mesmo seja cortado com régua biselada, para que não haja insuficiência de solo na compactação. A Figura 11 mostra os equipamentos para a realização do ensaio.

Figura 11 - Equipamentos para realização do ensaio de compactação.

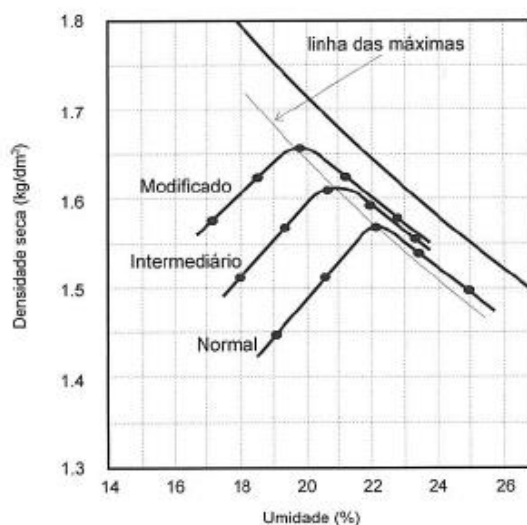


FONTE: Senço (2007)

2.1.7.1 Influência da energia de compactação

Quando um solo se encontra com uma umidade abaixo da ótima, a aplicação de maior energia de compactação provoca um aumento de densidade seca, mas quando a umidade é maior do que a ótima, maior esforço de compactação pouco ou nada provoca de aumento da densidade, pois não consegue expelir o ar dos vazios. Dessa forma uma maior energia de compactação conduz a uma maior densidade seca máxima e uma menor umidade ótima, conforme a Figura 12 (PINTO, 2006).

Figura 12 – Diferenças entre energias de compactação.



FONTE: Pinto (2006)

Ainda de acordo com Pinto (2006) os pontos de máxima densidade seca e umidade ótima para várias energias de compactação, com o mesmo solo, ficam ao longo de uma curva que tem um aspecto semelhante ao de uma curva de igual grau de saturação. Define-se então energia de compactação pela Equação 05, onde, (M) é a massa do soquete, (H) é altura de queda do soquete, (Ng) é o número de golpes por camadas, (Nc) é o número de camadas, e (V) é o volume de solo compactado.

$$E = \frac{M \cdot H \cdot Ng \cdot Nc}{V} \quad (5)$$

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Segundo Oliveira (1999) as pesquisas que se utilizam da abordagem qualitativa possuem a facilidade de poder descrever a complexidade de uma determinada hipótese ou problema, analisar a interação de certas variáveis, compreender e classificar processos dinâmicos experimentados. A pesquisa foi realizada pelo método qualitativo, segundo Freitas e Jabbour (2011), pois tem a finalidade de explicar ou descrever um evento ou uma situação.

O estudo foi realizado na cidade de Cascavel, localizada no interior do estado do Paraná, na região oeste. Atualmente com uma população estimada em 320.000 mil habitantes, a cidade destaca-se por ser um polo universitário contendo mais de 20 mil estudantes. Cascavel conta com duas fontes principais de renda: as indústrias e a agropecuária (IBGE, 2010).

O solo utilizado como objeto de estudo foi extraído do CEEF, conforme Figura 13. O mesmo já teve suas propriedades geotécnicas estudadas por Zen e Almeida (2018). Silva e Souza (2018) analisaram a variabilidade dos parâmetros de deformabilidade do solo em condições naturais ao longo da profundidade e Junior e Almeida (2017) que fizeram a determinação dos parâmetros de adensamento do solo indeformado superficial com amostras coletadas através de poço de inspeção.

Figura 13 - Localização do CEEF.

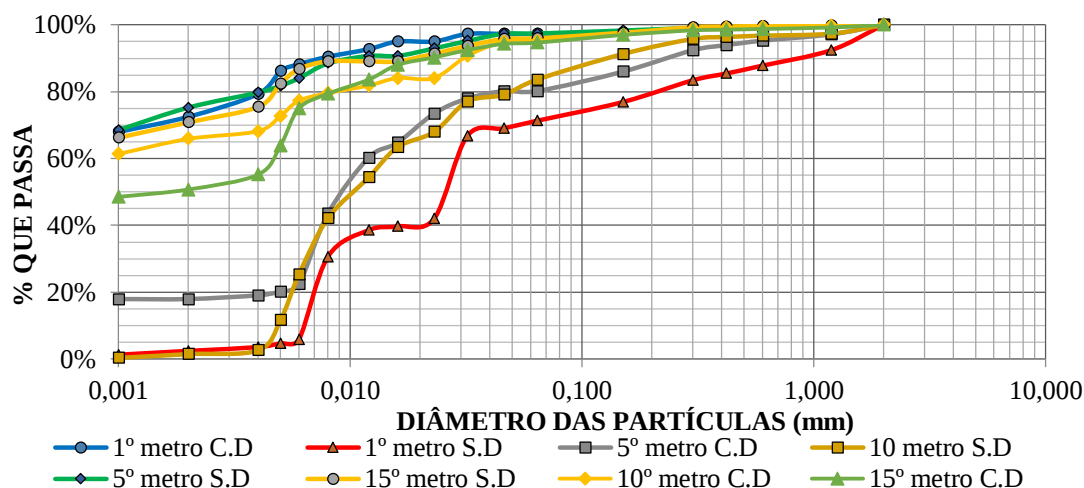


FONTE: Google (2018)

3.1.2 Caracterização do solo

O solo do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEf) foi caracterizado por Zen e Almeida (2018). Os autores determinaram através de ensaios de granulometria conjunta, ao longo da profundidade a porcentagem de 71,86% argila, 25,47% silte e 2,67% de areia. Desse modo, foi determinado que o solo do CEEf é classificado como Argila Silto Arenosa, conforme Figura 14. Pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) a classificação é CH, que indica solos argilosos muito compressíveis e no Sistema Rodoviário (*Transportation Research Board* - T.R.B) foi classificado como A-7-6, que são solos de aplicação regular a má para pavimentação por terem porcentagens altas de finos.

Figura 14 – Curva granulométrica do solo do CEEf.



FONTE: Zen e Almeida (2018)

Segundo Zen e Almeida (2018), devido à laterização presente no solo da cidade de Cascavel, foram realizados ensaios de granulometria conjunta com e sem o uso de defloculante para a obtenção da curva granulométrica. Com a grande ocorrência de argila e silte no solo (em torno de 97%), utilizando o defloculante (C.D), não foi possível determinar os parâmetros de diâmetro efetivo (D_e), coeficiente de não uniformidade (CNU) e estimar o coeficiente de permeabilidade (k). Isso indica um solo muito fino, e naturalmente mal graduado, devido ao excesso de finos e ausência de material granular, prejudicando assim o contato entre os grãos e consequentemente sua resistência.

A fim de determinar as características de resistência do solo e também os índices físicos do mesmo, Zen e Almeida (2018) realizaram ensaios de sondagem a percussão do tipo Standard Penetration Test (SPT), os valores médios obtidos são apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 - Características do solo do CEEF.

Valores Médios	Camada 1 1 a 9 metros	Camada 2 10 a 15 metros
W (%)	34	53
LL (%)	53	59
LP (%)	38	42
IP (%)	15	17
γ_d (kN/m ³)	12	12
γ_s (kN/m ³)	27	27
γ_{sat} (kN/m ³)	17	16
Sr (%)	55	60
Argila (%)	70	56
Silte (%)	25	35
Areia (%)	5	9
Consistência	Muito mole a média	Rija a dura
Índice de vazios (e)	1,22	1,55

FONTE: Zen e Almeida (2018)

Foi realizado também por Zen e Almeida (2018), ensaios de compactação no primeiro metro de solo do CEEF e com os pares de valores de teor de umidade (w) e peso específico seco (γ_d) determinaram para cada energia de compactação, o ponto ótimo de compactação, as umidades ótimas ($w_{ót}$) e os valores de peso específico seco máximo ($\gamma_{dmáx}$), conforme Tabela 05.

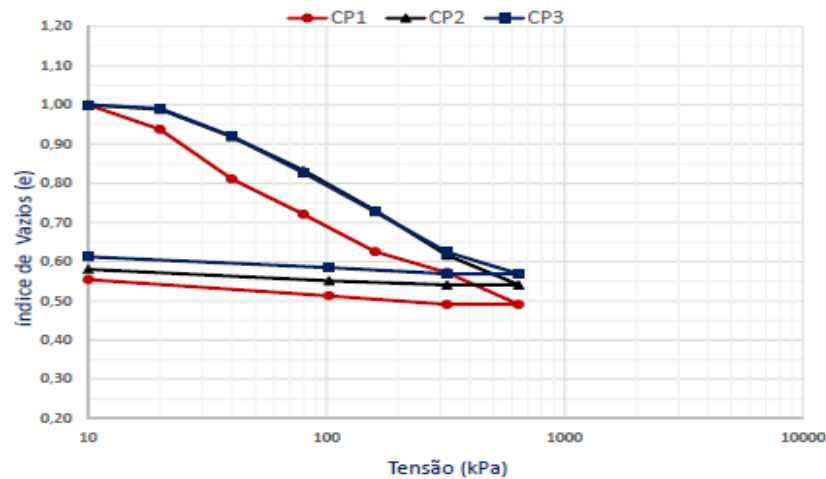
Tabela 05 – Peso específico e umidade ótima.

Energia	$\gamma_{dmáx}$ (kN/m ³)	$w_{ót}$ (%)
Normal	14,0	40,0
Intermediária	13,9	32,5
Modificado	14,5	26,0

FONTE: Zen e Almeida (2018)

Silva e Souza (2018) realizaram para o mesmo solo ensaios de adensamento, porém com saturação preliminar dos corpos de prova, para a cota de -1,5 metros, aplicando uma pressão do de 5 kPa para o solo estabilizar, e posteriormente 10 kPa como tensão inicial e então incrementos de carga nos valores de 20, 40, 80, 160, 320, 640 kPa, mantendo cada pressão realizada pela carga durante um período de 24 horas. Determinaram pelo método de Pacheco e Silva e Casagrande uma média de tensão de pré-adensamento de 45,72 e 50,03 kPa respectivamente, com um índice de compressão (C_c) de 0,20 e um coeficiente de adensamento determinado pelo método de Casagrande médio de 0,0054 cm²/s. As curvas de adensamento para as 3 amostras são apresentadas na Figura 15.

Figura 15 - Curvas de adensamento para solo inundado.

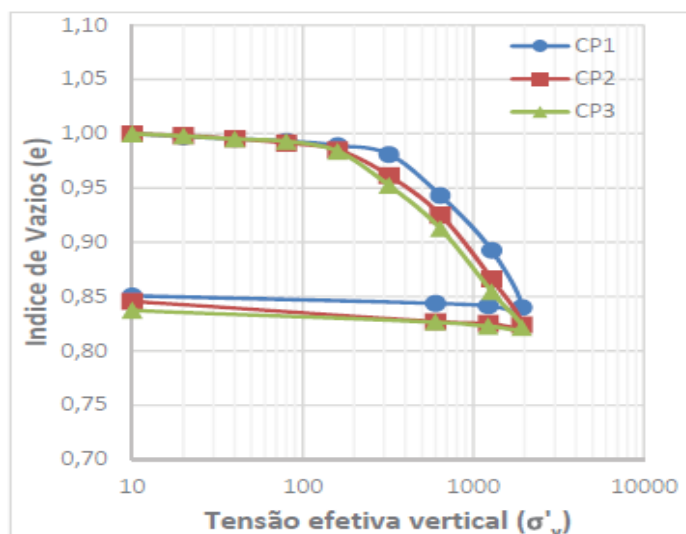


FONTE: Silva e Souza (2018)

Junior e Almeida (2017) realizaram o ensaio de adensamento com amostras indeformadas, coletadas da cota -1,5m, em condições naturais e sem saturação preliminar por 24 horas. Foram aplicados 8 estágios de pressão nas amostras, tendo como pressão inicial 10 kPa durante 24 horas e em seguida sendo aplicadas as tensões de 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1240, 1920 kPa.

O peso específico aparentemente seco médio (γ_d) das amostras era de 1,00 g/cm³ e as tensões de pré-adensamento, pelo método de Casagrande e pelo método de Pacheco e Silva, foram de 460 kPa e 453,3 kPa, respectivamente. Já o coeficiente de adensamento médio (C_v) determinado foi de 0,0283 cm²/mim e o coeficiente compressibilidade (C_c) de 0,2866. As curvas de adensamento obtidas nas 3 amostras é apresentada na Figura 16.

Figura 16 - Curvas de adensamento com amostras indeformadas



FONTE: Junior e Almeida (2017)

3.1.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

As amostras para a realização da compactação com as energias normal, intermediária e modificada e o posterior ensaio de adensamento unidimensional foram retiradas do primeiro metro de solo do CEEF, com o auxílio de uma pá, removendo-se a camada vegetal. Como se trata de uma amostra deformada, foram tomados os cuidados condizentes com a ABNT NBR 9.604 (2016), conforme apresenta a Figura 17 e a Figura 18.

Após a coleta o solo ficou em estufa a 105 °C durante 24 horas para secagem até obter a umidade higroscópica conforme ABNT NBR 7.182 (2016), posteriormente o solo foi destorroado e passado pela peneira 4,75mm, a Figura 19, apresenta a amostra peneirada.

Figura 17 – Coleta de amostras



Figura 18 – Coleta de amostras



Figura 19 – Solo peneirado.



FONTE: Autor (2019)

O cilindro padrão para o ensaio de compactação tem volume de 1000 cm³, com um diâmetro de 10 cm e uma altura de 12,7 cm. Porém para a realização do ensaio de adensamento unidimensional, foi utilizado um anel com medidas reduzidas. Ele contém o mesmo diâmetro (10 cm) e 3 cm de altura. Desse modo, foi utilizada a equação de energias de compactação para o cálculo da quantidade de golpes, número de camadas, altura de queda do soquete e o peso do soquete. Com isso, foi desenvolvido um soquete para a compactação das amostras, pesando 777,77 gramas, com altura de queda limitada a 30 cm, como demonstra a Figura 20.

Figura 20: Soquete e compactação do corpo de prova

FONTE: Autor (2019)

A Tabela 06 relaciona os parâmetros para a realização da compactação das amostras de acordo com a ABNT NBR 7.182 (2016), e os valores calculados de acordo com o soquete desenvolvido para a compactação, bem como outros parâmetros como a massa de solo e o teor de umidade, para a obtenção do peso específico seco descrito por Zen e Almeida (2018).

Tabela 06 – Parâmetros para compactação

Energia de Compactação	Normal	Intermediária	Modificada
Massa do soquete (g)	777,77	777,77	777,77
Altura de queda (cm)	30,00	30,00	30,00
Número de golpes	40,00	35,00	60,00
Número de gamadas	3,00	5,00	5,00
Cilindro padrão (cm ³)	235,62	235,62	235,61
EC	11883,42	17329,99	29679,94
Massa de solo (g)	397,97	623,59	558,90
Teor de umidade (w)	0,40	0,325	0,26
Volume de água (ml)	159,18	202,66	145,31
γ_d (kN/m ³)	14,00	13,90	14,50

FONTE: Autor (2019)

De acordo com a Tabela 06, foram proferidos 35 golpes em 3 camadas de solo com altura de queda de 30 cm do soquete, para compactação na energia normal. A compactação foi feita com um travamento do anel de adensamento em um cilindro de *proctor*, como mostra a Figura 21. Respeitando-se a ABNT NBR 7.182 (2016) foi deixado 10 mm de solo acima do anel e retirado o excesso com régua biselada.

Figura 21 – Anel da célula de adensamento compactada



FONTE: Autor (2019)

A compactação para as energias intermediária e modificada ocorreu da mesma forma, seguindo os parâmetros de número de golpes, número de camadas, altura de queda, apresentados na Tabela 06.

Então, o anel com o solo compactado foi levado à célula de adensamento onde permaneceu por 24 horas sob pré-inundação, procedimento recomendado pela ABNT NBR 12.007 (1990). Posteriormente, como se trata de um solo mole, foi introduzida uma tensão de 2 kPa por 5 minutos, houve o alívio dessa tensão e então a aplicação da tensão de 10 kPa com leituras especificadas, concluindo o ensaio com 640 kPa, e o descarregamento ocorreu em três estágios.

Após a realização dos ensaios, foram traçados gráficos da curva de adensamento. As alterações foram comparadas para cada energia de compactação (normal, intermediária, modificada), e por fim, comparados com o ensaio de adensamento unidimensional com o mesmo solo em condições naturais e inundadas.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1.1 Dados do ensaio de adensamento

Após a realização do ensaio de adensamento unidimensional foi elaborado a Tabela 07 com os dados de cada amostra, massa específica natural (γ_n), índice de vazios inicial (e_0), grau de saturação (S_r), altura dos sólidos (H_s), conforme a ABNT NBR 12.007 (1990). A massa específica dos grãos, foi obtida por Zen e Almeida (2018) com o valor de 2,70 g/cm³.

Tabela 07 - Dados das amostras

Energia	γ_n (g/cm ³)	(e_0)	S_r (%)	H_s (cm)
Normal	1,95	0,94	66,67	1,55
Intermediária	1,84	0,94	48,15	1,54
Modificada	1,82	0,87	35,14	1,61

FONTE: Autor (2019)

Foram realizados três ensaios de adensamento unidimensional, um para cada energia de compactação e com isso pode-se elaborar uma tabela com a variação de altura do corpo de prova (mm) e índice de vazios (e), ocorridas para cada incremento de carga, conforme Tabela 08. De acordo com a energia de compactação, houve variação no índice de vazios inicial de cada amostra.

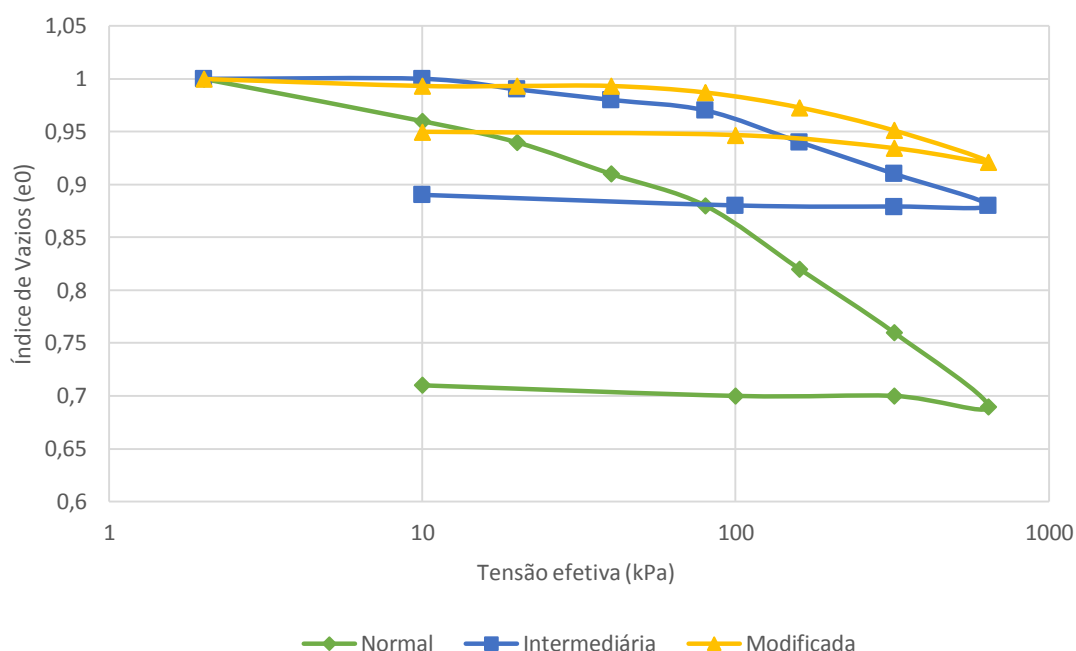
Tabela 08 – Variação de altura do corpo de prova

Pressão (kPa)	Amostra 01 Energia Normal		Amostra 02 Energia Intermediária		Amostra 03 Energia Modificada	
	Altura (mm)	(e)	Altura (mm)	(e)	Altura (mm)	(e)
0	30,000	0,940	30,000	0,940	30,000	0,870
10	29,490	0,900	29,910	0,940	30,000	0,870
20	29,190	0,890	29,770	0,930	30,000	0,870
40	28,640	0,850	29,690	0,920	30,000	0,870
80	28,170	0,820	29,410	0,910	29,900	0,860
160	27,270	0,760	29,050	0,880	29,670	0,850
320	26,320	0,700	28,570	0,850	29,320	0,830
640	25,290	0,630	28,000	0,820	28,840	0,800
320	25,390	0,640	28,060	0,819	29,050	0,809
100	25,470	0,650	28,150	0,820	29,250	0,820
10	25,550	0,650	28,300	0,830	29,300	0,825

FONTE: Autor (2019)

De acordo com a Tabela 08, podem-se elaborar as curvas de adensamento para as três energias de compactação, contemplando a variação do índice de vazios pela tensão aplicada em cada incremento de carga ($e \times \log \sigma$). Conforme Figura 22, as curvas foram normalizadas (e_0/e), para que todas iniciassem no mesmo ponto. Com as curvas de adensamento, foi calculada a tensão de pré-adensamento utilizada apenas como parâmetro para cálculo do índice de compressão (C_c), pois o solo foi compactado artificialmente, o que afeta essa tensão. Foi calculado também o coeficiente de adensamento (C_v). Os resultados dos cálculos são apresentados no Apêndice A.

Figura 22 - Curvas de adensamento



FONTE: Autor (2019)

A Tabela 09 apresenta o teor de umidade (w), o peso específico seco (γ_d), a deformação (mm) da altura do corpo de prova e a porcentagem de deformação das amostras compactadas com a energia normal, intermediária e modificada.

Tabela 09 - Deformação dos corpos de prova

Amostras	w (%)	γ_d (g/cm ³)	Altura do CP antes da deformação (mm)	Altura do CP após deformação (mm)	Deformação (%)
Normal	40,00	13,94	30,00	25,55	15,03
Intermediária	32,50	13,90	30,00	28,30	5,28
Modificada	26,00	14,50	30,00	29,30	2,68

FONTE: Autor (2019)

Segundo Das (2007), a compactação visa aumentar o peso específico do solo, e com isso a resistência do mesmo e a resistência da fundação que foi construída sobre sua superfície. Na medida em que se aumenta a energia de compactação aplicada e se reduz o teor de umidade o solo tende a ser mais resistente.

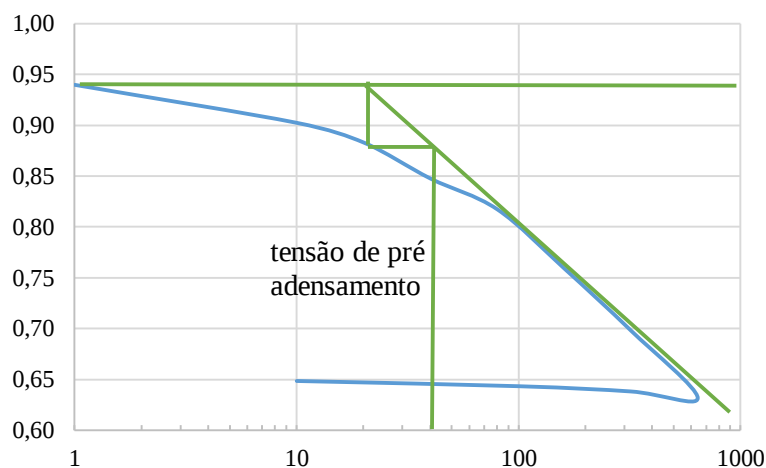
Quando comparada a amostra 01 (energia normal), com a amostra 02 (energia intermediária) pode-se observar que houve uma redução de deformação de 64,87% na amostra 02. Com a comparação da amostra 01 com a amostra 03 (energia modificada), houve uma redução de 82,17% na amostra 03. Segundo Pinto (2006), isso se dá porque a aplicação de energia maior com teor de umidade menor elimina os vazios do solo deixando-o mais compacto.

Na comparação da amostra 02 com a amostra 03, houve uma redução de 49,24% na deformação. Isso ocorre, pois a energia empregada no ensaio de compactação modificado é maior, segundo Das (2007), esse ensaio simula uma situação de campo em que sejam utilizados rolos compactadores pesados.

4.1.1.1 Tensão de pré-adensamento (σ'_{vm})

Segundo Pinto (2006), quando há a mudança no gradiente de adensamento, este indica a separação entre o trecho de pré-tensão e a reta de compressão virgem. Desse modo sugere-se que o solo tenha sido submetido a tal carregamento em seu histórico. Há alguns métodos empíricos para a determinação dessa tensão, porém o utilizado foi o método do engenheiro Pacheco Silva, apresentado na Figura 23. Os cálculos podem ser verificados no Apêndice C.

Figura 23 - Aplicação do método na Amostra 01 (energia normal).



FONTE: Autor (2019)

Como o solo foi compactado artificialmente antes do ensaio de adensamento unidimensional, a tensão de pré-adensamento foi variável em cada amostra. Desse modo, essa tensão deve ser considerada apenas para cálculo do índice de compressão, os valores são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Tensão de pré-adensamento

Amostras	Tensão de pré adensamento (kPa)
Normal	40
Intermediária	65
Modificada	120

FONTE: Autor (2019)

4.1.1.2 Índice de compressão (C_c)

Segundo Caputo (1980), a reta de compressão virgem, determina o carregamento inicial do solo, ou seja, os valores de tensão efetiva maiores do que os máximos que o depósito já foi submetido.

O índice de compressão foi definido pelo valor numérico da tangente do trecho de compressão virgem, conforme indica a ABNT NBR 12.007(1990), e verificada as pressões efetivas para esses pontos. Os resultados são apresentados na Tabela 11, os cálculos podem ser observados no Apêndice D.

Tabela 11 – Índice de compressão

Amostras	C_c
Normal	0,17
Intermediária	0,10
Modificada	0,07

FONTE: Autor (2019)

4.1.1.3 Coeficiente de adensamento (C_v)

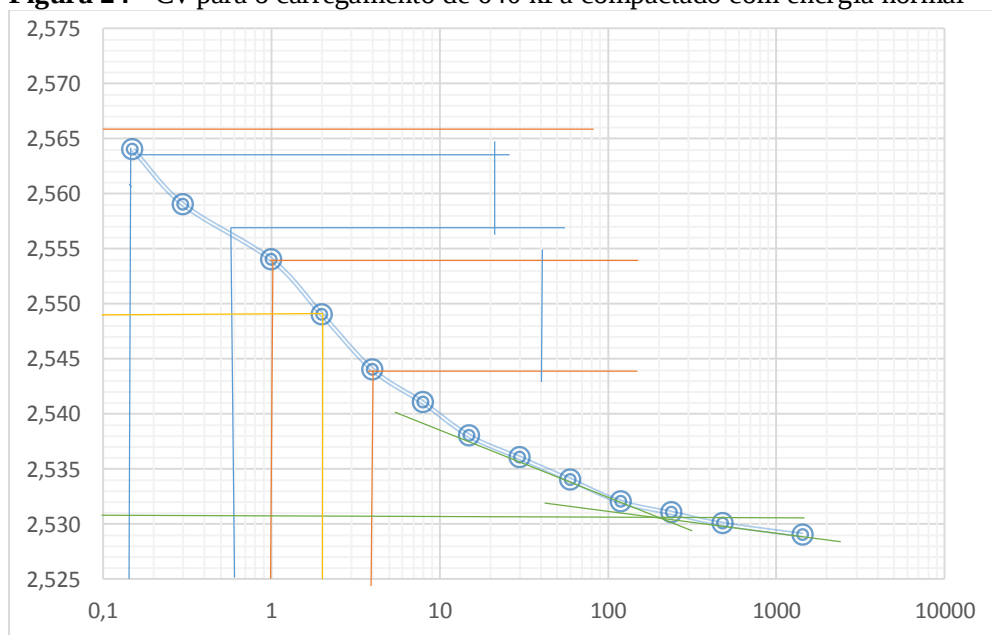
Segundo Sayão (2009), o coeficiente de adensamento (C_v), determina a velocidade na qual um solo se deforma, quando solicitado, por acréscimo de tensão. Pode-se dizer que para um mesmo solo, quanto maior a permeabilidade, mais rápido se dará o adensamento. Por outro lado, quanto mais compressível for o solo, maior será o tempo necessário para que o

adensamento se processe totalmente, uma vez que maior quantidade de água terá que sair da massa de solo sendo assim o solo apresentará menor C_v .

Segundo Das (2007) o coeficiente de adensamento (C_v) pode ser obtido através de dois métodos: o de Casagrande e Taylor. Ambos são calculados para um estágio de carregamento específico, ajusta-se a curva de um incremento de carga à curva teórica do adensamento e segue um dos modelos.

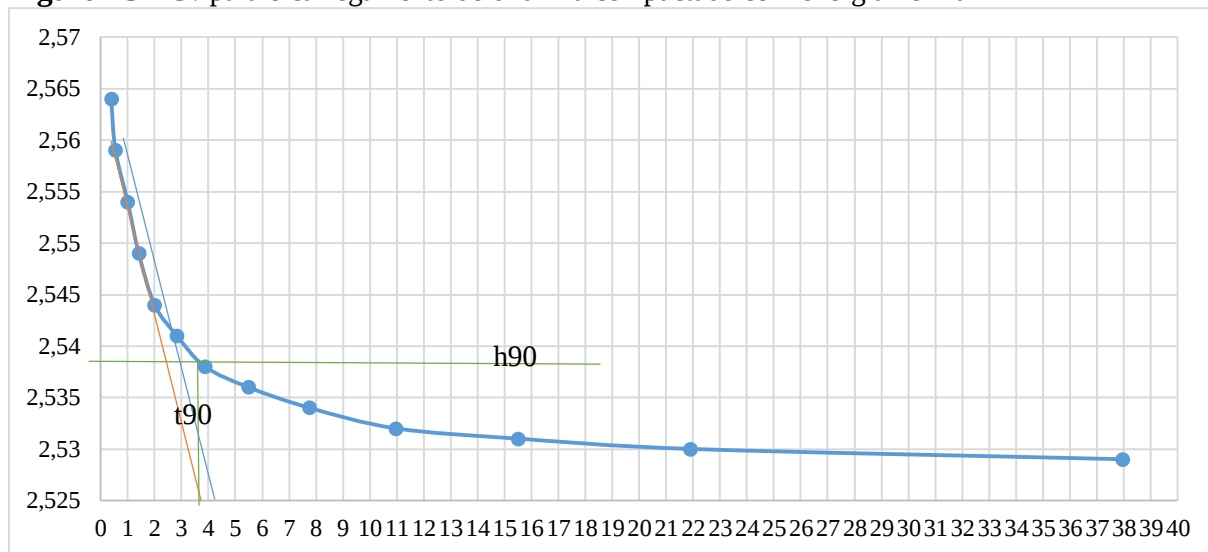
Para Casagrande, o método consiste em delimitar um tempo qualquer e multiplica-se por 4, é traçado uma horizontal correspondente a cada tempo. A diferença entre as horizontais pode ser verificada para um ou mais tempos, a diferença é o tempo correspondente a h_1 que corresponde ao início do adensamento primário, a altura h_{100} , corresponde a 100% do adensamento e é delimitado pela intersecção das tangentes da inflexão da curva do carregamento, a média desses valores corresponde a h_{50} que é 50% do adensamento, traça-se uma reta onde se encontrar com a curva do ensaio é o tempo t_{50} , aplicado na Equação 02, conforme Figura 24.

Figura 24 - C_v para o carregamento de 640 kPa compactado com energia normal



FONTE: Autor (2019)

Para o método de Taylor traça-se uma reta contemplando os 5 primeiros pontos da estágio de carregamento, multiplica-se 1,15 vezes a reta, no ponto em que está se encontra com a curva do carregamento é determinado a altura h_{90} , que corresponde a 90% do adensamento, o tempo t_{90} é a vertical dessa intersecção, aplicado na Equação 03, conforme Figura 25.

Figura 25 - C_v para o carregamento de 640 kPa compactado com energia normal

FONTE: Autor (2019)

Para cada energia distinta de compactação foram calculados os coeficientes de adensamento (C_v) para 3 (três) carregamentos, pelos métodos de Casagrande e Taylor. Os resultados são apresentados na Tabela 12. Os cálculos podem ser verificados no Apêndice B.

Tabela 12 – Coeficiente de adensamento (C_v)

Amostras	Carregamento kPa	C_v por Taylor (cm^2/s)	C_v por Casagrande (cm^2/s)	Média Taylor (cm^2/s)	Média Casagrande (cm^2/s)
Normal	160	0,00369	0,00378	0,00369	0,00387
	320	0,00369	0,00378		
	640	0,00369	0,00378		
Intermediária	160	0,00199	0,00049	0,00449	0,00161
	320	0,00353	0,00352		
	640	0,00795	0,00082		
Modificada	160	0,00353	0,00106	0,00284	0,00138
	320	0,00189	0,00123		
	640	0,00311	0,00185		

FONTE: Autor (2019)

Segundo Pinto (2006), os dois processos apresentam resultados muito próximos, porém há casos em que o coeficiente de adensamento (C_v) varia de acordo com os incrementos de carga. Em casos de aplicação em problemas reais deve-se usar o coeficiente correspondente a tensão envolvida.

4.1.2 Comparativo entre o solo compactado e o solo deformado com pré-inundação

Segundo Das (2007) um solo saturado quando sofre um acréscimo de tensão, a poro pressão aumenta repentinamente e em solos argilosos ocorre imediatamente o recalque elástico, porém o excesso de poro pressão se dissipa lentamente causando o recalque por adensamento, que pode ser várias vezes maior do que o recalque elástico e ter longa duração.

Silva e Souza (2018) realizaram ensaio de adensamento unidimensional em amostras de solo do CEEF, com o objetivo de comprovar a característica colapsível do solo com pré-inundação, as amostras foram retiradas das profundidades de 1,5 metros e 12 metros.

Na Tabela 13 podem ser observados os resultados das deformações para a profundidade de 1,5 metros de Silva e Souza (2018), e também as deformações que ocorrem nas amostras compactadas com as diferentes energias de compactação.

Tabela 13 – Porcentagens de deformações obtidos por Silva e Souza (2018) e por Prado (2019)

Amostra	Altura CP inicial (mm)	Silva e Souza (2018)		Prado (2019)	
		Altura CP após recalque (mm)	Deformação (%)	Altura do CP após recalque (mm)	Deformação (%)
01	30,00	19,14	36,20	25,55	15,03
02	30,00	18,17	39,43	28,30	5,28
03	30,00	18,76	37,47	29,30	2,68

FONTE: Autor (2019)

Ao se comparar os resultados dos ensaios de adensamento unidimensional, elaborados por Silva e Souza (2018), com amostras indeformadas, e os ensaios de adensamento unidimensional elaborados com amostras compactadas com diferentes energias de compactação, pode-se observar a Tabela 14, que contempla a porcentagem de redução de deformação que ocorreu com cada amostra devido a aplicação das diferentes energias de compactação.

Tabela 14 – Porcentagens das reduções de deformações

Energia	Amostra 01 (%)	Amostra 02 (%)	Amostra 03(%)
Normal	58,48	61,88	59,88
Intermediária	85,41	86,60	85,90
Modificada	92,60	93,20	92,84

FONTE: Autor (2019)

É possível analisar que houve uma grande redução nas deformações das amostras. Segundo Senço (2007), a obtenção da maior massa específica aparente possível de um solo por meio da aplicação de energia mecânica implica-se em obter a maior quantidade de partículas sólidas por unidade de volume, o que resulta em aumentar a resistência desse solo e obter menor deformabilidade.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio de compactação ou ensaio de *proctor* auxilia na definição dos melhores pontos para a compactação. O solo compactado tem sua estrutura alterada reduzindo seus vazios por expulsão de ar aumentando então a sua resistência.

O ensaio de compressão edométrica simula em laboratório, uma situação em que um maciço de solo em confinamento lateral, recebe estágios de aplicação de cargas e através da expulsão de água dos seus vazios, deforma, ocasionando os recalques por adensamento.

Com as amostras de solo compactadas pode-se analisar, através do ensaio de adensamento, algumas características pertinentes a camada de solo superficial, como a tensão de pré-adensamento que contempla a tensão sofrida pelo solo ao longo da sua vida geológica. No caso do ensaio de adensamento unidimensional em solo compactado, essa tensão não deve ser levada em consideração, pois a estrutura do solo foi afetada com a compactação, porém os valores ficaram próximos aos encontrados por Silva e Souza (2017).

Quanto ao coeficiente de adensamento (C_v), que é a velocidade que o solo deforma quando sofre um acréscimo de tensão, observou-se através dos dois métodos de determinação (Taylor e Casagrande), que houveram variações quanto a acréscimos de tensão e variação de energia de compactação, apresentando valores médios pelo método de Taylor de $0,00369 \text{ cm}^2/\text{s}$ (energia normal), $0,00340 \text{ cm}^2/\text{s}$ (energia intermediária) e $0,00284 \text{ cm}^2/\text{s}$ (energia modificada), por Casagrande os valores médios são respectivamente de $0,00387 \text{ cm}^2/\text{s}$, $0,00161 \text{ cm}^2/\text{s}$ e $0,00138 \text{ cm}^2/\text{s}$. Devido as energias de compactação empregadas na confecção das amostras os valores para o coeficiente de adensamento ficaram abaixo do valor médio encontrado por Silva e Souza (2018) para o solo em condições naturais. Isso se dá pela alteração da estrutura do solo o que o torna mais resistente e consequentemente com uma velocidade menor da deformação.

O índice de compressão que é o coeficiente que determina o trecho virgem da curva de adensamento, ou seja, a tensão que o solo foi submetido a partir da tensão de pré-adensamento, apresentou valores de 0,17 para energia normal, 0,10 pra energia intermediária e 0,07 para energia modificada. Pode-se notar que para ambos os métodos de cálculo o coeficiente de adensamento e o índice de compressão foram menores quando comparado com o ensaio de compressão edométrica do solo em condições naturais saturadas (Silva e Souza, 2018). A comparação com os resultados de (Junior e Almeida, 2018), não foi executada devido ao método de ensaio de adensamento ser diferente do método aplicado nesse trabalho.

A partir disso, pode-se concluir que há uma grande influência das energias de compactação, quando se trata da redução de recalques por adensamento em camadas superficiais. A variação dos recalques ocorridos entre as energias de compactação foi em média de 65,42%, ou seja, com a aplicação de uma maior energia de compactação houve uma brusca redução no recalque ocorrido e quando comparadas as reduções de recalque com o solo em condições saturadas a média foi de 79,64%.

Desse modo, pode-se afirmar que com a compactação do solo é possível reduzir as deformações e sua prática pode contribuir para a redução nas patologias das fundações em solos coesivos, e até mesmo resultar em uma maior segurança nas obras.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Analisar os recalques que podem ocorrer com amostras compactadas em cotas de 12 metros de profundidade.

Verificar a influência da entrada de água (calopsibilidade) em amostras compactadas com as três energias de compactação.

Avaliar o ganho que as diferentes energias de compactação geram na resistência de cisalhamento do solo;

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6502** – Rochas e solos - Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7182** – Ensaio de Compactação - Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 9.604** – Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo com retirada de amostras deformadas e indeformadas - Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 12007** – Ensaio de Adensamento Unidimensional - Rio de Janeiro, 1990.

CAPUTO, Homero Pinto - **Mecânica dos solos para uso de engenheiros rodoviários** – Rio de Janeiro, Rodovia, 1957.

CAPUTO, Homero Pinto – **Mecânica dos solos e suas aplicações. 5ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos**, 1980.

CAPUTO, Homero Pinto – **Mecânica dos solos e suas aplicações. 6ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos**, 1988.

CARVALHO, Pedro Alexandre Sawaya, **Manual da geotecnia, talude de rodovias: orientação para diagnostico e soluções de seus problemas** - São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.

CHIOSSI, Nivaldo José, **Geologia na Engenharia** - 3ª edição – São Paulo, Oficina de Textos, 2013.

CINTRA, J. C. A., AOKI, N., ALBIERO, J. H. **Fundações Diretas: projeto geotécnico**. 2011. São Paulo.

CONSOLI, N. C.; MILITITSKY, J.; SCHINAID, F. **Patologias das Fundações**. 2ª. ed. rev.e ampl. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2015.

DAS. Braja M., **Fundamentos da Engenharia Geotécnica**; São Paulo, Thomson Learning, 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – (2010). **Panorama das Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/cascavel/panorama>>. Acesso em 08 out. 2018.

JUNIOR & ALMEIDA. **Determinação da Curva de Adensamento de Solo Superficial Residual e Lateríticos de Cascavel/PR**. Faculdade Assis Gurgacz. Cascavel – Paraná, 2017.

FREITAS, Wesley R. S., JABBOUR, Charbel, J.C., **Utilizando Estudo de Caso, Como Estratégia de Pesquisa Qualitativa: Boas Práticas e Sugestões**. Disponível em <<http://www.univates.br/revistas/index.php/estudoedebate/article/view/560>>. Acesso em: 05 out. 2018.

OLIVEIRA, Silvio Luiz de, **Tratado da Metodologia Científica**; 1ed. São Paulo: Pioneira, 1999.

ORTIGÃO, J.A.R., **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos**; 3 ed. São Paulo: Terratek, 2007.

PINTO, Carlos de Souza. **Propriedades dos solos**. In: Fundações: Teoria e Prática. Hachich, Falconi, Saes, Frota, Carvalho, Nryama, **Fundações: Teoria E Pratica – 2 Edição – São Paulo, Pini**, 2003.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos, em 16 Aulas**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira, 1949 – **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. São Paulo: Zigurate Editora, 2008.

SAYÃO, A., SIEIRA A. C., PETRUCIO S. **Reforço de Solos Manual Técnico** - São Paulo: **Maccaferi**, 2009.

SENÇO, Wlastermiller de, **Manual de técnicas de pavimentação: volume 1 - 2. ed. ampl.** - São Paulo: **Pini**, 2007.

SILVA, E. S.; SOUZA, C. E. **Variabilidade dos Parâmetros de Deformabilidade do Solo de Cascavel/PR ao longo da profundidade.** Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Assis Gurgacz. Cascavel – Paraná, 2018. Orientador: Maycon André de Almeida.

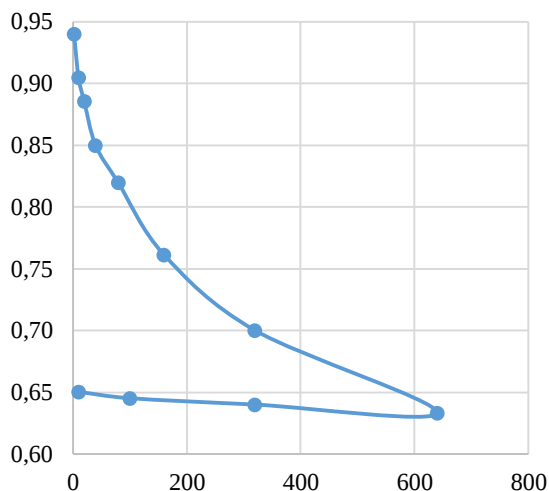
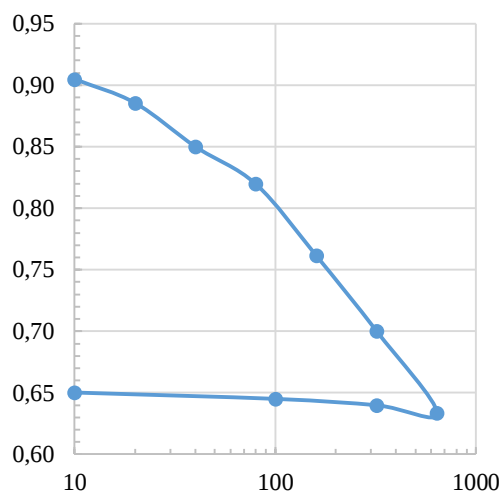
ZEN, B. A. B.; ALMEIDA, M. A. **Implantação e Caracterização Geotécnica do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz em Cascavel/Pr.** In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2018, Salvador. Cobramseg 2018. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 2018.

APÊNDICE A: ENSAIO DE ADENSAMENTO

ENSAIO DE ADENSAMENTO - NBR - 12007/90					
Amostra 01 – Energia Normal					
Características dos Anel			Características dos Corpo de Prova		
Altura	3,00	cm	Massa anel + solo + água	575,13	G
Diâmetro	10,00	cm	Massa solo inicial	459,61	G
Volume	235,62	cm ³	Peso específico Natural (γ_n)	1,95	g/cm ³
Área	78,54	cm ²	Peso específico Seco (γ_d)	1,39	g/cm ³
Peso do Anel	115,52	g	Massa específica da água	1,00	g/cm ³
			Teor de umidade (w)	40,00	%
			Peso específico Natural (γ_n)	1,95	g/cm ³
			Massa específica dos grãos	2,70	g/cm ³
			Índice de vazios (e_0)	0,94	
			Grau de Saturação (S_r)	66,67	%
			Altura dos sólidos (H_s)	1,55	cm

ENSAIO DE ADENSAMENTO - AMOSTRA 01 - ENERGIA NORMAL															
Pressão (kPa)	0	15"	30"	1'	2'	4'	8'	15'	30'	1h	2h	4h	8h	24h	Data
2	0														04/fev
10	0,43	0,43	0,44	0,5	0,46	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,5	0,5	0,51	0,51	05/fev
20	0,51	0,69	0,7	0,7	0,72	0,74	0,75	0,75	0,77	0,78	0,79	0,8	0,8	0,81	06/fev
40	0,81	1,12	1,15	1,2	1,23	1,26	1,29	1,3	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	07/fev
80	1,36	1,6	1,63	1,7	1,7	1,73	1,75	1,77	1,78	1,79	1,8	1,8	1,82	1,83	08/fev
160	1,83	2,46	2,5	2,5	2,59	2,64	2,67	2,68	2,69	2,7	2,71	2,72	2,73	2,73	09/fev
320	2,73	3,37	3,41	3,5	3,5	3,54	3,58	3,6	3,62	3,63	3,64	3,65	3,67	3,68	11/fev
640	3,68	4,36	4,41	4,5	4,51	4,56	4,59	4,62	4,64	4,66	4,68	4,69	4,7	4,71	12/fev
320	4,71	4,66	4,64	4,6	4,63	4,62	4,62	4,61	4,61	4,61	4,61	4,61	4,61	4,61	13/fev
100	4,61	4,58	4,57	4,6	4,55	4,54	4,54	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	14/fev
10	4,53	4,48	4,47	4,5	4,47	4,46	4,46	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	15/fev

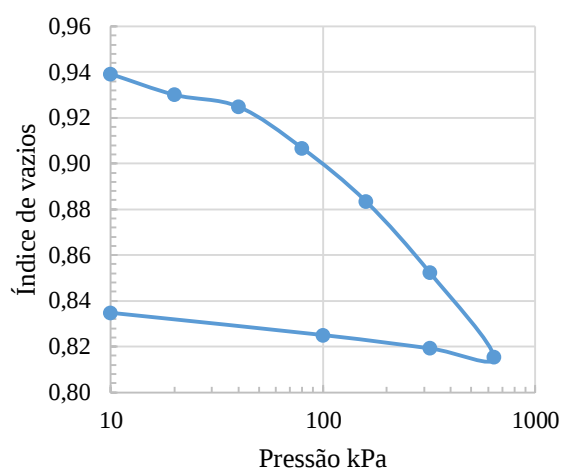
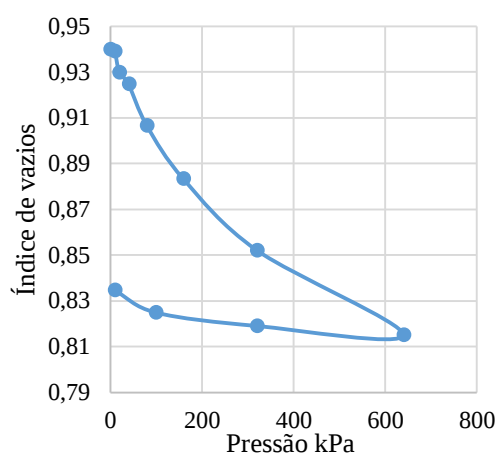
CURVAS DE ADENSAMENTO



ENSAIO DE ADENSAMENTO - NBR - 12007/90					
Amostra 02 - Energia Intermediária					
Características dos Anel			Características dos Corpo de Prova		
Altura	3,00	cm	Massa anel + solo + água	550,12	g
Diâmetro	10,00	cm	Massa solo inicial	433,42	g
Volume	235,62	cm ³	Peso específico Natural (γ_n)	1,84	g/cm ³
Área	78,54	cm ²	Peso específico Seco (γ_d)	1,39	g/cm ³
Peso do Anel	116,70	g	Massa específica da água	1,00	g/cm ³
			Teor de umidade (w)	32,50	%
			Peso específico Natural (γ_n)	1,84	g/cm ³
			Massa específica dos grãos	2,70	g/cm ³
			Índice de vazios (e_0)	0,94	
			Grau de Saturação (S_r)	48,15	%
			Altura dos sólidos (H_s)	1,54	cm

ENSAIO DE ADENSAMENTO - AMOSTRA 02 - ENERGIA INTERMEDIÁRIA															
Pressão (kPa)	0	15"	30"	1'	2'	4'	8'	15'	30'	1h	2h	4h	8h	24h	Data
2	0														18/fev
10	0	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,8	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	19/fev
20	0,09	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2	0,21	0,22	0,23	20/fev
40	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,3	0,31	21/fev
80	0,31	0,37	0,39	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,59	22/fev
160	0,59	0,79	0,8	0,82	0,83	0,84	0,85	0,87	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	23/fev
320	0,95	1,26	1,29	1,31	1,33	1,35	1,36	1,38	1,41	1,42	1,42	1,43	1,43	1,43	25/fev
640	1,43	1,8	1,83	1,85	1,87	1,88	1,89	1,9	1,94	1,96	1,97	1,98	1,99	2	26/fev
320	2	1,96	1,96	1,96	1,95	1,95	1,95	1,95	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	27/fev
100	1,94	1,9	1,89	1,89	1,88	1,87	1,87	1,87	1,86	1,86	1,86	1,86	1,85	1,85	28/fev
10	1,85	1,8	1,78	1,76	1,75	1,74	1,74	1,74	1,73	1,73	1,72	1,71	1,71	1,7	01/mar

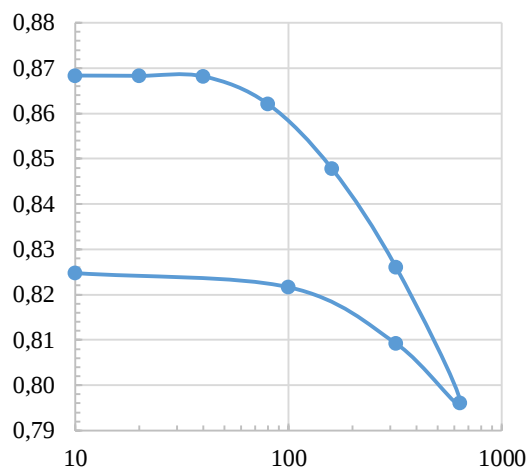
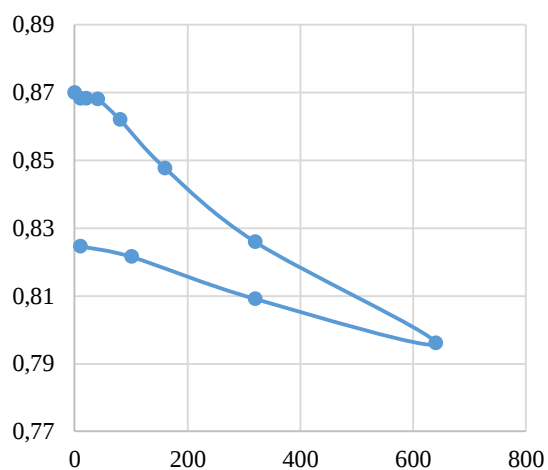
CURVA DE ADENSAMENTO



ENSAIO DE ADENSAMENTO - NBR - 12007/90					
Amostra 03 – Energia Modificada					
Características dos Anel			Características dos Corpo de Prova		
Altura	3,00	cm	Massa anel + solo + água	543,65	g
Diâmetro	10,00	cm	Massa solo inicial	429,04	g
Volume	235,62	cm ³	Peso específico Natural (γ_n)	1,82	g/cm ³
Área	78,54	cm ²	Peso específico Seco (γ_d)	1,45	g/cm ³
Peso do Anel	115,52	g	Massa específica da água	1,00	g/cm ³
			Teor de umidade (w)	26,00	%
			Peso específico Natural (γ_n)	1,82	g/cm ³
			Massa específica dos grãos	2,70	g/cm ³
			Índice de vazios (e_0)	0,87	
			Grau de Saturação (S_r)	35,14	%
			Altura dos sólidos (H_s)	1,61	cm

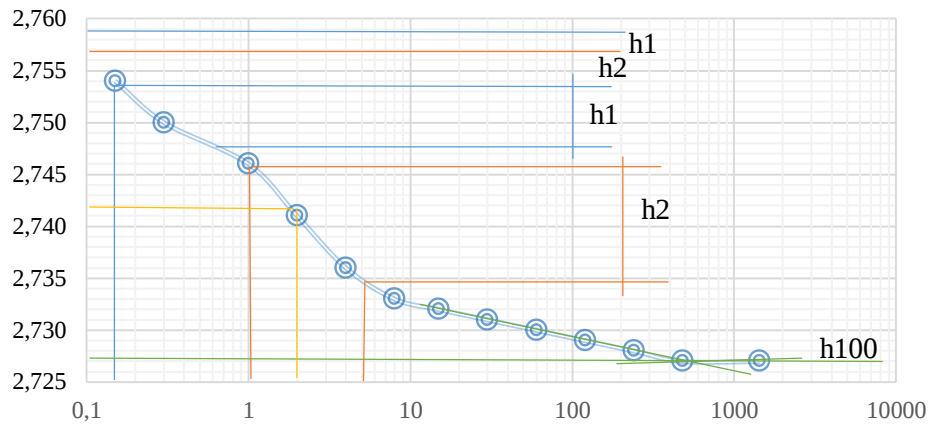
ENSAIO DE ADENSAMENTO - AMOSTRA 03 - ENERGIA MODIFICADA															
Pressão (kPa)	0	15"	30"	1'	2'	4'	8'	15'	30'	1h	2h	4h	8h	24h	Data
2	0														04/mar
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	05/mar
20	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	06/mar
40	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	07/mar
80	0,003	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007	0,008	0,009	0,1	08/mar
160	0,1	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3	0,3	0,31	0,31	0,32	0,33	0,33	09/mar
320	0,33	0,57	0,58	0,59	0,6	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,66	0,67	0,68	11/mar
640	0,68	1	1,02	1,04	1,05	1,05	1,07	1,09	1,1	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16	12/mar
320	1,16	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00	0,98	0,96	0,95	13/mar
100	0,95	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,77	0,76	0,75	0,75	14/mar
10	0,75	0,73	0,73	0,73	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,7	0,7	0,7	0,7	15/mar

CURVA DE ADENSAMENTO

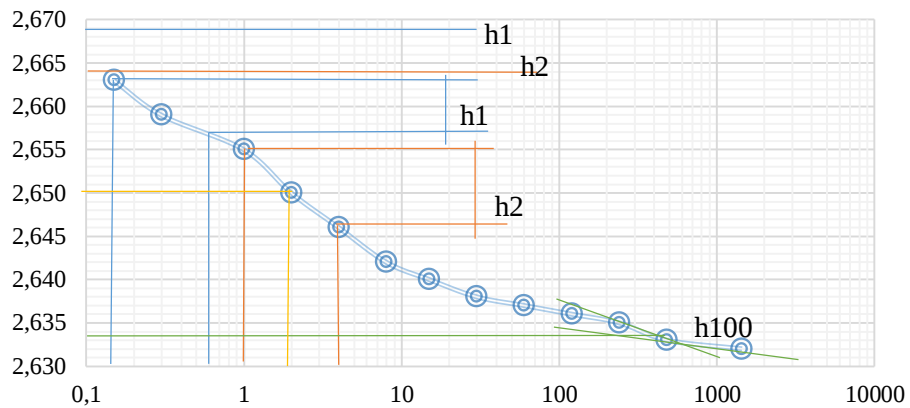


APÊNDICE B: DETERMINAÇÃO DO C_v

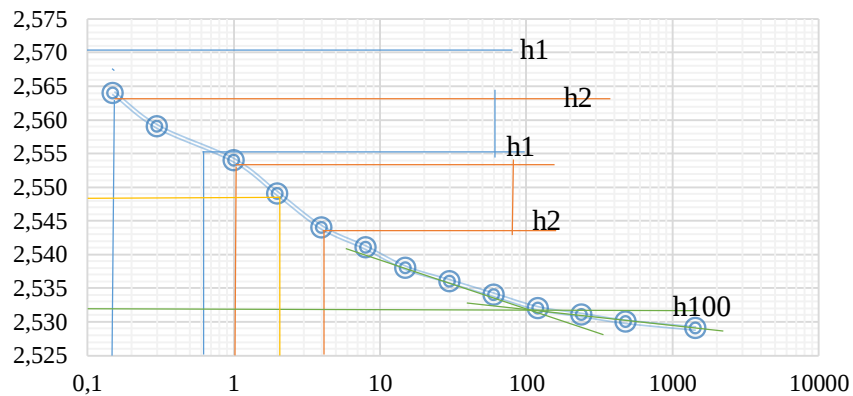
AMOSTRA 01 - (C_v) POR CASAGRANDE – CARREGAMENTO DE 160 kPa.



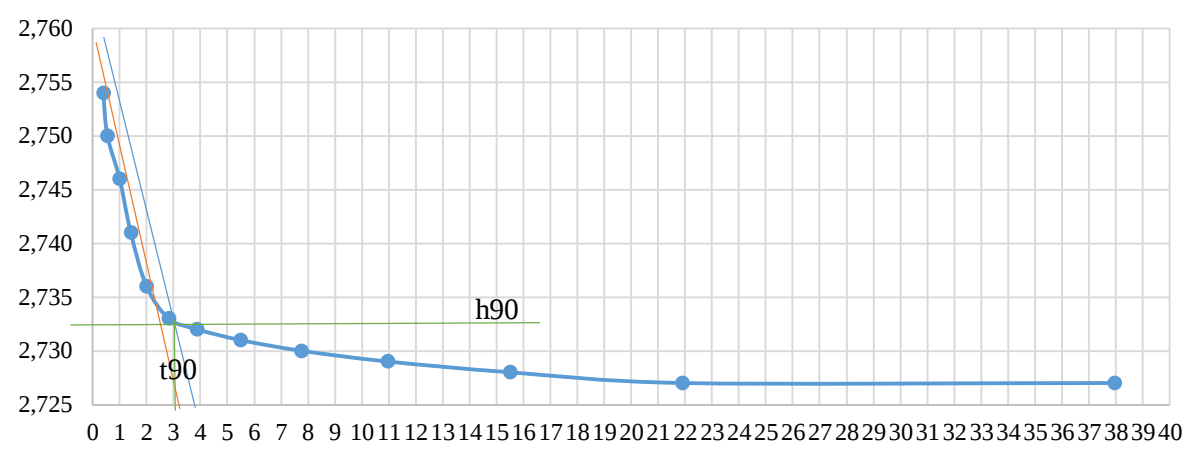
AMOSTRA 01 - (C_v) POR CASAGRANDE – CARREGAMENTO DE 320 kPa.



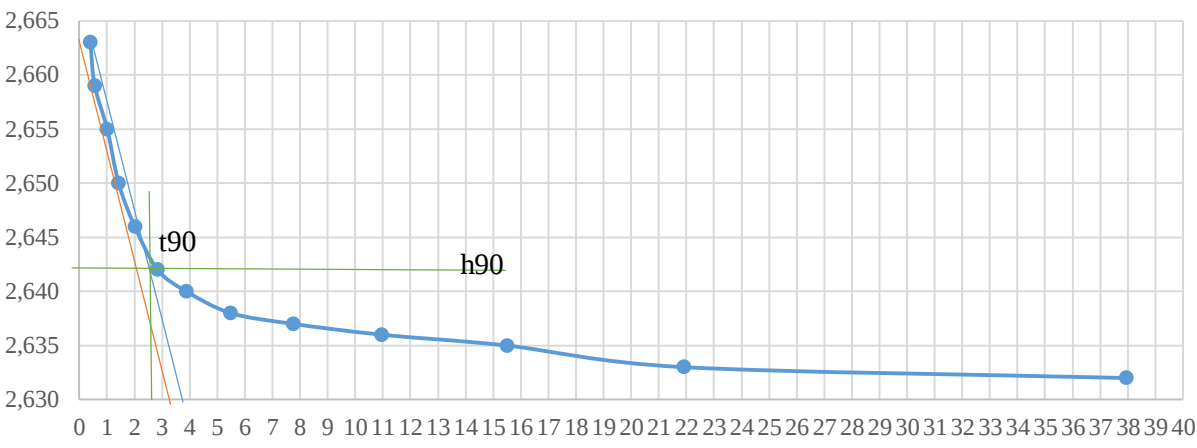
AMOSTRA 01 - (C_v) POR CASAGRANDE – CARREGAMENTO DE 640 kPa.



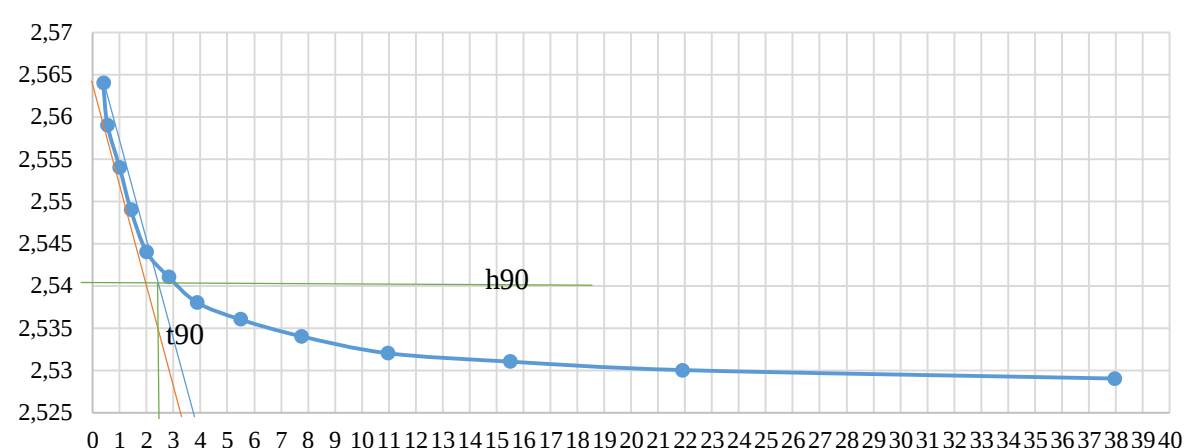
AMOSTRA 01 - (Cv) POR TAYLOR – CARREGAMENTO DE 160 kPa.

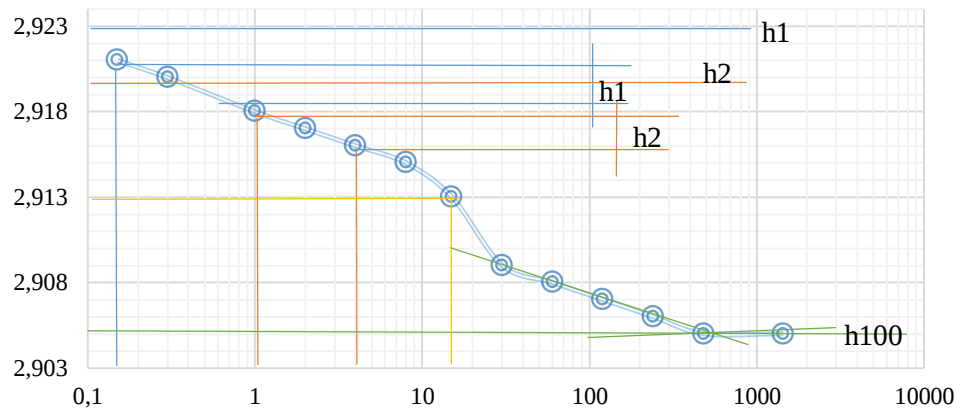
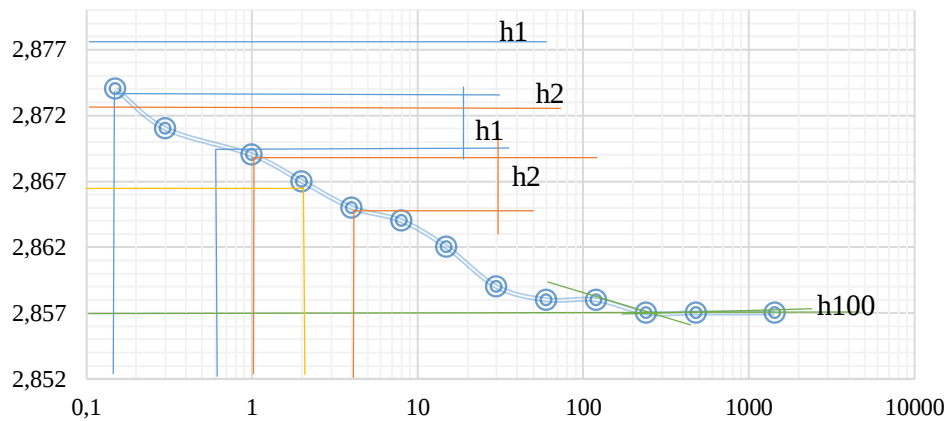
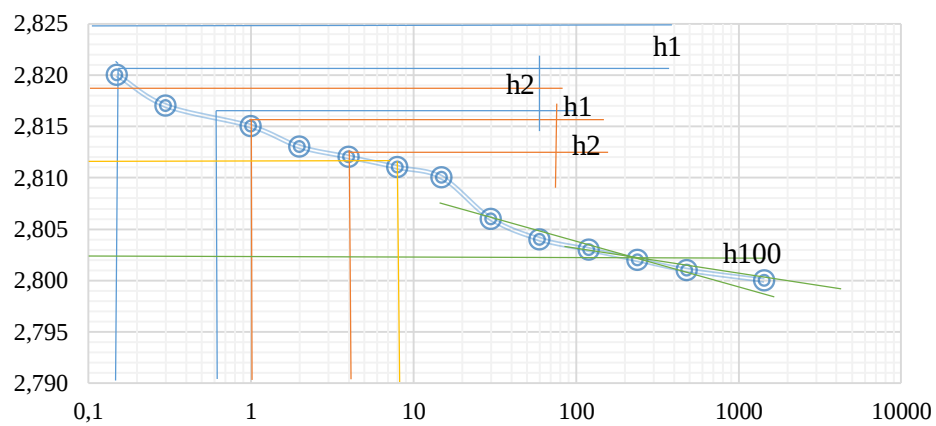


AMOSTRA 01 - (Cv) POR TAYLOR – CARREGAMENTO DE 320 kPa.

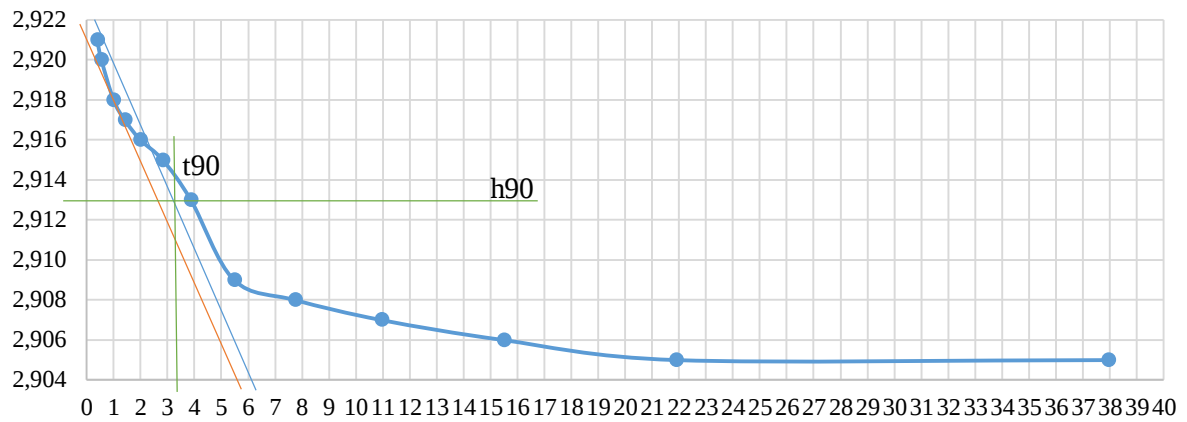


AMOSTRA 01 - (Cv) POR TAYLOR – CARREGAMENTO DE 640 kPa.

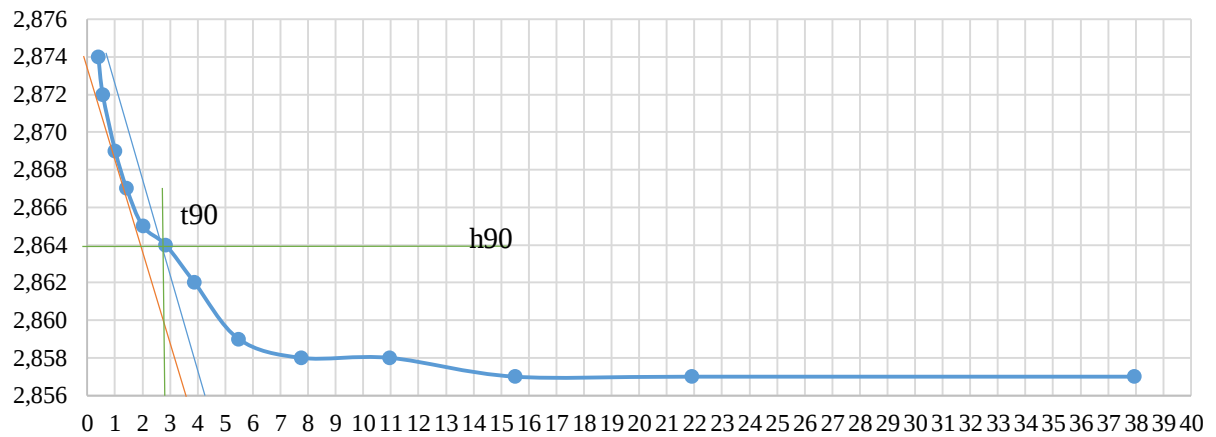


AMOSTRA 02 - (C_v) POR CASAGRANDE – CARREGAMENTO DE 160 kPa.AMOSTRA 02 - (C_v) POR CASAGRANDE – CARREGAMENTO DE 320 kPa.AMOSTRA 02 - (C_v) POR CASAGRANDE – CARREGAMENTO DE 640 kPa.

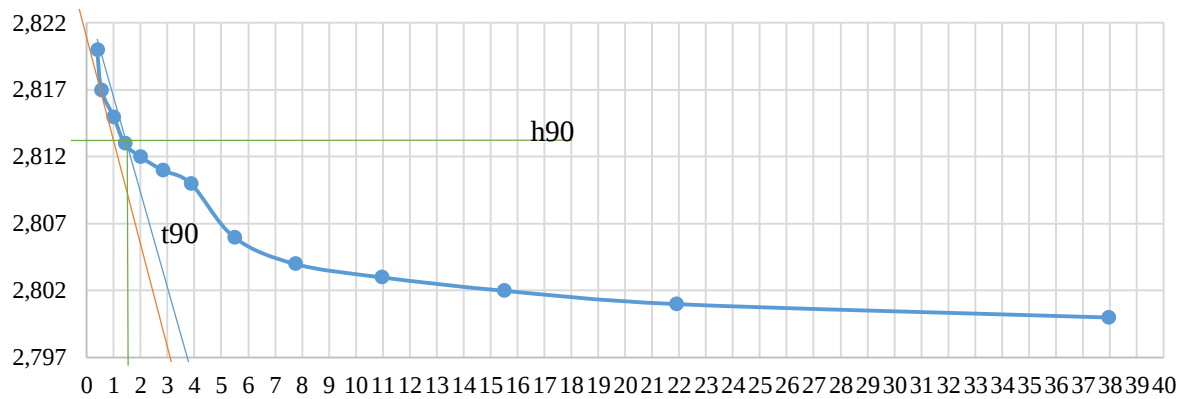
AMOSTRA 02 - (Cv) POR TAYLOR – CARREGAMENTO DE 160 kPa.



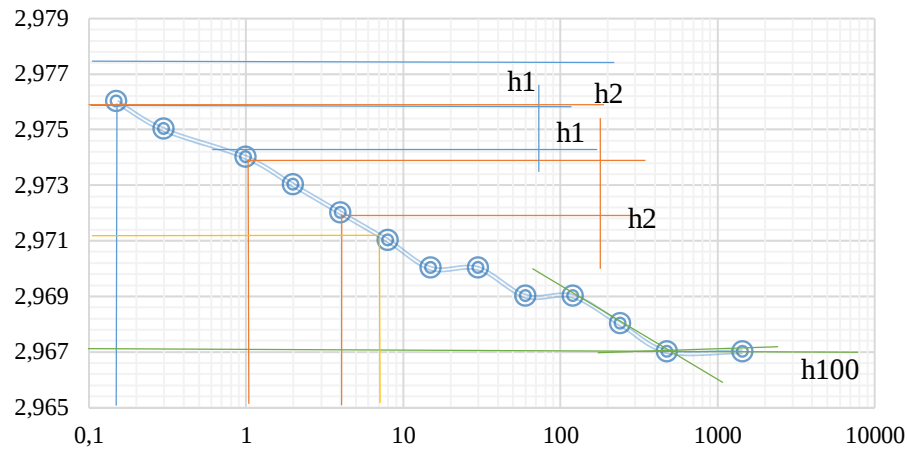
AMOSTRA 02 - (Cv) POR TAYLOR – CARREGAMENTO DE 320 kPa.



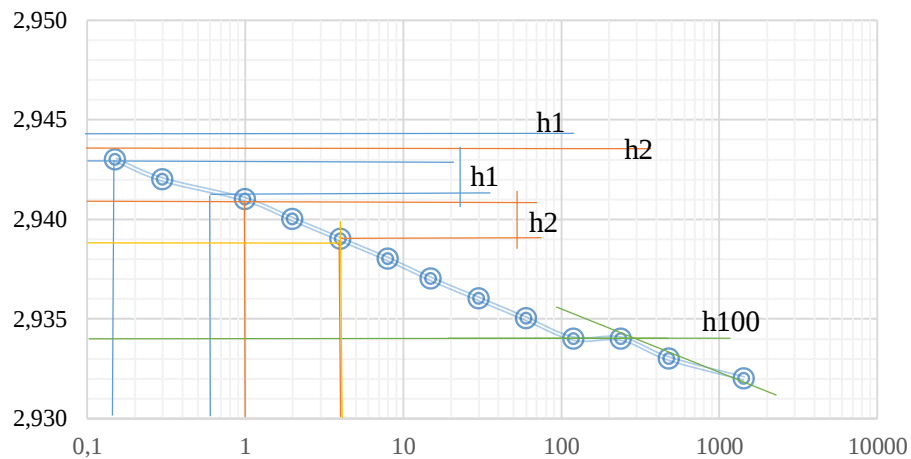
AMOSTRA 02 - (Cv) POR TAYLOR – CARREGAMENTO DE 640 kPa.



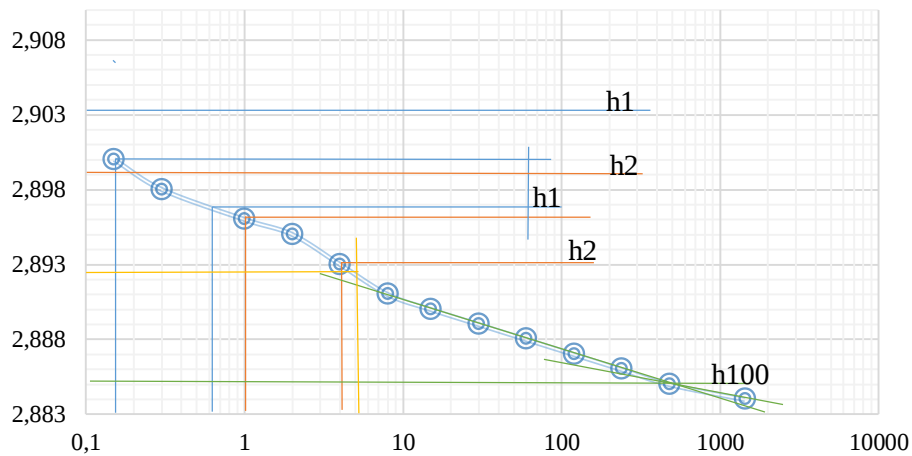
AMOSTRA 03 - (C_v) POR CASAGRANDE – CARREGAMENTO DE 160 kPa.



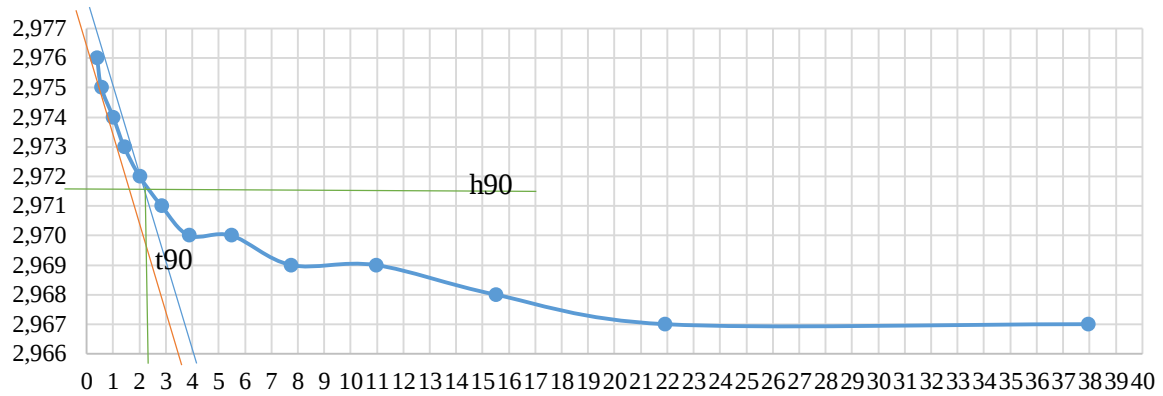
AMOSTRA 03 - (C_v) POR CASAGRANDE – CARREGAMENTO DE 320 kPa.



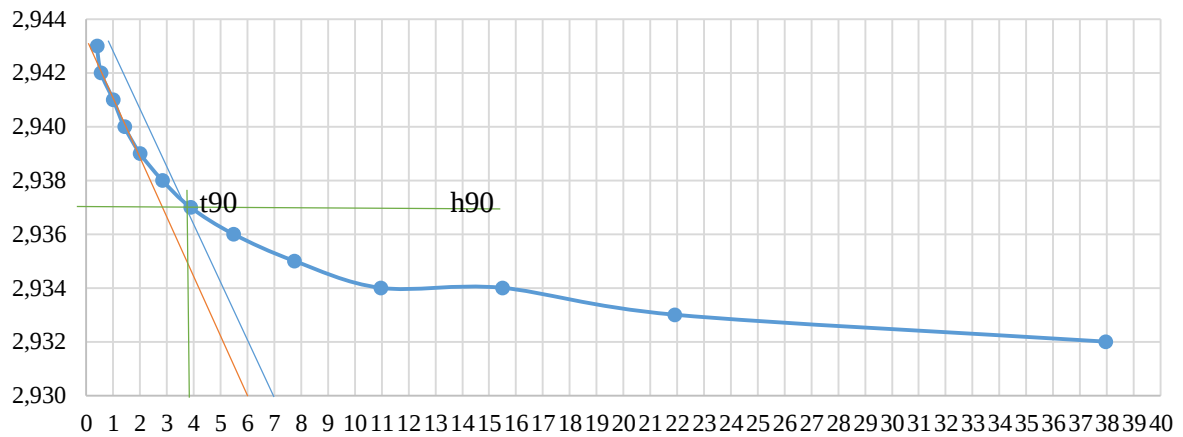
AMOSTRA 03 - (C_v) POR CASAGRANDE – CARREGAMENTO DE 640 kPa.



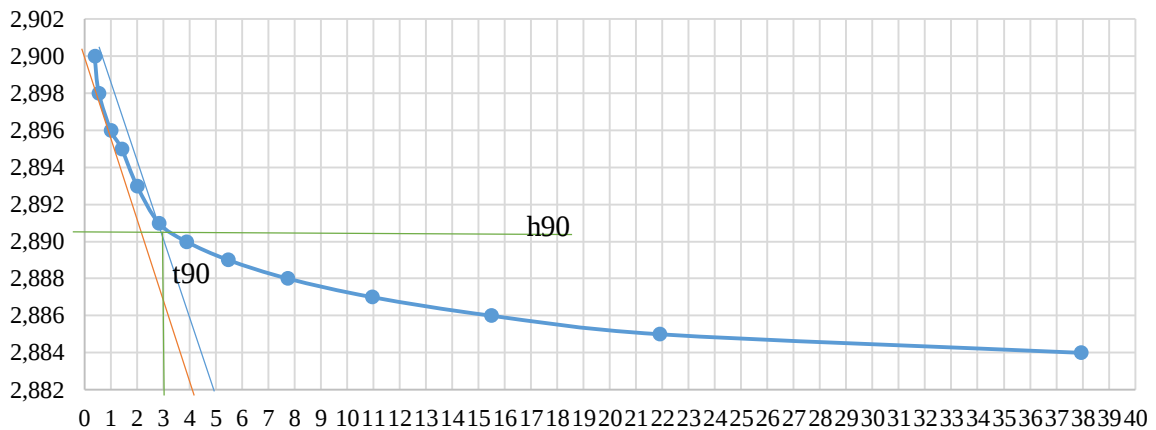
AMOSTRA 03 - (Cv) POR TAYLOR – CARREGAMENTO DE 160 kPa.



AMOSTRA 03 - (Cv) POR TAYLOR – CARREGAMENTO DE 320 kPa.

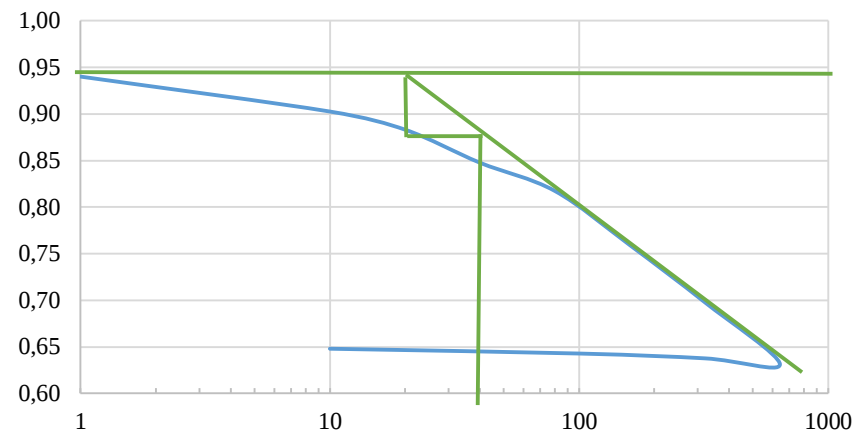


AMOSTRA 03 - (Cv) POR TAYLOR – CARREGAMENTO DE 640 kPa.

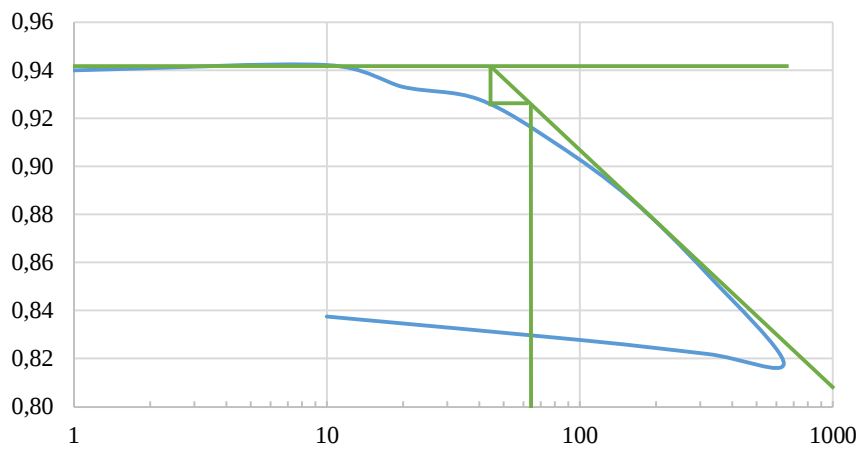


APÊNDICE C: DETERMINAÇÃO DA TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO

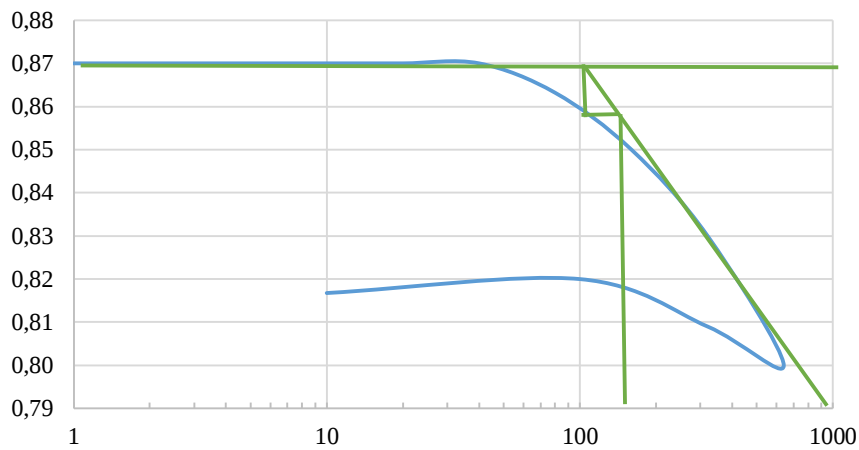
AMOSTRA 01 - TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO POR PACHECO SILVA.



AMOSTRA 02 - TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO POR PACHECO SILVA.

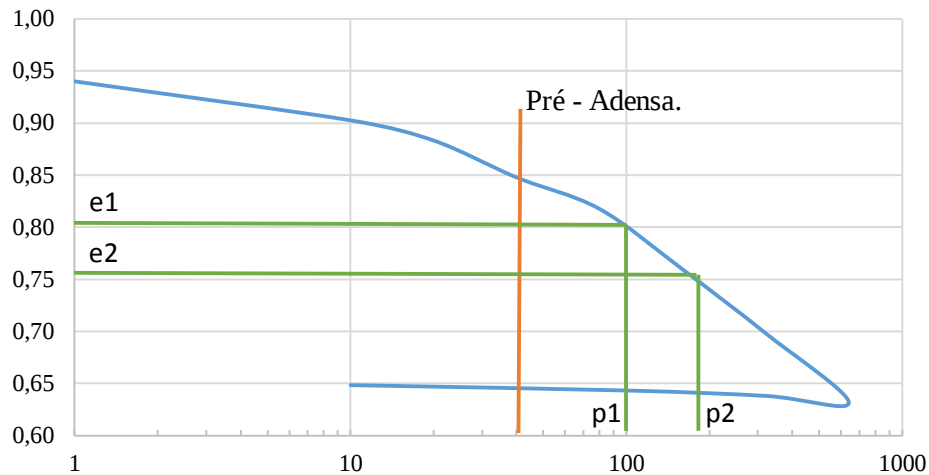


AMOSTRA 03 - TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO POR PACHECO SILVA.



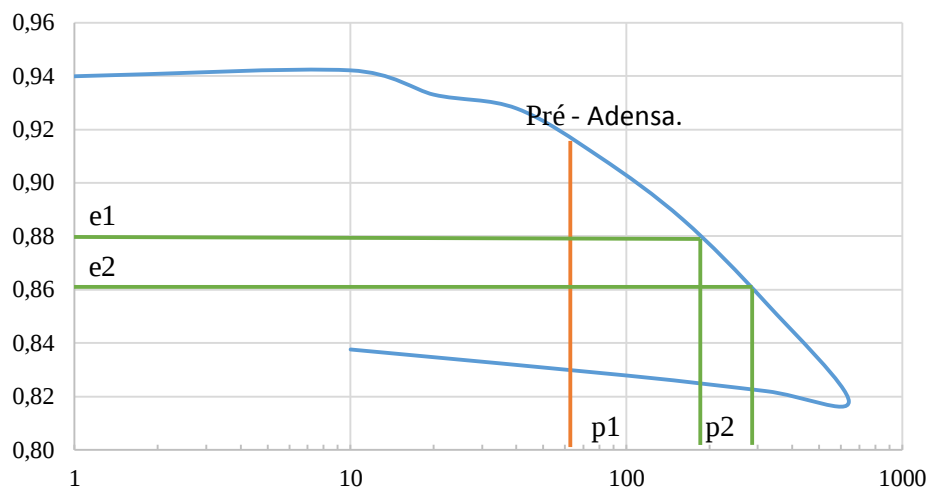
APÊNDICE D: DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE COMPRESSÃO

AMOSTRA 01 - DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE COMPRESSÃO.



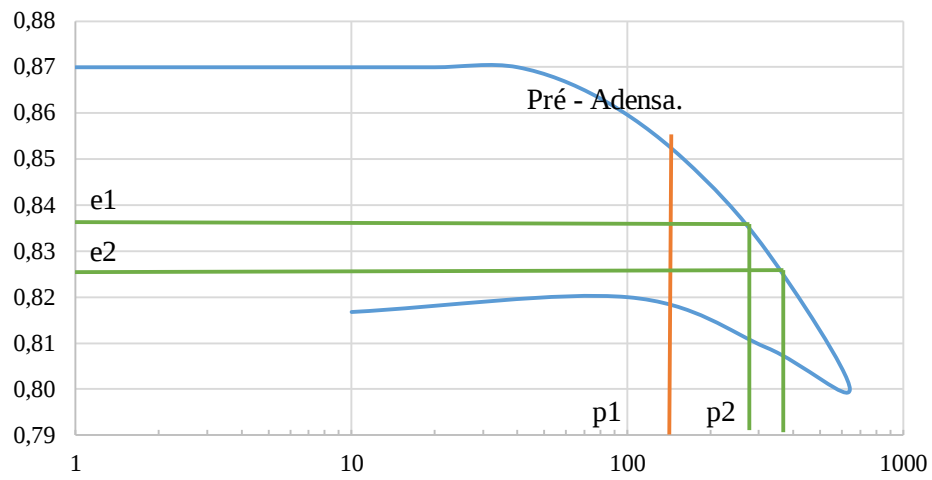
$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1} = C_c = \frac{0,80 - 0,75}{\log 190 - \log 100} = C_c = 0,1793$$

AMOSTRA 02 - DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE COMPRESSÃO.



$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1} = C_c = \frac{0,88 - 0,86}{\log 290 - \log 190} = C_c = 0,1089$$

AMOSTRA 03 - DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE COMPRESSÃO.



$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1} = C_c = \frac{0,835 - 0,825}{\log 3800 - \log 280} = C_c = 0,0754$$