



Variabilidade dos Parâmetros de Deformabilidade do Solo de Cascavel/PR ao Longo da Profundidade

Maycon André de Almeida

Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, Cascavel, Brasil, mayconalmeida@creapr.org.br

Érick Succi Silva

Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, Cascavel, Brasil, edussengenharia@gmail.com

Carlos Eduardo de Sousa

Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, Cascavel, Brasil, edussengenharia@gmail.com

RESUMO: Para a implantação de fundações rasas em edificações, é necessário o conhecimento de parâmetros do solo que refletem seu comportamento quanto a possíveis recalques após o carregamento. Diante do exposto, o presente artigo apresenta um estudo sobre a colapsibilidade do solo da região de Cascavel/PR, com o intuito de avaliar o comportamento do solo sobre atuação de cargas. Foram realizados 9 ensaios de adensamento unidimensional de acordo com os padrões estabelecidos pela ABNT NBR 12007 (1990) e DNER (1994), sendo 5 amostras indeformadas coletadas da profundidade 1,5 m e 3 da profundidade 12 m, a partir de um poço de inspeção. Através dos ensaios oedométricos foi possível determinar um índice de compressão médio (C_c) de 0,20 para e um coeficiente de adensamento (C_v) de 6.10^{-3} cm²/s para as duas profundidades, além de ser possível comprovar o efeito de compressibilidade nos corpos de prova devido a uma variação de deformação sob tensão constante de 22% aproximadamente.

PALAVRAS-CHAVE: Adensamento, Colapsibilidade, Caracterização geotécnica.

1 INTRODUÇÃO

Em seu estado natural o solo é composto por diversas variáveis estando ligadas diretamente com a localização geográfica. O solo deve possuir capacidade de carga suficiente para aguentar a transferência das cargas das edificações, sem que ocorra deslocamento. Ao receberem essas tensões impostas pelas fundações, os solos acabam sofrendo deformações (recalques), principalmente quando a água está presente ou surge após chuvas.

Para a obtenção de parâmetros que possibilitem determinar o comportamento e prever o recalque utiliza-se ensaios laboratoriais. O ensaio oedométrico desenvolvido por Karl Von Terzaghi é o método mais utilizado para determinar esse comportamento (PINTO, 2006). As normas que abordam este ensaio são a antiga

ABNT NBR 12007 (1970) e a DNER (1994).

Segundo Pinto (2006), o recalque que os solos sofrem quando submetidos a tensões está diretamente relacionado com a compressibilidade do solo. A variação do índice de vazios é um dos fatores responsáveis pelas deformações volumétricas sofridas pelos solos quando submetidas a cargas provenientes da fundação de obras.

A importância da análise do solo tem como principal função minimizar erros no dimensionamento de fundações e reduzir a incidência de recalques provocados pelas tensões geradas por edificações. A análise do potencial de colapso do solo é um fator muito importante a se verificar nesses solos, pois dita, em maior parte das vezes, o comportamento de solos não saturados (JENNINGS & KNIGHT, 1975).



O presente artigo teve como objetivo investigar a colapsibilidade do solo de Cascavel/PR e realizar ensaios de adensamento com amostras indeformadas com inundação preliminar das profundidades de 1,5 m e 12 m, coletadas do Campo Experimental do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEF) na cidade de Cascavel/PR.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Adensamento de solos

Conforme Rebello (2008), denomina-se recalque a deformação que ocorre no solo quando submetido a cargas. Essa deformação provoca movimentação na fundação, que dependendo da intensidade pode resultar em sérios danos à superestrutura. Para Milititsky *et al.* (2005), os danos causados por recalques podem ser divididos em três grupos: visuais e estéticos (sem risco a qualquer natureza); danos comprometendo o uso e funcionalidade do prédio; e danos estruturais pondo em risco a segurança dos usuários.

O recalque por adensamento tem origem pela variação volumétrica do solo em consequência da expulsão da água dos vazios do solo. Em solos coesivos os recalques são lentos por se tratar de um material de baixa permeabilidade, argila (CAPUTO, 1988).

Segundo Rebello (2008), a deformação por adensamento ocorre devido à redução no volume aparente do maciço do solo, causada pelo fechamento dos vazios deixados pela água expulsa pela pressão que as cargas exercem sobre a fundação. Pinto (2006) afirma que o recalque por adensamento ocorre devido à expulsão da água dos vazios do solo, sendo o único que pode ser tratado pela teoria do adensamento. Para o cálculo separa-se a camada de fundação em subcamadas correspondentes aos dados disponíveis de ensaios de adensamento.

Os recalques em solos colapsíveis ocorrem em solos com grande porosidade, pois ao entrar

em contato com água, esse tipo de solo tem rompida a ligação entre suas partículas, sofrendo perda de resistência imediata da sua estrutura, o que ocasiona um recalque significativo e perigoso (REBELLO, 2008).

São solos que, quando submetidos a um determinado tipo de carregamento (por exemplo, peso de uma edificação) e umedecidos por infiltração de água de chuva ou vazamentos, sofrem uma espécie de colapso em sua estrutura. Este tipo de recalque é chamado de “colapso” e o solo é classificado como “colapsível”. As causas do colapso são trincas e fissuras, podendo causar sérios danos e o comprometimento estrutural nas edificações e sua posterior interdição.

De acordo com Rebello (2008), para um solo entrar efetivamente em colapso, duas condições básicas devem ser atendidas, a elevação do teor de umidade (que ocorre a partir da chuva, vazamentos, etc.) e a atuação de um estado de solicitações externas (uma edificação). Portanto, os solos colapsíveis apresentam uma grande sensibilidade à ação da água, ou seja, o aumento do teor de umidade ou grau de saturação do solo é o mecanismo deflagrador do colapso.

2.2 Ensaio de adensamento

O estudo de compressibilidade dos solos é normalmente efetuado utilizando-se o oedômetro, desenvolvido por Terzaghi para o estudo das características de compressibilidade e taxa de compressão do solo com o tempo. A Figura 1 apresenta o aspecto do recipiente do aparelho em que é colocada a amostra.

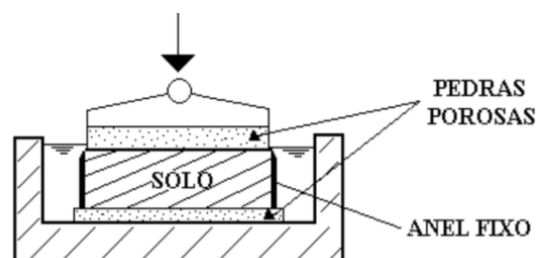


Figura 1. Oedômetro utilizado nos ensaios



O ensaio consiste na compressão de uma amostra de solo, compactada ou indeformada, pela aplicação de valores crescentes de tensão vertical, sob a condição de deformação radial nula.

Segundo DNER (1994), o objetivo do ensaio de adensamento é determinar as características compressíveis do solo através da velocidade e a intensidade das deformações, quando o solo é lateralmente confinado e axialmente carregado e drenado.

De acordo com Gutierrez (2003), existem duas maneiras de se comprovar colapsibilidade: o ensaio de adensamento duplo ou simples. Jennings e Knight (1957) realizaram o ensaio duplo, no qual dois corpos de provas talhados congêneres são ensaiados ao mesmo tempo, sendo ambos submetidos a tensão de 1 kPa, permanecendo sobre a ação da mesma até a estabilização de suas deformações. Em seguida um dos corpos de prova é inundado enquanto o outro mantém suas características originais.

Já o ensaio de adensamento simples é executado de maneira semelhante ao processo duplo, com apenas um corpo de prova, em seu teor de umidade natural. Após aplicação da tensão de inicial, inunda-se a o corpo de prova após estabilização das amostras e realiza-se a leitura de suas deformações extras (colapso). Após estabilização das mesmas, deve-se continuar a aplicação de tensões até a tensão máxima do ensaio, após último estágio de aplicação de carga realiza-se o descarregamento e então elabora-se curva de adensamento como na Figura 2.

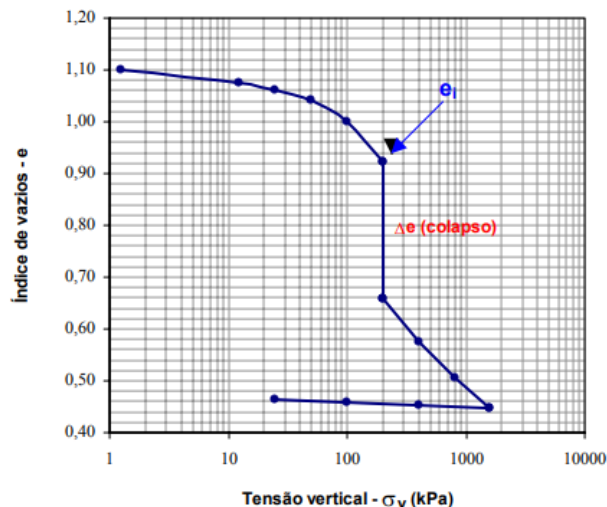


Figura 2. Identificação do colapso ensaio simples

A curva para identificação do recalque pode ser estabelecida com os parâmetros de sua deformação volumétrica pelo tempo, como apresentado por Borges *et al.* (2016), e conforme Figura 3.

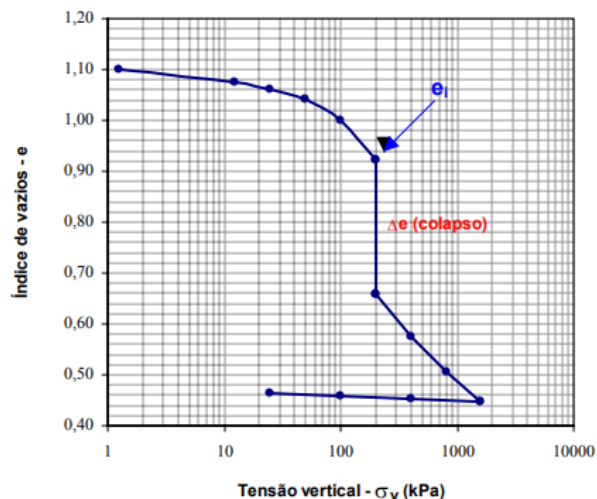


Figura 3. Gráfico de deformação volumétrica

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do solo de Cascavel/PR

O solo do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEF) foi caracterizado por Zen e Almeida (2018). Os



autores obtiveram, através de ensaios de granulometria conjunta, ao longo da profundidade e de acordo com a ABNT NBR 7181 (2016), para a cota -1,5 m a porcentagem de 71,86% de argila, 25,47% de silte e 2,67% de areia. Desse modo, foi determinado que o solo do CEEF é classificado como uma Argila Silto Arenosa. Já pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) é classificado como CH, o que caracteriza solos argilosos muito compressíveis. Já no Sistema Rodoviário (*Transportation Research Board - T.R.B*), foi classificado como A-7-6, que engloba solos de aplicação regular a má para pavimentação por terem porcentagens altas de finos.

Zen e Almeida (2018) realizaram também ensaios de sondagem a percussão do tipo Standard Penetration Test (SPT) para determinar as características de resistência e os índices físicos do solo do CEEF. Os principais índices físicos das duas camadas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios dos índices físicos do CEEF.

VALORES MÉDIOS	CAMADA 1	CAMADA 2
	1 a 9 metros	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

3.2 Coleta e execução de ensaios

Para a presente pesquisa, os dados foram obtidos através de ensaio de adensamento unidimensional na prensa de adensamento. Foram coletadas 8 amostras do CEEF, com um anel coletor rígido de 10 cm de diâmetro e 3 cm de altura, verificados através do uso de paquímetro, sendo 3 da cota -1,50 metros, 3

amostras da cota -12 metros, além de 2 amostras da cota -1,50 metros afim de avaliar o efeito da colapsibilidade do solo (Figura 4).

Em todos os casos não houve deformação na amostra, preservando assim suas características do ambiente. O anel rígido procura simular em laboratório as condições do solo em seu ambiente natural para obtenção de maior precisão, onde a deformação lateral será impedida pela peça de ocorrer assim como no ambiente de obra.



Figura 4. Coleta de amostra em campo e preparada para ensaio de adensamento em laboratório

Pinto (2006) afirma que, mesmo a amostra tendo uma altura relativamente baixa, devido ao atrito do solo com o anel lateral, não é necessário levar em consideração. O atrito entre o anel e o solo pode atingir valores na ordem de 10 a 20% da pressão vertical aplicada na amostra sendo assim alguns laboratórios utilizam alturas inferiores a comumente usada.

Após a preparação da amostra e determinação dos índices físicos das amostras, como massa específica natural (γ_n), teor de umidade (w), índices físicos (e) e massa específica seca (γ_d), o corpo de prova foi inserido na câmara de ensaio.

Como o solo utilizado é considerado um solo mole, foi inicialmente 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 e, imediatamente após a aplicação da carga, fez-se a inundação do corpo de prova por um período de 24 horas, atendendo a antiga ABNT NBR



12007 (1990) e DNER (1994). As demais tensões aplicadas foram de 20, 40, 80, 160, 320 e 640kPa, 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, 1hr, 2 hrs, 4 hrs, 8 hrs, 16 hrs e 24 hrs, conforme DNER (1994). O esquema do ensaio pode ser visto na Figura 3.

A carga vertical foi aplicada através da pedra porosa superior por meio de um disco metálico e a compressão sofrida pelo solo foi medida através de um extensômetro que possui uma sensibilidade em 0,01mm.



Figura 3. Ensaio de adensamento sendo realizado

Concluído a coleta de dados de todas as pressões foi realizado o descarregamento do corpo de prova em 3 estágios, realizando as leituras de expansão do corpo de prova, devido ao alívio de pressão.

3.3 Ensaio para comprovar colapsibilidade

Foram realizados 2 ensaios com amostras da cota -1,50 metros para comprovação da colapsibilidade do solo de Cascavel/PR. O ensaio foi iniciado normalmente para as 2 amostras, até os carregamentos de 160 kPa e

320 kPa, respectivamente, para cada amostra, e ao alcançar esses carregamentos, aguardou-se a estabilização das deformações da amostra por 24 horas.

Após as 24 horas foi realizada a inundação dos corpos de prova com um fluxo ascendente durante um período de 24 horas e realizada na sequência a leitura de suas deformações (colapso). Ao ocorrer a estabilização da amostra, levou-se o ensaio até o final normalmente, obtendo a curva de adensamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio de adensamento

Os índices físicos determinados antes do ensaio, para cada uma das amostras, podem ser verificados na Tabela 2. A massa específica seca (γ_s) determinada por Zen e Almeida (2018), e utilizada nos cálculos, foi de 2,70 g/cm³.

Tabela 2. Dados obtidos antes da inundação

Amostras superficiais (-1,5 m)	γ_n (g/cm ³)	w (%)	e_0	γ_d (g/cm ³)
01	1,65	31,69	1,13	1,25
02	1,58	33,97	1,26	1,18
03	1,62	32,86	1,19	1,22
Amostras Profundidade (-12 m)	γ_n (g/cm ³)	w (%)	e_0	γ_d (g/cm ³)
01	1,65	47,97	1,50	1,11
02	1,65	55,43	1,63	1,06
03	1,40	57,19	2,13	0,89

Na Tabela 3 são apresentadas as deformações máximas registradas nos corpos de prova, assim como a redução de altura proporcional à altura inicial do corpo de prova de 30 mm, em porcentagem.



Tabela 3. Deformações e reduções de altura dos CPs

Amostras superficiais (-1,5 m)	Altura CP após Recalque (mm)	Deformação (%)
01	19,14	36,20
02	18,17	39,43
03	18,76	37,47
Amostras em Profundidade (-12 m)	Altura CP após Recalque (mm)	Deformação (%)
01	21,77	27,43
02	24,65	17,83
03	21,03	29,90

Após cada incremento de tensão durante o ensaio, determinaram-se os novos índices de vazios em cada estágio, considerando as deformações ocorridas nos corpos de prova. Após obtenção dos índices de vazios para cada estágio de carregamento, normalizou-se o valor do índice de vazios inicial (e_0) das amostras para 1,0, a fim de gerar curvas de adensamento proporcionais entre os corpos de prova e desconsiderar assim possíveis distorções iniciais da estrutura das amostras.

As curvas de adensamento dos corpos de prova foram determinadas relacionando os índices de vazios e as respectivas tensões efetivas atuantes em cada estágio de carregamento. As curvas de adensamento referentes aos ensaios de adensamento com as amostras da superfície (1,50m) são apresentadas na Figura 4.

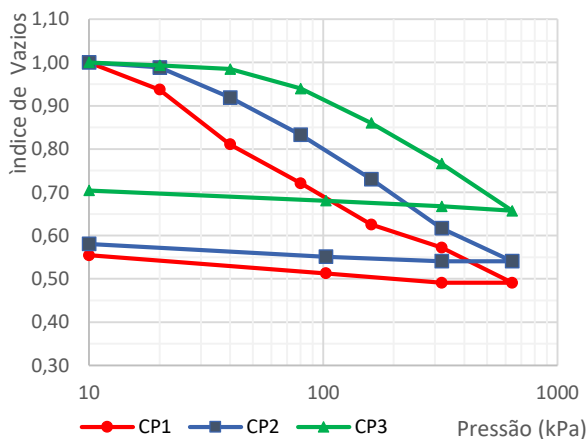


Figura 4. Curvas de adensamento para amostras da superfície (1,50 metros)

Verifica-se boa concordância entre as amostras ensaiadas, com resultados próximos, e pequena distorção do ensaio 3 com relação aos demais ensaios. Já as curvas referentes aos ensaios de adensamento com as amostras em profundidade (12 m) podem ser verificadas na Figura 5.

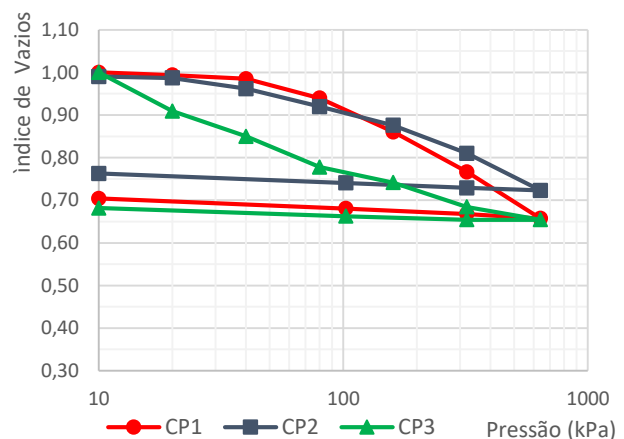


Figura 5. Curvas de adensamento para amostras em profundidade (12 metros)

Verifica-se que a curva de adensamento do corpo de prova 3 apresentou dispersão com relação as demais amostras, provavelmente devido algum erro durante o ensaio. Sendo, portanto, desconsiderada para efeito de determinação de parâmetros.

Com a determinação das curvas de adensamento foi possível determinar também a tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}), o índice de compressão (C_c) e o coeficiente de adensamento (C_v).

4.2 Parâmetros de adensamento

O valor de tensão que separa os trechos de recompressão e compressão virgem do solo na curva é denominado tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}), e representa a maior tensão já resistida pelo solo. 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 (PINTO, 2006).

Após determinação das curvas de adensamento das amostras, foram aplicados os métodos gráficos de Casagrande e Pacheco e Silva, resultando nas tensões de pré-adensamento (σ'_{vm}) apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Tensões de pré-adensamento determinadas para cada ensaio, para os dois métodos

Amostras superficiais (-1,5 m)	σ'_{vm} Casagrande	σ'_{vm} Pacheco e Silva
01	40,15 kPa	28,55 kPa
02	59,13 kPa	57,75 kPa
03	50,83 kPa	50,86 kPa
Amostras Profundidade (-12 m)	σ'_{vm} Casagrande	σ'_{vm} Pacheco e Silva
01	88,97 kPa	88,97 kPa
02	98,62 kPa	99,08 kPa
03	31,25 kPa	33,28 kPa

Verificou-se que os dois métodos resultaram em valores muito próximos, sendo que o valor médio de σ'_{vm} para o solo superficial foi de 55,14 kPa (foi desconsiderado o primeiro corpo de prova devido a variação que apresentou com relação aos demais) e de 93,91 kPa para as amostras em profundidade (desconsiderando o corpo de prova 3 que também apresentou dispersão).

O trecho de recompressão é caracterizado pelo comportamento menos compressível do solo, indicado pela 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 de adensamento (PINTO, 2006).

O índice de compressão (C_c) foi determinado pela relação entre a variação do índice de vazios pelas tensões verticais efetivas atuantes no trecho de compressão virgem. O valor médio determinado para as amostras superficiais foi de

0,20, enquanto que para as amostras em profundidade foi de 0,16.

O coeficiente de adensamento (C_v) é a relação entre a deformação ocorrida em um elemento em uma certa posição ou profundidade z , em um determinado instante de tempo t , e a deformação deste elemento quando todo o processo de adensamento tiver ocorrido (PINTO, 2006). Para o cálculo do coeficiente de adensamento pode-se utilizar dois processos: Casagrande ou Taylor.

Para a presente pesquisa, foi utilizado o método de Casagrande, que consiste em, para cada incremento de carga, desenhar a curva de adensamento sendo marcada 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 a intersecção das retas tangentes aos ramos da curva que definem as compressões primárias e secundárias e, em seguida, transportou-se o ponto encontrado para o eixo das ordenadas, obtendo-se a altura H_{100} . Os valores determinados podem ser verificados na Tabela 5.

Tabela 5. Coeficientes de adensamento (C_v), determinados para os corpos de prova ensaiados, através do método de Casagrande

	C_v (cm ² /s) Cota -1,5 m	C_v (cm ² /s) Cota -12,0 m
01	$6,4 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
02	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$
03	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-3}$

Optou-se por não utilizar o método de Taylor, pois foram encontradas dificuldades em marcar o ponto no eixo das ordenadas passando muitas vezes da altura do corpo de prova (3 cm), impossibilitando assim sua marcação.

4.3 Comparativo de ensaio com e sem pré-inundação

Junior e Almeida (2017) apresentaram resultados de ensaios de adensamento realizados com amostras indeformadas, coletadas da cota -1,5 m, sob 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. A Figura 6 apresenta as curvas de adensamento obtidos por Junior e Almeida (2017) comparadas às determinadas no presente trabalho.

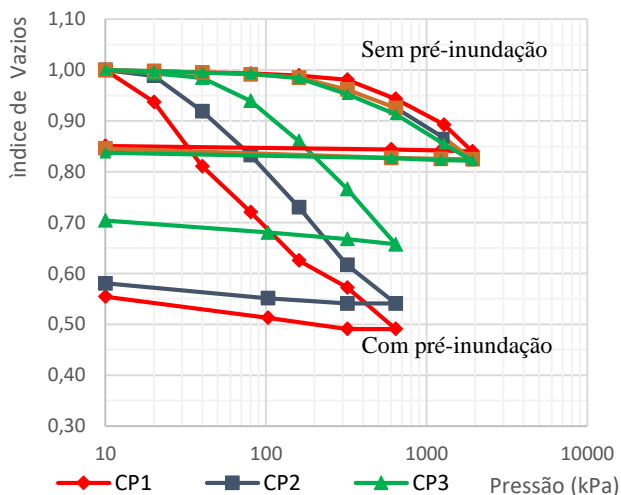


Figura 6. Curvas de adensamento determinadas para amostras superficiais indeformadas com e sem pré-inundação

O valor médio do índice de compressão (C_c) determinado por Junior e Almeida (2017) foi de 0,28, sendo superior ao encontrado com pré inundação no mesmo solo (0,20), porém em condições de pré-inundação.

De acordo com Futai e Almeida (2002), a mudança de rigidez dos solos residuais é função da resistência entre partículas do solo e da interligação dos minerais. Para o coeficiente de adensamento (C_v), verifica-se uma diferença entre os valores com média de 0,028 para Junior e Almeida (2017) e para o experimento apresentado nesse trabalho determinou-se um valor de 0,0054 (média), mostrando assim que o aumento da rigidez reflete na velocidade de recalque (C_v).

Junior e Almeida (2017) apresentam um valor médio de 460 kPa para a tensão de pré-adensamento, enquanto o presente trabalho determinou uma tensão de pré-adensamento média de 50 kPa. Esta diferença se dá basicamente por que o solo em condição natural

apresenta cimentações, forma de agregação das partículas do solo por agentes cimentantes como o carbonato de cálcio, sílica, óxidos de ferro e alumínio (Zen e Almeida, 2018). Essas tensões de pré-adensamento em solos naturais são reduzidas quando o solo é inundado, ou seja, quando a água não está presente o solo apresenta uma resistência.

Conclui-se que, com a pré saturação das amostras, tem-se uma maior redução dos índices de vazios por processos mecânicos do que com a amostra no estado natural, comprovando assim um elevado grau de deformação devido à característica laterítica e colapsível do solo da cidade de Cascavel/Pr.

4.1 Análise da colapsibilidade

A colapsibilidade é consequência do arranjo estrutural dos solos e que por sua vez é resultado direto de sua química e mineralogia, originada basicamente durante evolução intempérica. O fenômeno do colapso esta normalmente associado a solos que apresentam estruturas porosas com índices de vazios elevados e baixo peso específico seco. Entretanto, alguns solos compactados, quando umedecidos, sob certas condições de carregamento, podem exibir recalques adicionais (colapso) (GUTIERREZ, 2005).

O ensaio para identificar a ocorrência da colapsibilidade consistiu em coletar 2 amostras superficiais (cota -1,5m) e indeformadas, e realizando o ensaio de adensamento com pré-inundação normalmente, inundar os corpos de prova em 2 níveis diferentes de tensão (160 kPa e 320 kPa respectivamente para os dois corpos de prova). O procedimento de leitura do extensômetro da altura do corpo de prova foi imediatamente antes do carregamento (no tempo zero) e após inundação sob tensão constante, nos intervalos de tempo de 15 e 30 segundos, 1, 2, 4, 8, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 8 e 24 horas.

Sabendo que o colapso do solo é um fenômeno que causa um recalque muito rápido, principalmente devido a uma grande variação no seu índice de vazios ocasionado pelo aumento da



umidade, o presente ensaio teve o intuito de expor o momento em que o colapso ocorre, através da identificação da colapsibilidade.

Na Figura 7 pode-se observar a variação no volume da amostra quando realizada a inundação dos corpos de prova, para as tensões de 160 e 320 kPa, após o instante de 1440 minutos (24 horas após estabilização dos níveis de tensões), identificando o colapso.

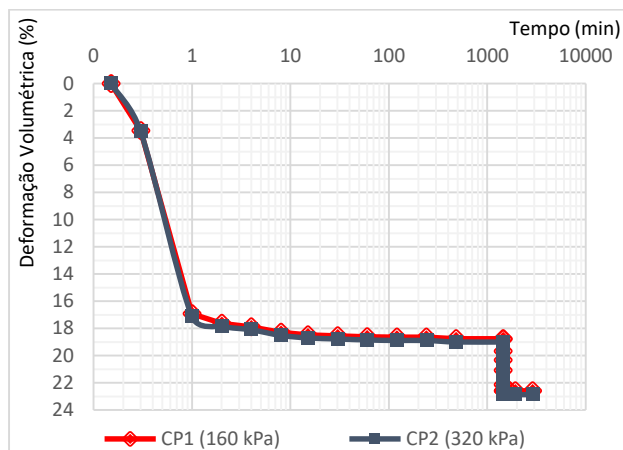


Figura 7. Curvas de deformações volumétricas.

A Figura 8 deixa claro o momento em que ocorre a colapsibilidade do solo, através da apresentação das curva de adensamento das amostras ensaiadas. Verificou-se uma redução localizada do índice de vazios no estágio de tensão em que foi inserido água no corpo de prova, sem aumento de carregamento.

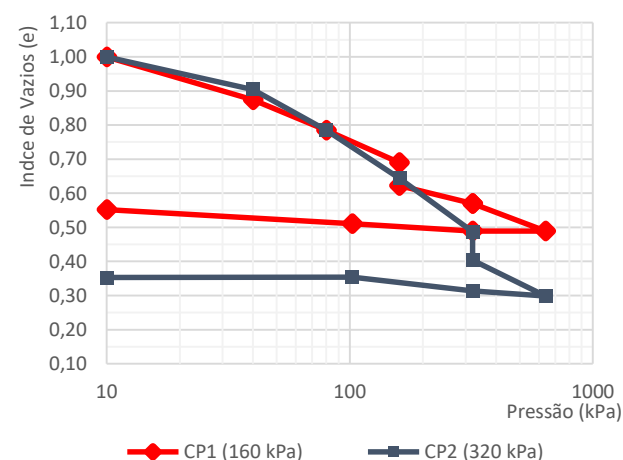


Figura 8. Curva de adensamento com identificação do colapso

Verifica-se que as curvas perdem seu seguimento e sofrem uma queda nos seus índices de vazios comprovando a definição de colapso ditas por Rodrigues e Lollo (2008).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio de adensamento, ou propriamente dito ensaio oedométrico, é uma grande ferramenta para análise do comportamento dos solos quanto a sua deformabilidade, como por exemplo o solo da região de Cascavel, que apresenta característica laterítica e compressível, como abordado por Zen e Almeida (2018).

Com os ensaios realizados, obteve-se os índices físicos de cada amostra, seus parâmetros de compressibilidade, as tensões de pré-adensamento, além de comprovar a colapsibilidade para as duas profundidades analisadas.

As tensões de pré-adensamento, determinadas pelos métodos Pacheco e Silva e pelo método de Casagrande, apresentaram valores médios de 46 kPa e 50 kPa para cota -1,5m e, 74 kPa e 73 kPa, para cota -12m, respectivamente. Já o índice de compressão (C_c) médio determinado pelas curvas de adensamento foi de 0,20 para o solo superficial e 0,16 para o solo da cota -12 metros.

Observou-se a importância da consideração do colapso em um solo para dimensionamento de fundações. Os recalques das amostras superficiais saturadas foram em média 38% da altura inicial do corpo de prova, o que para execução de fundações superficiais é um valor consideravelmente alto, indicando o potencial compressível do solo analisado.

Também foi possível comprovar a característica colapsível do solo de Cascavel, através da inundação de corpos de prova após estabilização das deformações sob 3 diferentes níveis de tensões aplicadas, verificando uma redução acentuada do índice de vazios sob uma tensão constante aplicada. Justifica-se assim a opção regional de utilização de fundações profundas, a fim de evitar adensamento de



camadas superficiais de solo e, conseqüentemente, patologias em edificações.

É interessante que novos ensaios sejam realizados de modo a confirmar os resultados obtidos e melhorar o coeficiente de variação das amostras, possibilitando a obtenção de dados mais precisos para estimativas de recalques de obras que venham a utilizar fundações rasas.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 12007 (1990). *Ensaio de Adensamento Unidimensional*, Rio de Janeiro. (Descontinuado)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 7181 (2016). *Análise Granulométrica*, Rio de Janeiro.
- Borges, J.; Torres, M. S.; Veríssimo, K. J. S.; Freitas, M. L. A. A. e Ferreira, S. R. M. (2016). *Estudo do efeito da inundação na variação de volume, na resistência de ponta e no módulo de elasticidade de um solo colapsível do Semiárido de Pernambuco*. Matéria (Rio J.) vol.21 no.4 Rio de Janeiro Out/Dec.
- Caputo, H. P. (1988). *Mecânica dos Solos e suas aplicações*. Ed. LTC. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1994). *Instrução de Ensaio 005 – Solos: Adensamento*. 19 p.
- Futai, M. M. e Almeida, M. S. S. (2002). *Collapsible soil: a theoretical and experimental studies*. The electronic journal of geotechnical engineering, EUA, v. 7.
- Gutierrez, N. H. M. (2005). *Influências de aspectos estruturais no colapso de solos do norte do Paraná*. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.
- Junior, M. T. e Almeida, M. A. (2017). *Determinação dos Parâmetros de Adensamento de Solo Superficial e Laterítico de Cascavel/PR*. Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro Oeste, 2017, Goiânia. GEOCENTRO. Goiânia: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, v. 1. p. 145-149.
- Jennings, J. E. e Knight, K. (1957). *The additional settlement of foundations due to a collapse of structure of sandy subsoils on wetting*. In: International Conference On Soil Mechanics And Foundation Engineering, 4, Londres, Proceedings, v.1, p.316-319.
- Milititsky, J.; Consoli, N. C.; Schnaid, F. (2005) *Patologia das Fundações*, Editora Oficina de Textos São Paulo.
- Pacheco e Silva, C. S. (1970). *Shearing Strength of a soft clay Deposit near Rio de Janeiro*. Geotechnique, v.3, pp. 300-305.
- Pinto, C. S. (2006). *Curso Básico de Mecânica dos Solos, em 16 Aulas*. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- Rebello, Y. C. P. (2008). *Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento*. São Paulo: Zigue Editoria.
- Rodrigues, R. A. e Lollo, J. A. D. (2008). *Características dos Solos Colapsíveis*. In: LOLLO, J. A. D. (Org.). Solos Colapsíveis – Identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, p. 59-72.
- Zen, B. A. B. e Almeida, M. A. (2018). *Implantação e Caracterização Geotécnica do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz em Cascavel/PR*. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica COBRAMSEG. Salvador -BA.