



**Prof. : Emílio F. Vaz**  
**Aula: Adensamento em solos**

## O que é Compressibilidade?

“Compressibilidade é a diminuição do volume sob a ação de cargas aplicadas”

A deformação na maioria dos solos é muito maior do que a de materiais estruturais e pode ser produzida imediatamente ou ao longo do tempo.



Torre de Pisa



Prédios no litoral de Santos

- Tipos de deformações no solo:
  - volume; e
  - forma.
- Volume (Compressão)
  - O solo varia de volume mantendo sua forma constante.
- Forma (Distorção)
  - O solo muda de forma mantendo seu volume constante.

- Processo de adensamento.

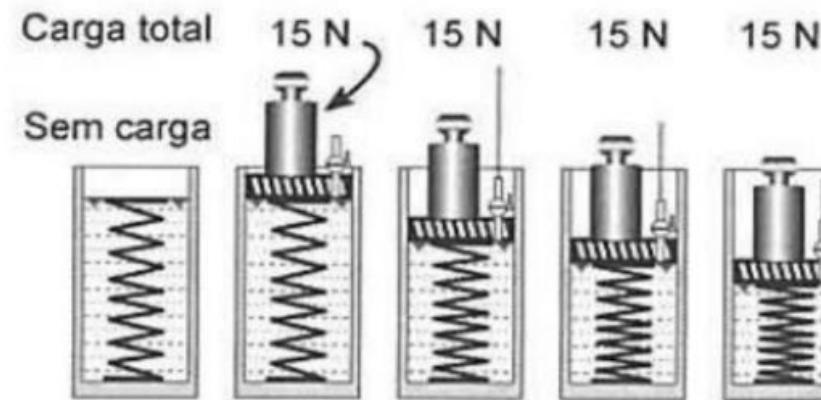
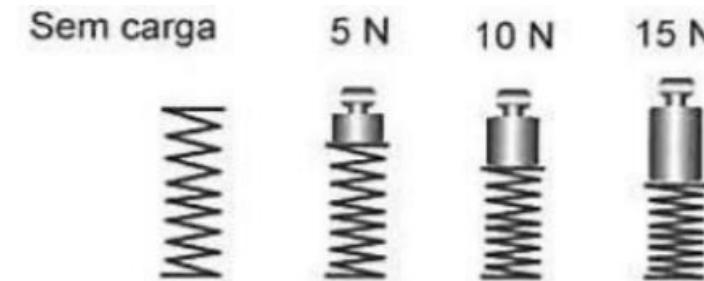
“A variação do volume do solo é resultante da variação do volume dos vazios”

A variação de volume das partículas sólidas devido a cargas usuais é extremamente pequena, portanto considerada desprezível.

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$

## Analogia Mecânica de Terzaghi

- Mola = Estrutura do solo;
- Água = Água dentro do solo
- Válvula de abertura = Permeabilidade do solo



Carga suportada pela água	0	15	10	5	0
Carga suportada pela mola	0	0	5	10	15
Porcentagem de adensamento		0	33	67	100

**UECE, DETRAN/CE, 2018** - O solo é constituído por um esqueleto de grãos sólidos ou sua macroestrutura, que contém em seus interstícios água e ar. A presença destes interstícios constitui um maior ou menor grau de porosidade do solo, o que lhe confere uma característica de compressibilidade. Com a aplicação de sobrecargas oriundas de fundações das obras de engenharia sobre os solos compressíveis, podem vir a ocorrer recalques, que são deslocamentos verticais descendentes destes elementos construtivos, acarretando os chamados recalques diferenciais, que podem causar danos às estruturas. Considerando os diferentes tipos de recalques, é correto afirmar que

- (A) recalque por adensamento é aquele que ocorre em solos granulares e resulta da dissipação do excesso de poro pressão inicial com a transferência de carga ao esqueleto sólido. Pode ocorrer em um longo período de tempo.
- (B) recalque secundário é aquele que ocorre sob tensão variável, provocando a quebra dos grãos de argila, porém, sendo preponderante nas areias de granulometria uniforme. Ocorre normalmente em longos períodos de tempo.

(C) recalque imediato é aquele que ocorre logo após a aplicação do carregamento ou sobrecarga, com parcela predominante nas areias, por serem solos de elevada permeabilidade. Nos solos finos saturados pode ocorrer por deformação a volume constante.

(D) recalque por adensamento é o produto da compressibilidade do solo, que se constitui em fenômeno puramente mecânico, não havendo nenhuma relação com a composição iônica do fluido intersticial, ou seja, a água presente nos poros do seu esqueleto sólido.

Gabarito: C

• **IBFC, Policia Científica: Perito Criminal, 2017**

O estudo de recalques nos solos devido a fundações apresenta importância no desempenho das edificações. A respeito do conceito de recalques, analise as afirmativas.

- I. Recalque imediato pode ser calculado pela teoria da elasticidade.
- II. Recalque por adensamento primário ocorre em solos de baixa permeabilidade (argilosos saturados), quando a pressão geostática efetiva inicial, somada ao acréscimo da pressão decorrente da fundação, é superior à pressão de pré-adensamento.

III. Recalque por adensamento secundário ocorre após o primário, sendo verificado que, após a dissipação das pressões neutras, devidas ao carregamento da fundação no solo, este, sob a ação da carga efetiva constante, continua a se deformar.

Assinale a alternativa correta.

- a) Estão corretas as afirmativas I, II e III
- b) Estão corretas as afirmativas I e III, apenas
- c) Está correta a afirmativa III, apenas
- d) Estão corretas as afirmativas I e II, apenas
- e) Estão corretas as afirmativas II e III, apenas

Gabarito: A

- Hipóteses necessárias:

- Solo Saturado;
- Compressão é unidimensional;
- Fluxo é unidimensional;
- Solo homogêneo;
- Partículas sólidas e água são incompressíveis ;
- Lei de Darcy é válida;
- Propriedades do solo não variam durante o processo de adensamento; e
- Índice de vazios varia linearmente com a tensão efetiva.

**FEMPERJ, TCE/RJ, 2012** - Determinada rodovia atravessa uma região de depósitos sedimentares, com ocorrência de argilas muito moles, saturadas. Nesse trecho, o greide será elevado, mediante a construção de um aterro. A alternativa de remoção do solo mole foi descartada, por questões ambientais, uma vez que a área de bota-fora encontrava-se muito distante. Para equacionar os problemas de ruptura e recalques por adensamento, optou-se pela execução de bermas de equilíbrio, executadas em ambos os lados do aterro principal e drenos verticais, constituídos de geocompostos, atravessando toda a camada de solo mole. Considere as afirmativas a seguir.

- I. Os drenos destinam-se a facilitar a saída de água da argila, acelerando a ocorrência dos recalques.
- II. Os drenos destinam-se a facilitar a saída de água da argila, retardando a ocorrência dos recalques.
- III. Os drenos destinam-se a enrijecer a camada de argila mole, aumentando a segurança em relação à ruptura.
- IV. As bermas destinam-se a distribuir melhor as tensões verticais sobre a camada de argila mole, o que promove a diminuição dos recalques totais.
- V. As bermas funcionam como um contrapeso e aumentam a segurança em relação à ruptura.

Estão corretas somente as afirmativas:

- (A) I e IV;
- (B) I e V;
- (C) II e IV;
- (D) II e V;
- (E) III e IV.

**GABARITO B**

**FCC, TRT, 2013** - O tratamento de solos moles consiste na execução de um ou mais procedimentos com o objetivo de melhorar a resistência e a deformabilidade dos solos. Sobre esses procedimentos, considere:

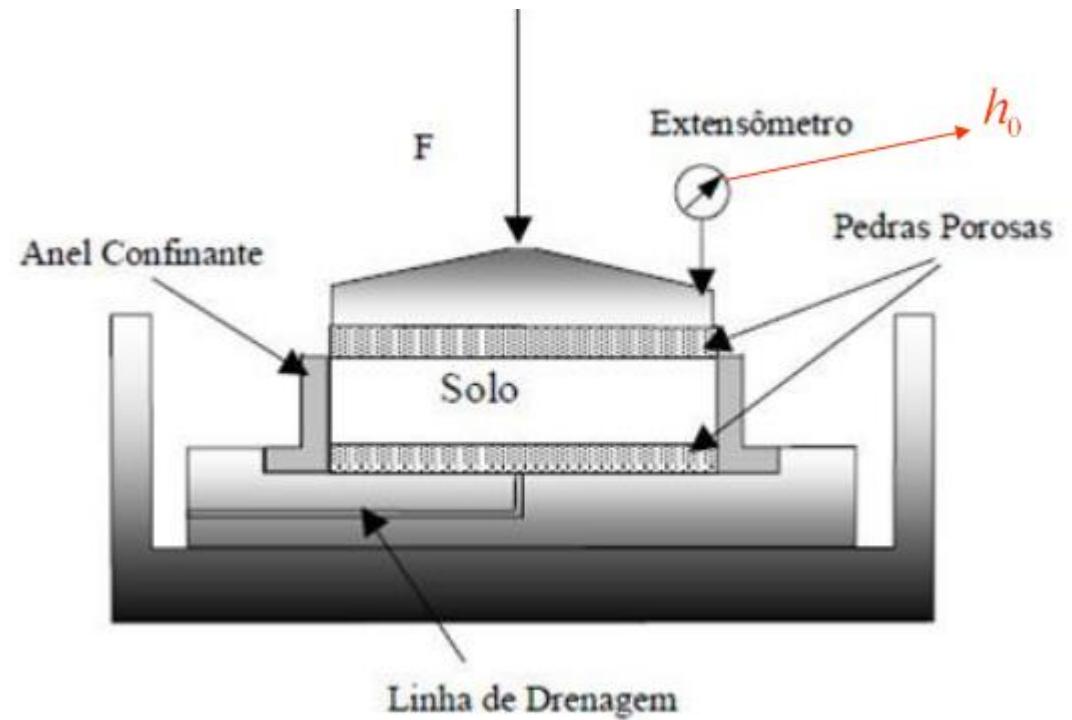
- I. A construção por etapas é recomendada quando o coeficiente de adensamento do solo é baixo.
- II. A sobrecarga temporária consiste na aplicação de um carregamento maior do que aquele que atuará na vida útil da obra para antecipação dos recalques.
- III. Os drenos verticais de areia diminuem as distâncias de drenagem e aceleram o adensamento.
- IV. A aplicação dos drenos verticais ( de areia ou fibroquímicos ) é indicada quando o coeficiente de adensamento do solo é elevado.

Está correto o que consta APENAS em

- (A) I, III e IV.
- (B) I e III.
- (C) II e IV.
- (D) I, II e IV.
- (E) II e III.

**GABARITO E**

- Ensaio de Adensamento



- Ensaio de Adensamento

- Também conhecido como ensaio de compressão oedométrica;
- Era normatizado pela NBR 12007, porém a norma foi cancelada;
- Normatizada pela ASTM D2435-11
- Determina as deformações verticais ao longo do tempo resultantes da aplicação de um dado carregamento
- Determina-se:
  - $c_v$  : Coeficiente de adensamento
  - $c_c$  : Índice de compressão
  - $c_r$  : Índice de recompressão
  - $\sigma_{vm}'$ : Tensão de pré-adensamento

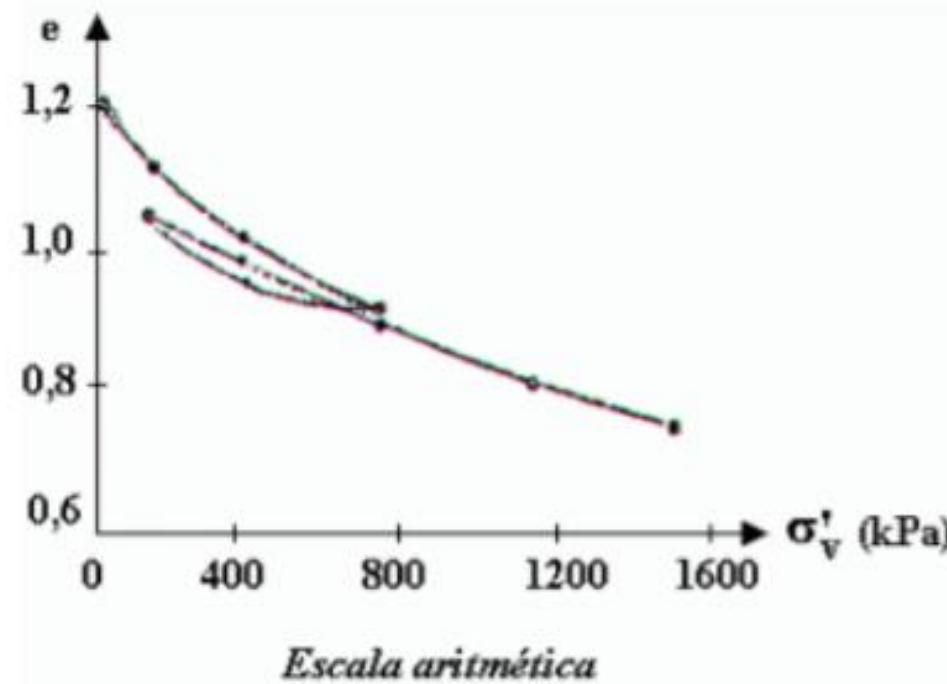
- Ensaio de Adensamento
  - Amostras podem ser indeformadas ou reconstituídas (compactadas)
  - São necessário os seguintes dados:
    - Massa, diâmetro interno e altura do anel de adensamento;
    - Massa específica real dos grãos de solo;
    - Calibração da deformação do conjunto célula de adensamento.
  - Corpo de prova deve ser preparado em ambiente propício
    - Mudança de umidade não deve exceder 0.2%
    - Flutuação de temperatura no ambiente de no máximo  $\pm 4^{\circ}\text{C}$
    - Sem incidência direta de raios solares
  - Molda-se a amostra a partir do bloco ou do solo compactado
  - Corpo de prova deve ser talhado ou torneado rente ao topo do anel e, em seguida, encaixado no anel.

- Ensaio de Adensamento – Preparação da amostra:
  - Pesa-se o conjunto anel + corpo de prova
  - Mede-se a altura do corpo de prova
  - Calcula-se o peso, volume e peso específico aparente inicial da amostra
  - Com a sobra do material talhado, determina-se novamente o teor de umidade

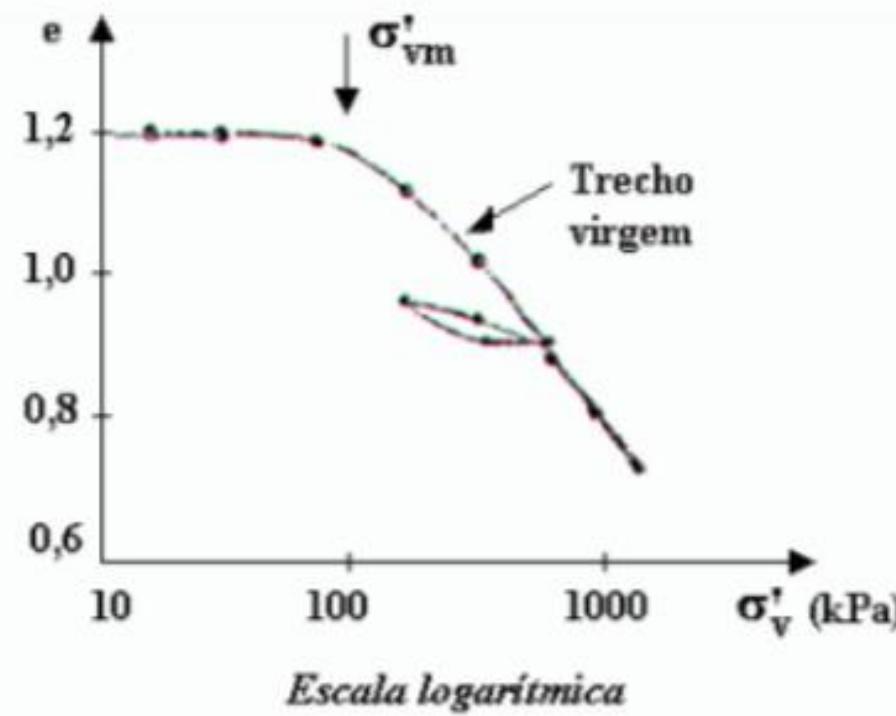
- Procedimento

- Satura-se a amostra
- Fazer o nivelamento da prensa
- Aplicação do carregamento
- Leituras do deslocamento em progressão geométrica do tempo
  - 15s, 30s, 1 min, 2 min, 4 min, 8, min, 15 min, 30 min, 1hr, 2hr, 4hr, 8 hr, 24 hr.
- Aplicação de novo carregamento e repete-se as leituras.
  - 10, 20 40, 80 160, 320, .... kPa
- Descarregamento da amostra
  - Geralmente em três ou quatro fases, finalizando com a pressão do primeiro carregamento.

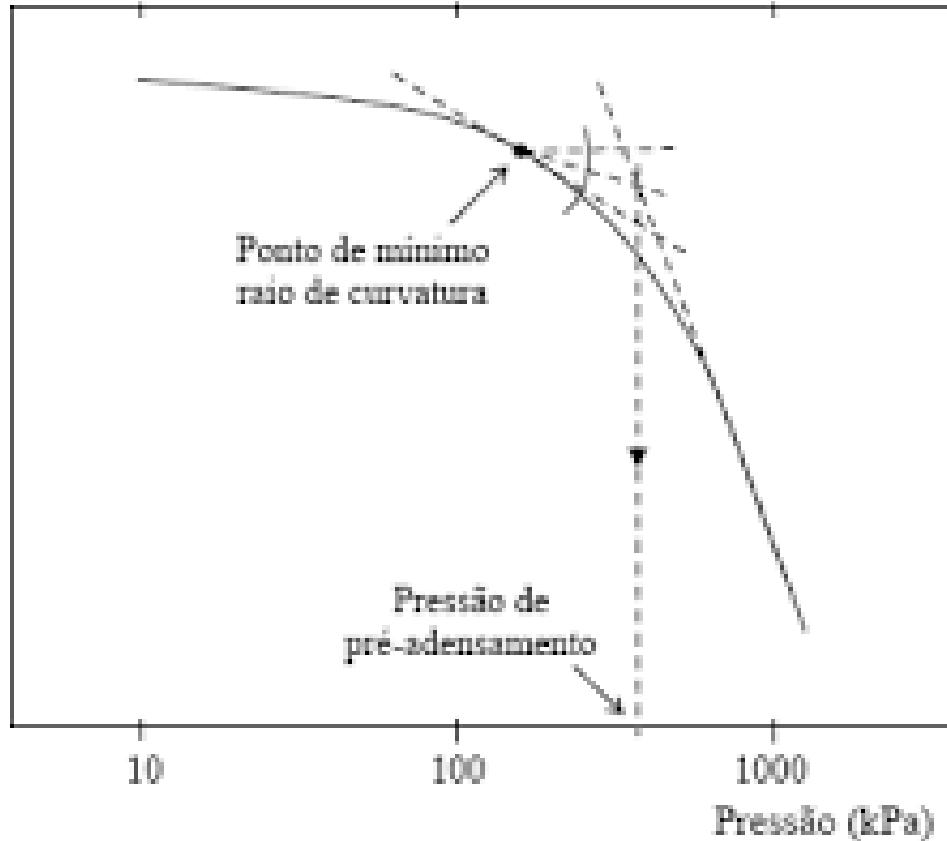
RESULTADO TÍPICO



REPRESENTAÇÃO USUAL

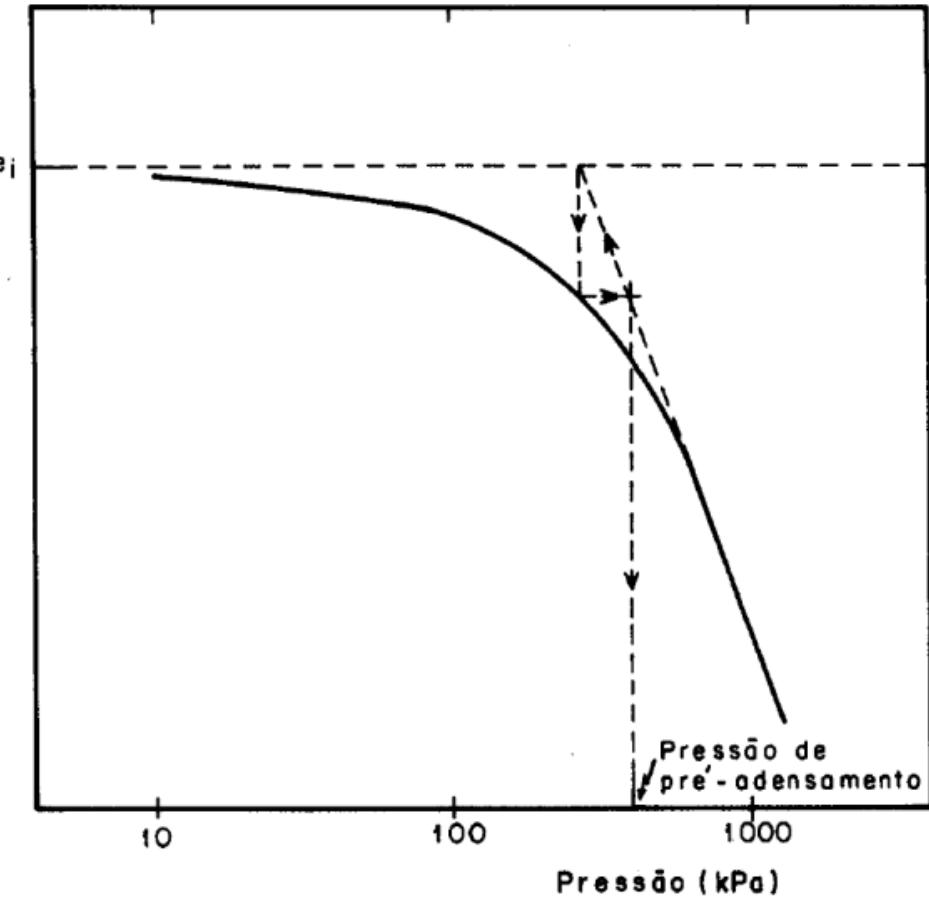


Índice de vazios ( $e$ )

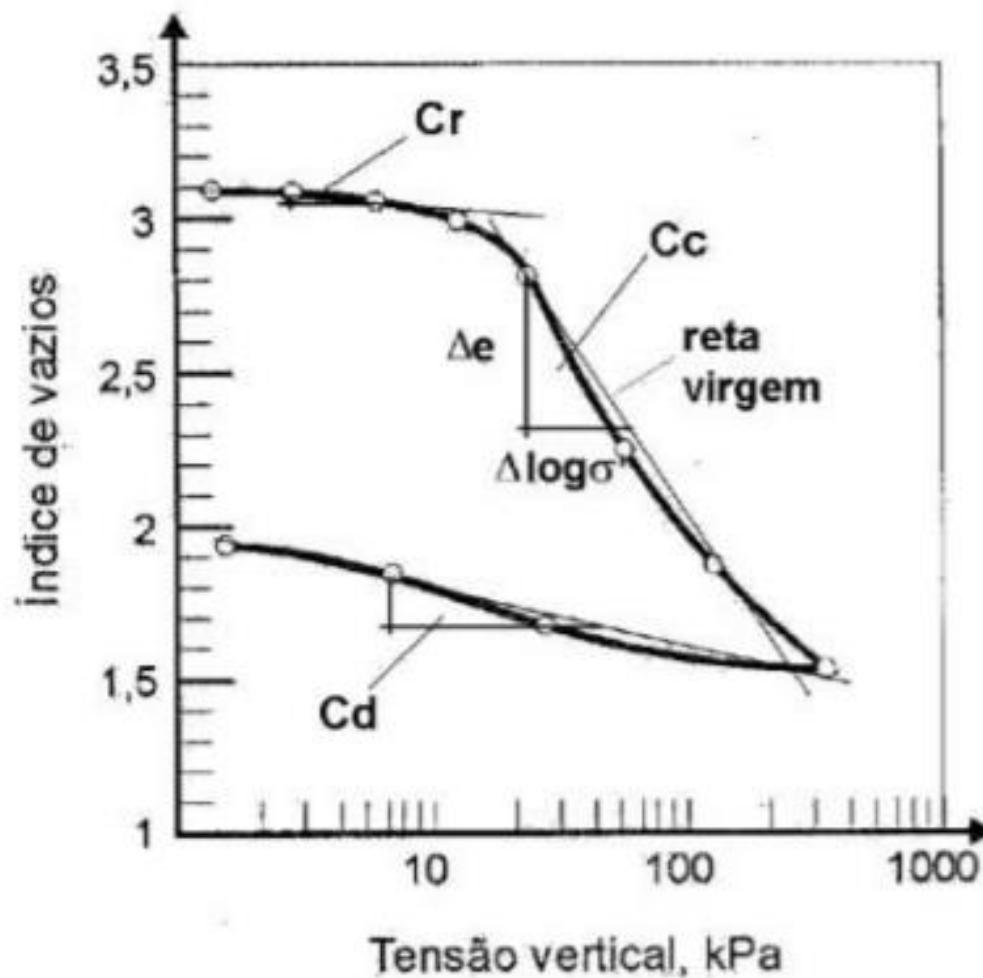


Método de Casagrande

Índice de vazios -  $e$

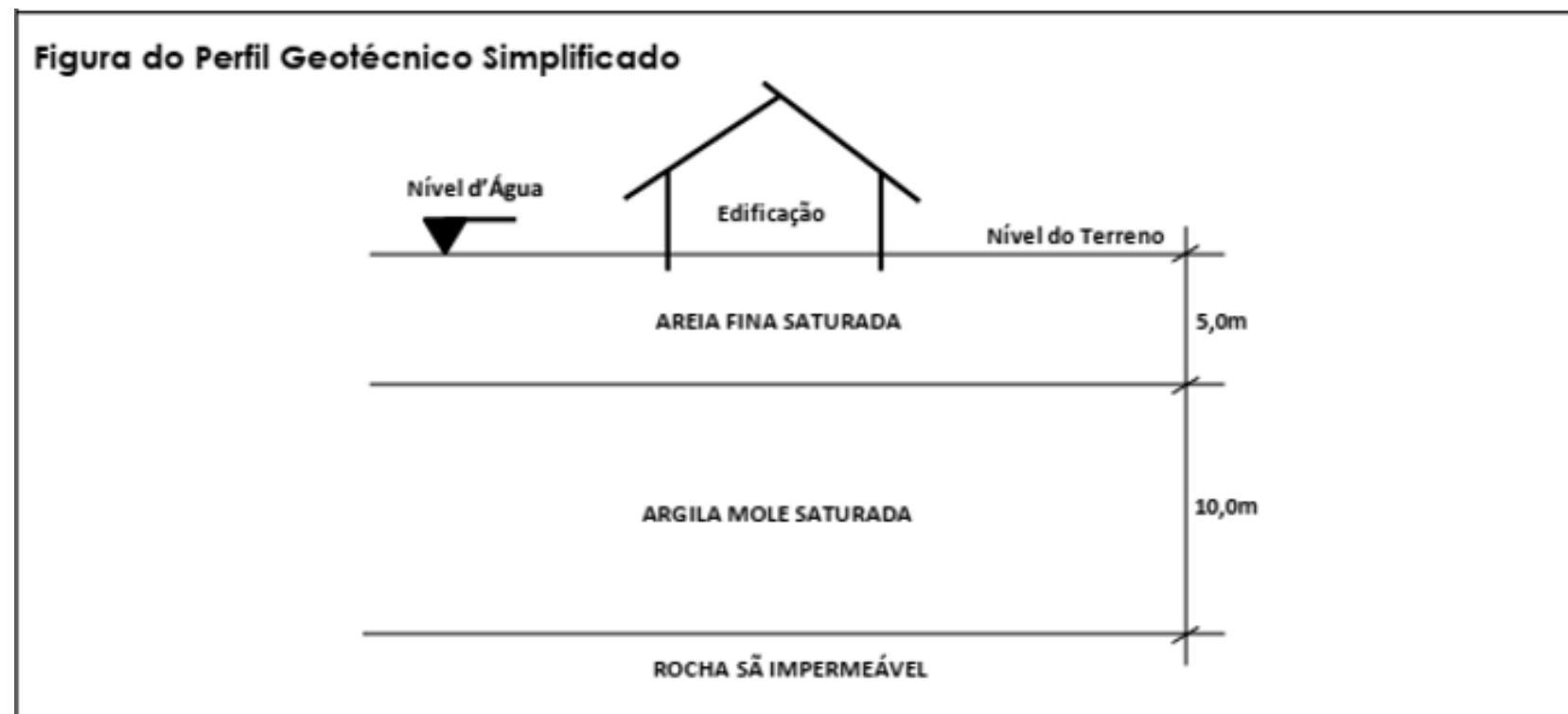


Método de Pacheco Silva



$$C_c \text{ ou } C_r \text{ ou } C_v = -\frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma_v}$$

- **COMPERVE, UFRN, 2018** - Os recalques excessivos são um dos principais motivos de ocorrência de patologias em edificações. Sobre o recalque por adensamento primário na camada de argila, considere os dados e o perfil de solo apresentados no quadro abaixo.



**Dados:**

- Índice de vazios inicial da argila ( $e_0$ ): 1,0
- Incremento de tensão vertical no centro da camada de argila mole saturada promovido pela Edificação ( $\Delta\sigma_v$ ): 150 kPa
- Índice de compressão da argila ( $C_c$ ): 0,5
- Índice de recompressão da argila ( $C_r$ ): 0,033
- Tensão de Pré-Adensamento da argila ( $\sigma'_{PA}$ ): 150 kPa.
- Peso Específico da Argila Saturada ( $\gamma_{SAT(ARGILA)}$ ): 15 kN/m<sup>3</sup>
- Peso Específico da Areia Saturada ( $\gamma_{SAT(AREIA)}$ ): 20 kN/m<sup>3</sup>
- Peso Específico da Água ( $\gamma_{AGUA}$ ): 10 kN/m<sup>3</sup>

**Fórmula geral para o cálculo do adensamento das argilas saturadas:**

$$\rho = \frac{H_0}{1 + e_0} \left[ C_r \times \log \frac{\sigma'_{PA}}{\sigma'_{V0}} + C_c \times \log \frac{\sigma'_{V0} + \Delta\sigma}{\sigma'_{PA}} \right]$$

**Informação Auxiliar**

Log 0,5 = -0,30	Log 0,6 = -0,22	Log 0,7 = -0,15	Log 0,8 = -0,10	Log 0,9 = -0,05
Log 1,0 = 0,00	Log 1,5 = 0,18	Log 2,0 = 0,30	Log 2,5 = 0,40	Log 3,0 = 0,48
Log 3,5 = 0,54	Log 4,0 = 0,60	Log 4,5 = 0,65	Log 5,0 = 0,70	Log 5,5 = 0,74

A partir dos dados fornecidos, conclui-se que o recalque por adensamento primário, na camada de argila, devido ao incremento de tensões verticais impostas pela edificação ilustrada, é:

- (A) 0,80 m.
- (B) 0,74 m.
- (C) 0,40 m.
- (D) 0,50 m.

$$\text{Tensão no centro da camada} = (20-10)*5 + (15-10)*5 = 75$$

$$H_0/(1+e_0) = 10/(1+1) = 5$$

$$Cr * \log(\sigma_{Pa}/\sigma_{v0}) = 0.033 * \log(150/75) = 0.0099$$

$$Cc * \log((\sigma_{v0} + \Delta \sigma)/\sigma_{Pa}) = 0.5 * \log(225/150) = 0.0880$$

$$p = 5 * (0.0099 + 0.0880) = 0.49 \text{ m}$$

## **GABARITO D**

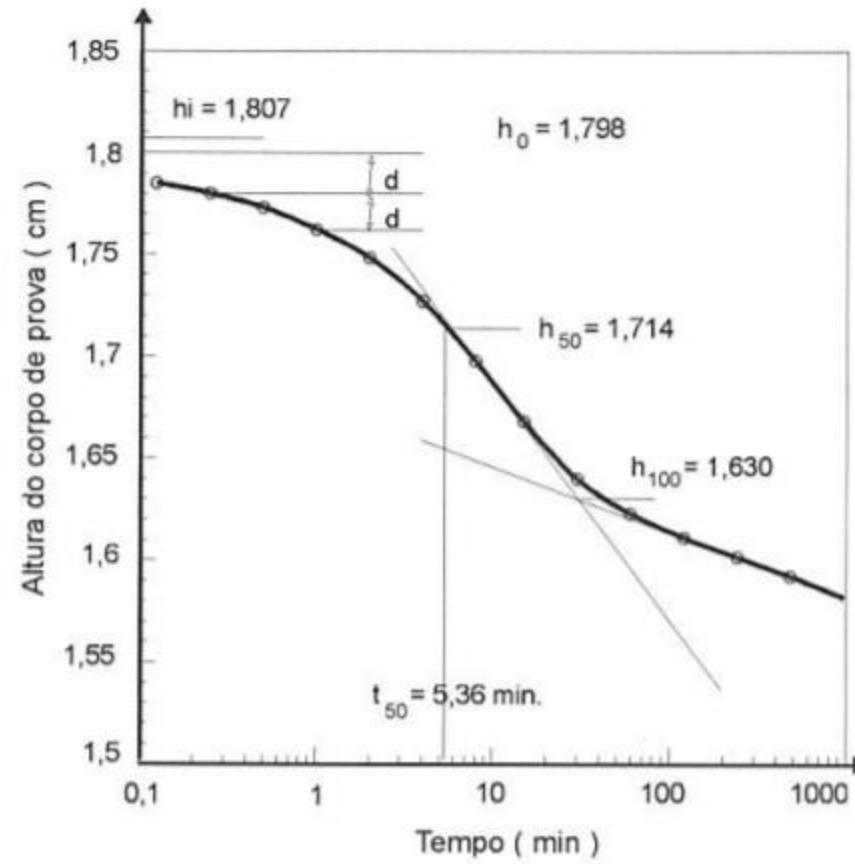
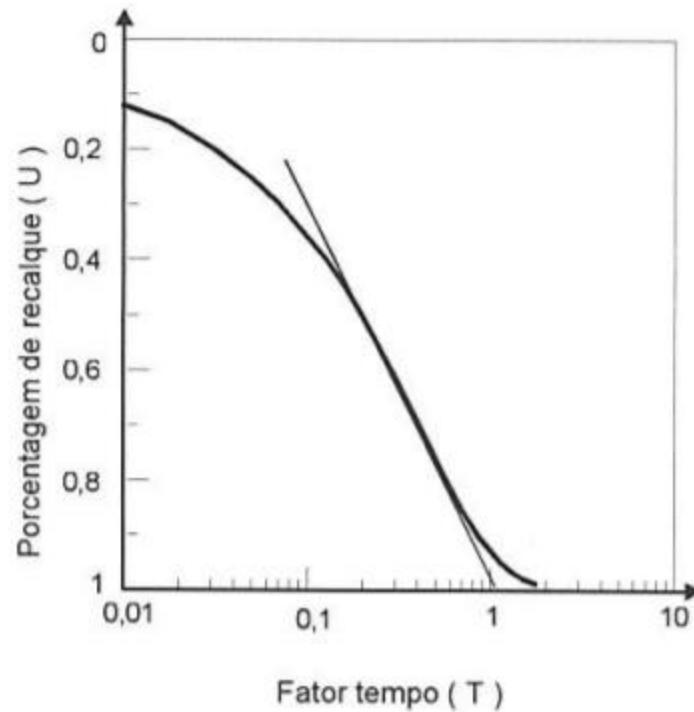
- Determinação do coeficiente de adensamento:
- Existem dois métodos
  - Método de Casagrande
  - Método de Taylor
- A equação que determina o coeficiente de adensamento é a seguinte:

$$C_v = \frac{T \cdot H_d^2}{t}$$

- Pelo método de Casagrande:

- Determina-se a altura do corpo de prova correspondente ao ínicio adensamento primário;
- Estima-se a altura do corpo de prova correspondente ao final do adensamento primário;
- Determina-se a altura do corpo de prova quando 50% do adensamento tiver ocorrido, isso é a média dos dois valores obtidos anteriormente.
- Verifica-se, pela curva, o tempo em que teria ocorrido 50% dos recalques por adensamento primário.
- Calcula-se o coeficiente de adensamento pela fórmula seguinte

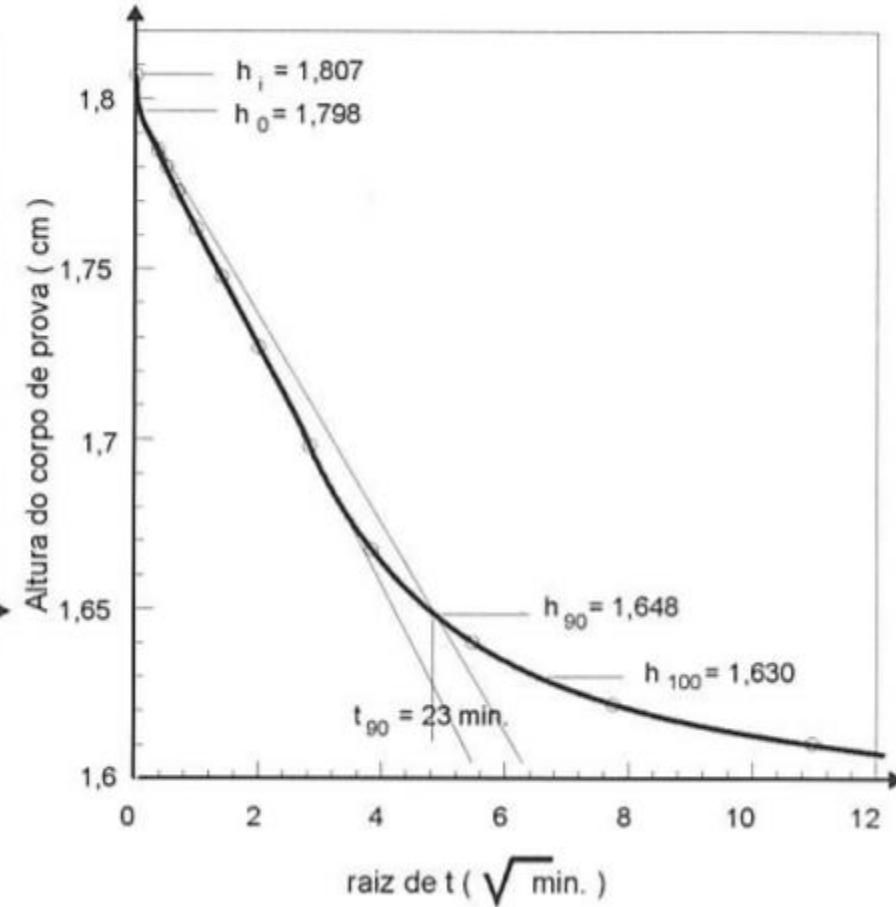
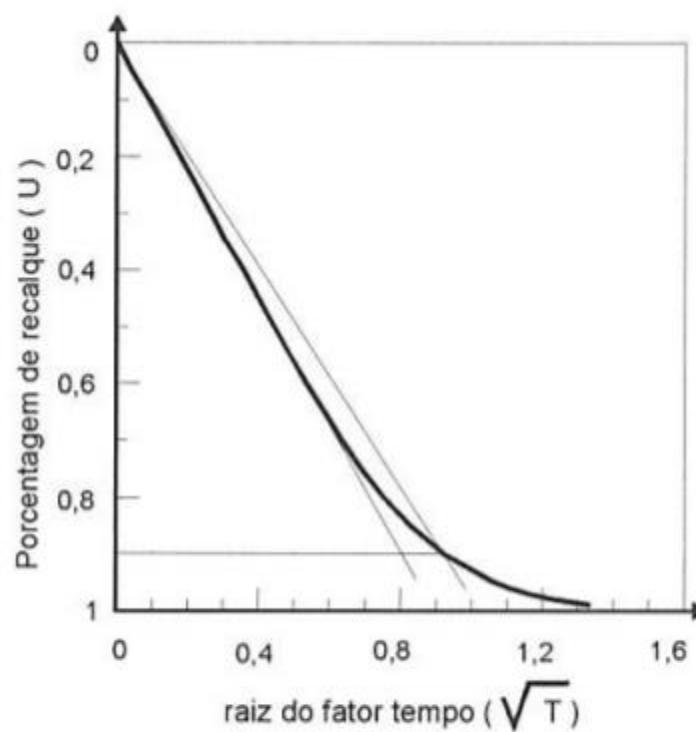
$$C_v = \frac{0,197 \cdot H_d^2}{t_{50}}$$



- Pelo método de Taylor:

- 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 de ensaio indica o ponto em que teria ocorrido 90% do adensamento
- Definido o ponto correspondente a 90% de recalque, o tempo em que isso ocorreu,  $t_{90}$ , é determinado
- Calcula-se o coeficiente de adensamento pela seguinte fórmula

$$C_v = \frac{0,848 \cdot H_d^2}{t_{90}}$$



Muito obrigado!