



**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.

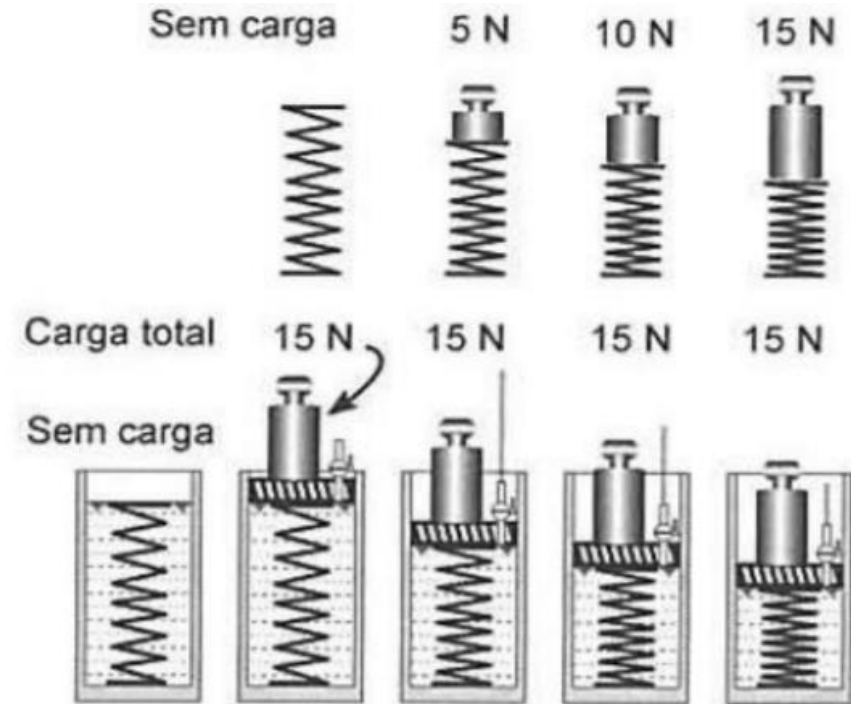
“A variação do volume do solo é resultante da variação do volume dos vazios”

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.

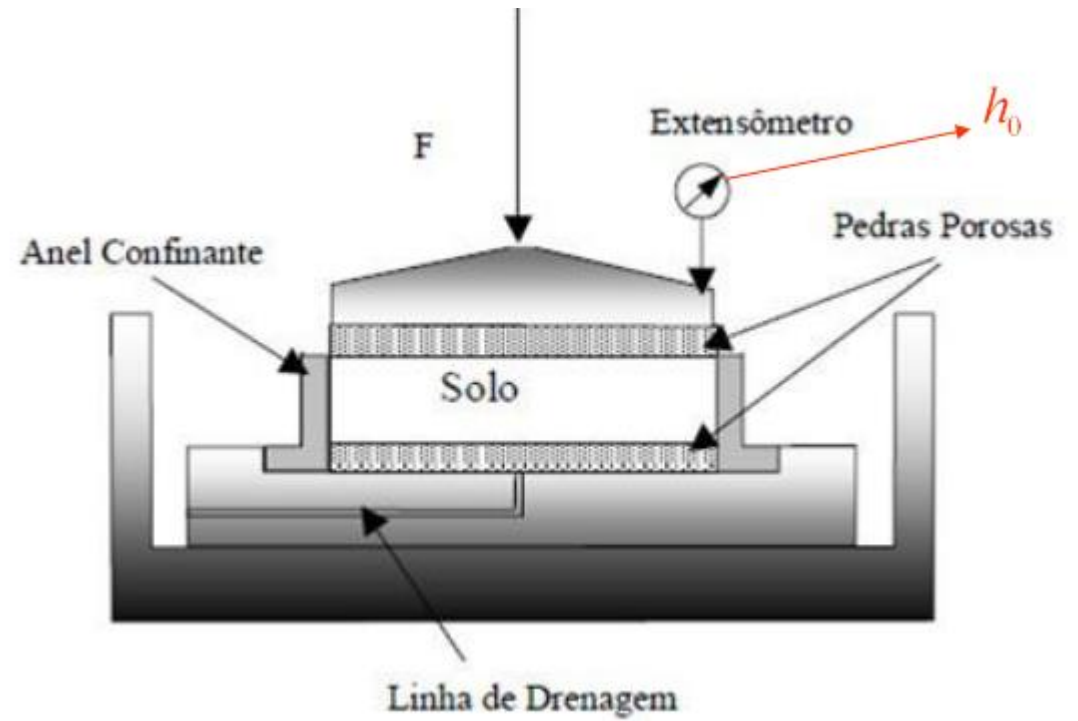
(C) II e IV.

(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

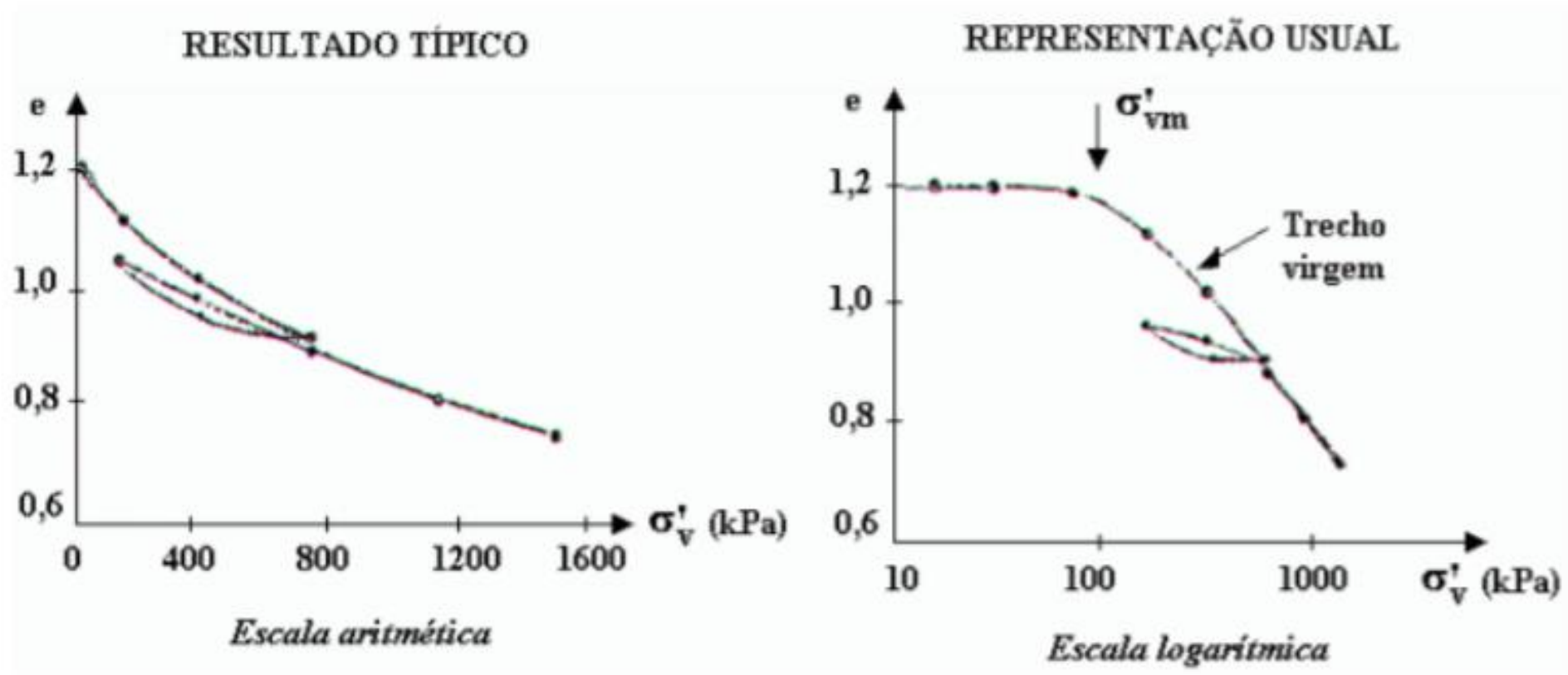
- Ensaio de Adensamento
  - Amostras podem ser indeformadas ou reconstituídas (compactadas)
  - São necessário os seguintes dados:
    - Massa, diâmetro interno e altura do anel de adensamento;
    - Massa específica real dos grãos de solo;
    - Calibração da deformação do conjunto célula de adensamento.
  - 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.

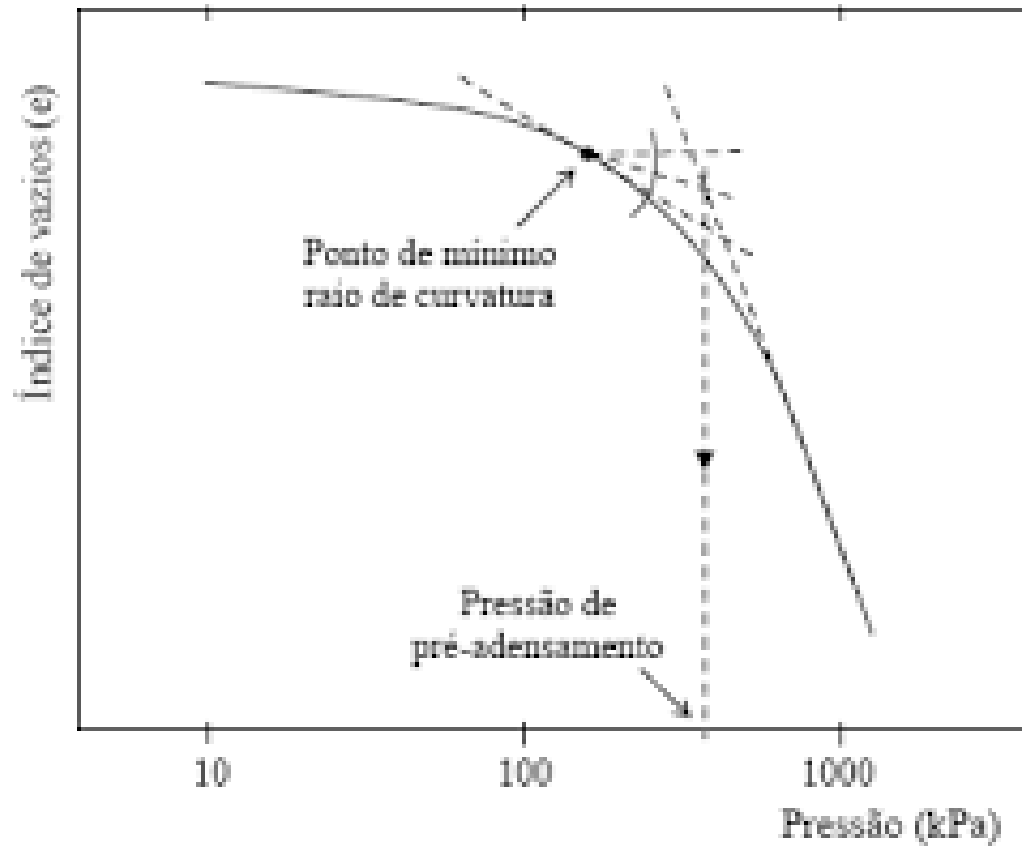
- Ensaio de Adensamento – Preparação da amostra:
  - Pesa-se o conjunto anel + corpo de prova
  - Mede-se a altura do corpo de prova
  - Calcula-se o peso, volume e peso específico aparente inicial da amostra
  - Com a sobra do material talhado, determina-se novamente o teor de umidade

- Procedimento

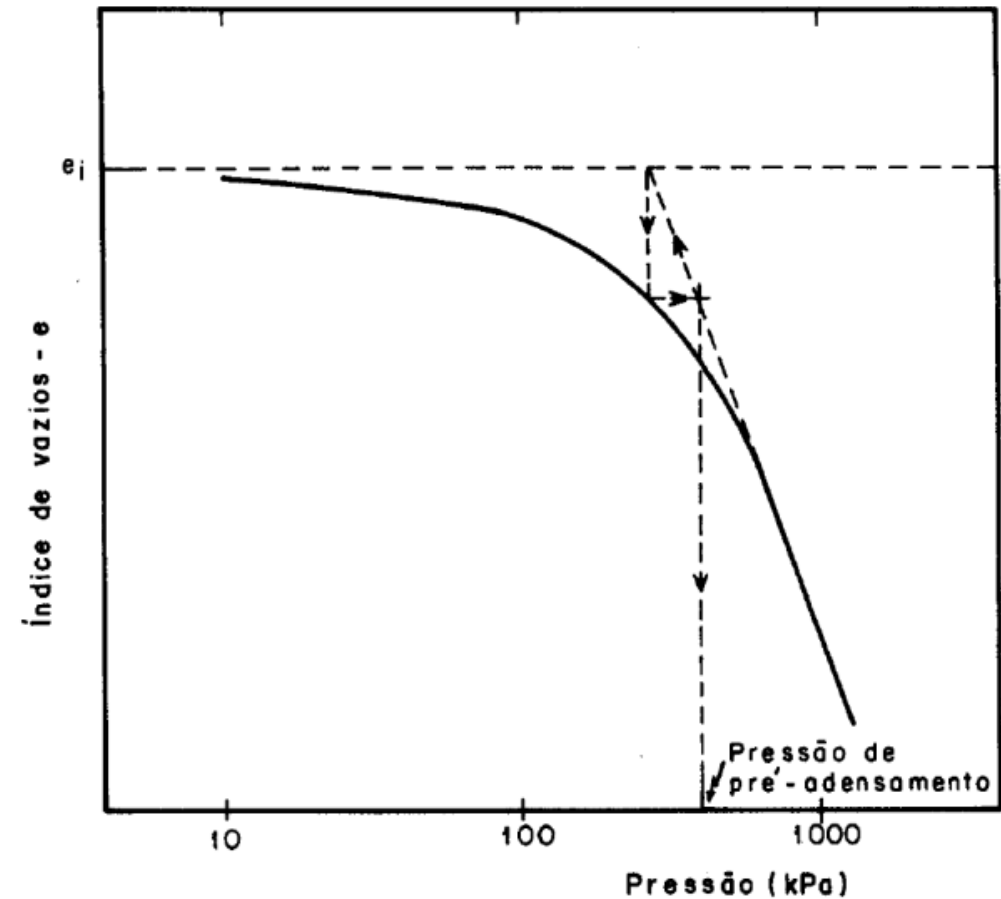
- Satura-se a amostra
- Fazer o nivelamento da prensa
- Aplicação do carregamento
- Leituras do deslocamento em progressão geométrica do tempo
  - 15s, 30s, 1 min, 2 min, 4 min, 8, min, 15 min, 30 min, 1hr, 2hr, 4hr, 8 hr, 24 hr.
- Aplicação de novo carregamento e repete-se as leituras.
  - 10, 20 40,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



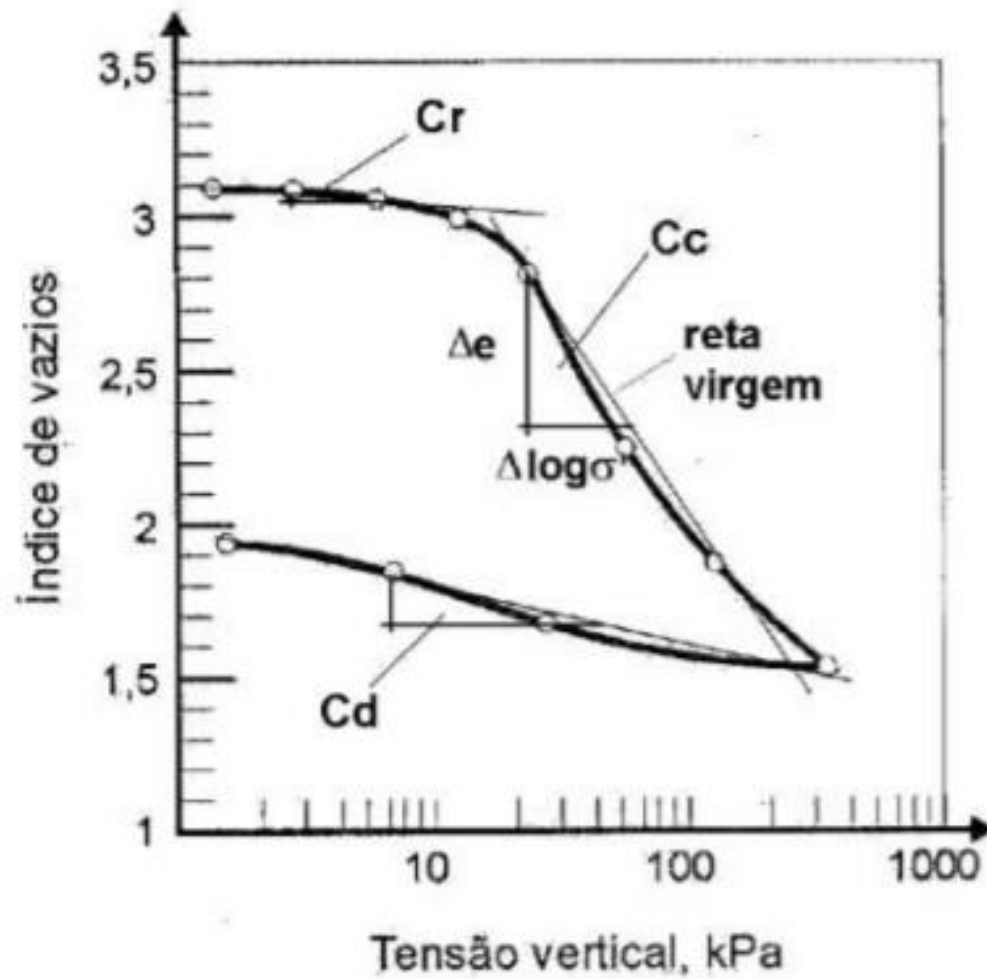




Método de Casagrande

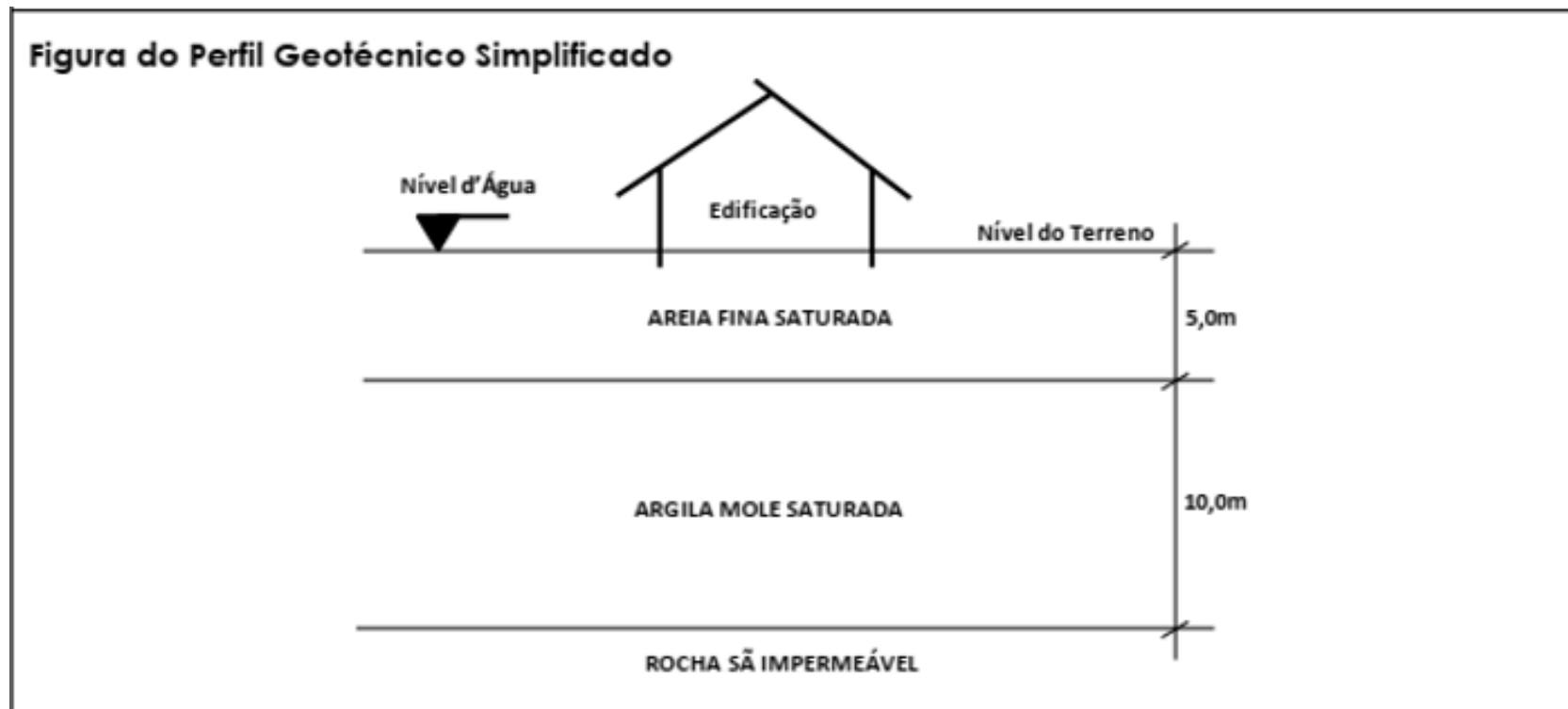


Método de Pacheco Silva



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

- **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 ( $\gamma_{ÁGUA}$ ): 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.

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

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

$$C_r * \text{Log} (\text{sigPa}/\text{Sigv}_0) = 0.033 * \log(150/75) = 0.0099$$

$$C_c * \text{Log} ((\text{Sigv}_0 + \Delta \text{sig})/\text{sigPa}) = 0.5 * \text{Log} (225/150) = 0.0880$$

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

**GABARITO D**

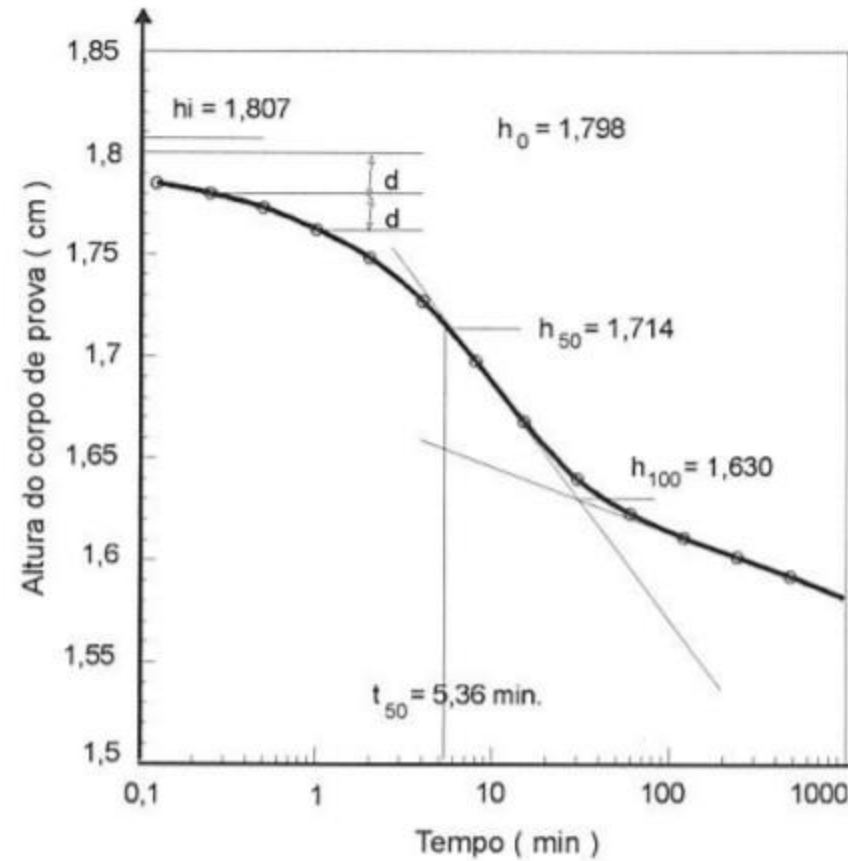
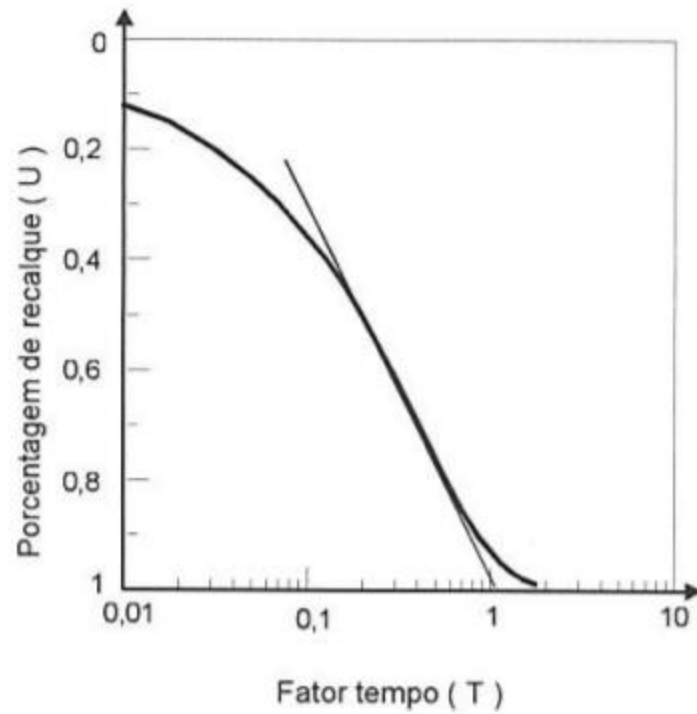
- Determinação do coeficiente de adensamento:
- Existem dois métodos
  - Método de Casagrande
  - Método de Taylor
- A equação que determina o coeficiente de adensamento é a seguinte:

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



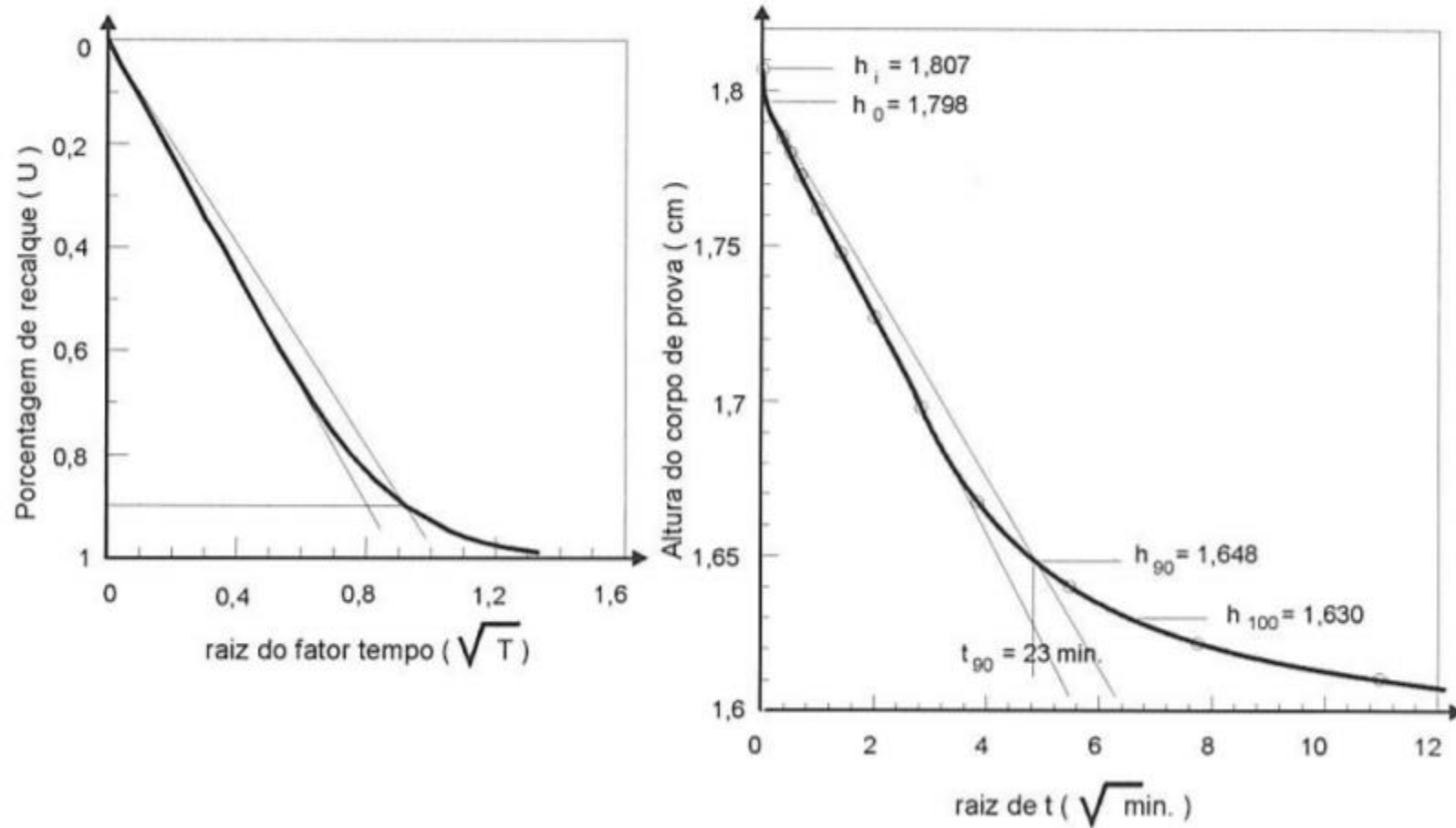
- Pelo método de Casagrande:
  - Determina-se a altura do corpo de prova correspondente ao início adensamento primário;
  - Estima-se a altura do corpo de prova correspondente ao final do adensamento primário;
  - Determina-se a altura do corpo de prova quando 50% do adensamento tiver ocorrido, isso 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

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



- 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

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



Muito obrigado!