

## Exercícios de Mecânica dos solos I

### 1 ao 12 (Pág 40 a 43)

Nome: Robson Tete

1) Uma amostra de solo úmido em cápsula de alumínio tem uma massa de **462 g**. Após a secagem em estufa se obteve a massa seca da amostra igual a **364 g**. Determinar o teor de umidade do solo considerando a massa da cápsula se **39 g**.

$$W = M_w/M_s.$$

$$M_{\text{total}} = 462 \text{ g} \quad M_{\text{cápsula}} = 39 \text{ g}.$$

$$M_s = 364 - 39 \rightarrow M_s = 325 \text{ g}.$$

$$M_w = 462 - 364 \rightarrow M_w = 98 \text{ g}.$$

$$W = 98/325 \rightarrow W = 0,31111... \rightarrow \boxed{W = 31,11\%}$$

2) Um solo saturado tem teor de umidade igual a **38%** e massa específica dos sólidos igual a **2,85 g/cm<sup>3</sup>**. Determinar o índice de vazios, a porosidade e a massa específica do solo.

$$W = 38\%. \quad (V_w = V_v. \text{ Pois o solo é saturado})$$

$$\rho_s = 2,85 \text{ g/cm}^3.$$

$$e = ? \quad \rho = ? \quad n = ?$$

$$W = M_w/M_s. \rightarrow M_w = 0,38M_s$$

$$\rho_s = M_s/V_s. \rightarrow M_s = 2,85V_s \quad M_w = 0,38(2,85V_s) \rightarrow M_w = 1,083V_s$$

$$e = V_v/V_s. \rightarrow e = V_v(1,083/M_w) \rightarrow e = (M_w/\rho_w)(1,083/M_w) \rightarrow e = 1,083/\rho_w$$

$$e = 1,083/1 \rightarrow \boxed{e = 1,083} \text{ (Considerando } \rho_w = 1.)$$

$$n = e/(1+e). \rightarrow n = 1,083/2,083 \rightarrow \boxed{n = 0,52 \text{ ou } 52\%}$$

$$\rho = M/V.$$

$$M = (M_s + M_w) \rightarrow M = (2,85V_s + 1,083V_s) \rightarrow M = 3,933V_s$$

$$V = V_s + V_v \rightarrow V = V_s + e.V_s \rightarrow V = V_s + 1,083V_s \rightarrow V = 2,083V_s$$

$$\rho = 3,933V_s/2,083V_s \rightarrow \boxed{\rho = 1,89 \text{ g/cm}^3}$$

3) Qual a quantidade de água a ser acrescentada a uma amostra de **1500 g** com teor de umidade **17%**, para que essa amostra passe a ter **30%** de umidade.

$$W = M_w/M_s. \quad M_s + M_{wi} = 1500 \text{ g}$$

$$0,17 = M_{wi}/M_s \rightarrow 0,17 = (1500 - M_s)/M_s \rightarrow 1,17M_s = 1500$$

$$M_s = 1282,05 \text{ g}$$

$$W = M_{wf}/M_s \rightarrow 0,3 = M_{wf}/1282,05 \rightarrow M_{wf} = 384,62 \text{ g}$$

$$M_{wacr} = M_{wf} - (M - M_s) \rightarrow M_{wacr} = 384,62 - (1500 - 1282,05) \rightarrow \boxed{M_{wacr} = 166,67 \text{ g}}$$

$$V_{wacr} = M_{wacr}/\rho_w \rightarrow V_{wacr} = 166,67/1,00 \rightarrow \boxed{V_{wacr} = 166,67 \text{ cm}^3}$$

4) Uma amostra de argila saturada tem volume de **17,4 cm<sup>3</sup>** e massa de **29,8 g**. Após a secagem total em estufa seu volume e massa passaram a ser de **10,5 cm<sup>3</sup>** e **19,6 g** respectivamente. Pede-se:

a) Determinar o teor de umidade, a massa específica do solo, a massa específica dos sólidos, a massa específica aparente seca, bem como o índice de vazios e porosidade antes e depois da secagem.

Teor de Umidade:  $W = M_w/M_s \rightarrow W = (29,8 - 19,6)/19,6 \rightarrow W = 52\%$

Massa específica do solo:  $\rho = M/V \rightarrow \rho = 29,8/17,4 \rightarrow \rho = 1,713 \text{ g/cm}^3$

Massa específica dos sólidos:

Sabendo que a massa da água é **10,2 g**, temos que seu volume vale **10,2 cm<sup>3</sup>**, considerando  $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ . Logo o volume do sólido ( $V_s$ ) vale:

$$V_s = 17,4 - 10,2 = 7,2 \text{ cm}^3$$

$$\rho_s = M_s/V_s \rightarrow \rho_s = 19,6/7,2 \rightarrow \rho_s = 2,722 \text{ g/cm}^3$$

Massa específica aparente seca:  $\rho_d = M_s/V \rightarrow \rho_d = 19,6/17,4 \rightarrow \rho_d = 1,126 \text{ g/cm}^3$   
Antes da secagem

Índice de Vazios:  $V_v = V_w = 10,2 \text{ cm}^3$

$$e = V_v/V_s \rightarrow e = 10,2/7,2 \rightarrow e = 1,4167$$

Porosidade:  $n = V_v/V \rightarrow n = 10,2/17,4 \rightarrow n = 58,62 \%$

Depois da secagem

Índice de Vazios:  $V_v = 10,5 - 7,2 = 3,3 \text{ cm}^3$

$$e = V_v/V_s \rightarrow e = 3,3/7,2 \rightarrow e = 0,4583$$

Porosidade: No final o volume total é **10,5 cm<sup>3</sup>**

$$\text{Logo: } n = V_v/V \rightarrow n = 3,3/10,5 \rightarrow n = 31,43 \%$$

b) Analisar os resultados da variação do índice de vazios e a porosidade.

Isso é frescura...

5) Um corpo de prova cilíndrico de um solo argiloso tem uma altura de **12,5 cm** e diâmetro de **5 cm**. A massa úmida do corpo de prova é **478,25 g** e após sua secagem passou para **418,32 g**. Sabendo-se que a massa específica dos sólidos é de **2,70 g/cm<sup>3</sup>**, determinar os índices físicos do solo no seu estado natural, indicados no item abaixo:

a) Teor de umidade, a massa específica, a massa específica seca, o índice de vazios, a porosidade e o grau de saturação:

$$V = H \cdot (\pi D^2)/4 \rightarrow V = 12,5(\pi \cdot 5^2)/4 \rightarrow V = 245,43 \text{ cm}^3$$

Teor de Umidade:  $W = M_w/M_s \rightarrow W = (478,25 - 418,32)/418,32 \rightarrow W = 14,33\%$

Massa específica:  $\rho = M/V \rightarrow \rho = (478,25)/245,43 \rightarrow W = 1,949 \text{ g/cm}^3$

Massa específica seca:  $\rho_d = M_s/V \rightarrow \rho_d = (418,32)/245,43 \rightarrow W = 1,704 \text{ g/cm}^3$

Índice de vazios:  $e = V_v/V_s$

mas  $\rho_s = M_s/V_s \rightarrow V_s = M_s/\rho_s \rightarrow V_s = 418,32/(2,70) \rightarrow V_s = 154,93 \text{ cm}^3$

$e = (V - V_s)/V_s \rightarrow e = (245,43 - 154,93)/154,93 \rightarrow e = 0,584$

Porosidade:  $n = V_v/V \rightarrow n = (V - V_s)/(V) \rightarrow n = (245,43 - 154,93)/245,43$

$n = 36,87\%$

Grau de Saturação:  $S = V_w/V_v \rightarrow S = (M_w/\rho_w)/(V - V_s)$

$\rightarrow S = (478,25 - 418,32)/(245,43 - 154,93) \rightarrow S = 66,22\%$  (Para  $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ )

b) Supondo que o solo tenha se saturado, mantendo seu volume inicial constante, calcular a massa específica saturada e o teor de umidade:

Nesse caso, todo o volume de vazio é preenchido por água

$\rightarrow V_w = 0,3687(245,43) \rightarrow V_w = 90,5 \text{ cm}^3$

Assim, como  $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ , a massa de água vale:  $M_w = 90,5 \text{ g}$

Logo  $M_{\text{sat}} = M_s + M_w \rightarrow M_{\text{sat}} = 418,32 + 90,5 \rightarrow M_{\text{sat}} = 508,82 \text{ g}$

Massa específica saturada:  $\rho_{\text{sat}} = M_{\text{sat}}/V \rightarrow \rho_{\text{sat}} = 508,82/245,43 \rightarrow \rho_{\text{sat}} = 2,073 \text{ g/cm}^3$

Teor de umidade:  $W_{\text{sat}} = M_w/M_s \rightarrow W_{\text{sat}} = 90,5/418,32 \rightarrow W_{\text{sat}} = 21,6\%$

6) Para um solo argilo-siltoso saturado, com massa específica dos solos igual a **2,70 g/cm<sup>3</sup>** e teor de umidade **46%**, determinar o índice de vazios, a massa específica saturada e submersa:

$$\begin{aligned} e = V_v/V_s, & \quad W = M_w/M_s, & \quad \rho_s = M_s/V_s \\ M_w = W.M_s, & & \quad V_s = M_s/\rho_s \\ M_w = V_w = V_v = W.M_s & & \quad V_s = M_s/(2,70) \\ V_v = 0,46.M_s & & \end{aligned}$$

$e = V_v/V_s \rightarrow e = 0,46.M_s/(M_s/(2,70)) \rightarrow e = 0,46.(2,70) \rightarrow e = 1,242$

$\rho_{\text{sat}} = M_{\text{sat}}/V = (M_s + M_w)/(V_s + V_v) \rightarrow (M_s + 0,46.M_s)/(M_s/(2,70) + 0,46.M_s)$

$\rho_{\text{sat}} = 1,46M_s/(0,83037M_s) \rightarrow \rho_{\text{sat}} = 1,758 \text{ g/cm}^3$

Massa específica submersa:  $\rho' = \rho_{\text{sat}} - \rho_w \rightarrow \rho' = 1,758 - 1,00 \rightarrow \rho' = 0,758 \text{ g/cm}^3$

7) A massa de uma amostra de solo coletada no campo é de **465 g** e sua massa seca correspondente é de **405,76 g**. A densidade dos grãos,  $G_s$ , determinada em laboratório foi de **2,68**. Se o índice de vazios do solo no seu estado natural é de **0,83**, determinar:

a) O teor de umidade e o peso específico do solo:

$$W = M_w/M_s \rightarrow W = (465 - 405,76)/405,76 \rightarrow W = 14,6\%$$

$$G_s = \gamma_s/\gamma_w \rightarrow \gamma_s = G_s \cdot \gamma_w \rightarrow \gamma_s = G_s \cdot (10) \rightarrow \gamma_s = 2,68 \cdot (10) \rightarrow \gamma_s = 26,8 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_s = P_s/V_s \rightarrow 26,8 = 10M_s/V_s \rightarrow 26,8 = 10 \cdot (405,76)/V_s \rightarrow V_s = 151,403 \text{ cm}^3$$

$$e = V_v/V_s \rightarrow 0,83 = V_v/(151,403) \rightarrow V_v = 125,66 \text{ cm}^3$$

$$\gamma = P/(V) \rightarrow \gamma = 10 \cdot 465 / (151,403 + 125,66) \rightarrow \gamma = 16,78 \text{ kN/m}^3$$

b) O peso específico seco:

$$\gamma_d = P_s/V \rightarrow \gamma_d = 10 \cdot (405,76) / (151,403 + 125,66) \rightarrow \gamma_d = 14,64 \text{ kN/m}^3$$

c) O peso de água a ser acrescentado no solo no campo por  $\text{m}^3$ , para sua completa saturação.

Sabemos que o volume de vazios ( $V_v$ ) vale:  $V_v = 125,66 \text{ cm}^3$   
e que o Volume inicial de água é igual a sua massa:  $V_w = M_w = 465 - 405,76$   
 $V_w = 59,24 \text{ cm}^3$

Logo a massa de água a ser acrescentada para o estado de saturação vale:  
 $M_{\text{Wacr}} = V_{\text{Wacr}} = 125,66 - 59,24 \rightarrow M_{\text{Wacr}} = 66,42 \text{ g}$

Então o Peso de água a ser acrescentado por metro cúbico de solo valerá:

$$P_{\text{Wacr}} = (66,42 \cdot 10) / (151,403 + 125,66) \rightarrow P_{\text{Wacr}} = 2,397 \text{ kN}$$

8) Um corpo de prova de argila saturada tem uma altura de **2,5 cm** e **6,5 cm** de diâmetro, e um volume de água igual a **48,7  $\text{cm}^3$** . Foi comprimida em um ensaio até que sua altura se reduzisse para **1,85 cm**, sem alteração do seu diâmetro. Essa amostra possuía um índice de vazios inicial de **1,42** e uma massa específica dos grãos de **2,82  $\text{g/cm}^3$** . Admitindo que toda a compressão tenha se dado pela expulsão de água dos vazios e que a amostra ainda continue saturada, determinar:

a) Índice de vazios após a compressão:

$$\text{O Volume do sólido vale: } V_s = 2,5 \times \pi(6,5)^2/4 - 48,7 \rightarrow V_s = 34,26 \text{ cm}^3$$

Após a compressão, o volume de vazios será de:

$$V_{vf} = 1,85 \times \pi(6,5)^2/4 - 34,26 \rightarrow V_{vf} = 27,13 \text{ cm}^3$$

$$\text{Logo: } e_f = V_{vf}/V_s \rightarrow e_f = 27,13/34,26 \rightarrow e_f = 0,792$$

b) Variação do Teor de Umidade:

$$\rho_s = M_s/V_s \rightarrow 2,82 = M_s / 34,26 \rightarrow M_s = 96,61 \text{ g}$$
$$M_{wi} = V_{wi} = 48,7 \text{ g} \quad (\text{para } \rho_w = 1 \text{ g/cm}^3)$$

$$\text{Assim: } W_{\text{inicial}} = M_{wi}/M_s \rightarrow W_{\text{inicial}} = 48,7/96,61 \rightarrow 50,4 \%$$

$$M_{wf} = V_{wf} = V_{vf} = 27,13 \text{ g}$$
$$W_{\text{final}} = M_{wf}/M_s \rightarrow W_{\text{final}} = 27,13/96,61 \rightarrow 28,08 \%$$

$$\text{Emfim: } ?W = W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}} \rightarrow ?W = 50,4 - 28,08 \rightarrow \boxed{?W = 22,32 \%}$$

c) Considerando que foi retirada uma outra amostra de **1 Kg** do solo de fundação. Calcular a quantidade de água (**em cm<sup>3</sup>**) que é necessário adicionar a esse **1 Kg** de solo, cujo teor de umidade é de **10 %** para que esse teor de umidade tenha um acréscimo de **12 %**:

$$W_{\text{inicial}} = M_{wi}/M_s \rightarrow M_{wi} = 0,1M_s$$
$$M_{wi} + M_s = 1000 \rightarrow 1,1M_s = 1000 \rightarrow M_s = 909,09 \text{ g} \rightarrow M_{wi} = 90,909 \text{ g}$$

$$W_{\text{final}} = M_{wf}/M_s \rightarrow 0,22 = M_{wf}/909,09 \rightarrow M_{wf} = 200 \text{ g}$$

$$V_{\text{acr}} = 200 - 90,909 \rightarrow \boxed{V_{\text{acr}} = 109,091 \text{ cm}^3}$$

9) Foi realizada uma pesquisa de jazidas por meio de sondagens a trado. O perfil do solo indicado, obtido a partir dos resultados de uma das sondagens, apresenta uma classificação granulométrica de suas camadas obtidas a partir de testes de identificação visual e táctil.

Pede-se:



a) Supondo que a camada 1 (Silte arenoso) tenha saturado, devido a uma chuva intensa, qual é o aumento em porcentagem do seu peso específico.

Dados do solo da camada 1 no seu estado natural:

$$W = 14,5 \% \quad e = 0,8 \quad G_s = 2,68$$

$$G_s = \gamma_s/\gamma_w \rightarrow \gamma_s = G_s \cdot \gamma_w \rightarrow \gamma_s = 2,68 \cdot (10) \rightarrow \gamma_s = 26,8 \text{ kN/m}^3$$

$$\rightarrow M_s = 2,68V_s$$

$$e = V_v/V_s \rightarrow V_v = 0,8V_s \rightarrow V_v = 0,8V_s$$

$$W = M_w/M_s \rightarrow 0,145 = M_w/2,68V_s \rightarrow M_w = 0,3886V_s$$

$$V = V_v + V_s \rightarrow V = V_s + 0,8V_s \rightarrow V = 1,8V_s$$

$$P = 10M = 10(M_s + M_w) \rightarrow P = 10(0,3886V_s + 2,68V_s) \rightarrow P = 30,686 V_s$$

$$\gamma_i = P_i/(V_i) \rightarrow \gamma_i = 30,686V_s/(1,8V_s) \rightarrow \gamma_i = 17,0478 \text{ kN/m}^3$$

No final, toda o volume de vazio é preenchido por água:

$$\text{Logo: } V_v = V_w = M_w = 0,8V_s$$

$$\gamma_f = P_f/(V_f) \rightarrow \gamma_f = 10(0,8V_s + 2,68V_s)/(1,8V_s) \rightarrow \gamma_f = 19,3333 \text{ kN/m}^3$$

$$?\gamma = 19,3333 - 17,0478 \rightarrow ?\gamma = 2,286 \text{ kN/m}^3$$

$$?\gamma = (2,286/17,0478) \times 100\% \rightarrow \boxed{?\gamma = 13,41 \%}$$

- b) Foi feita uma coleta de amostra de camada deformada na camada **3** (areia siltosa) para avaliar a possibilidade de utilização na base de um pavimento. Para isso será feito um ensaio com uma amostra de **2000 g** cujo teor de umidade, determinado em laboratório, foi de **8 %**. Calcular o volume de água a ser acrescentado para que essa amostra passe a ter **25 %** de teor de umidade:

$$W_i = M_s/M_w \rightarrow 0,08 = M_w/M_s \rightarrow M_w = 0,08M_s$$

$$M_s + M_w = 2000 \rightarrow 0,08M_s + M_s = 2000 \rightarrow M_s = 1851,85 \text{ g} \rightarrow M_w = 148,15 \text{ g}$$

$$W_f = M_wf/1851,85 \rightarrow M_wf = 1851,85 \times 0,25 \rightarrow M_wf = 462,96 \text{ g}$$

$$?V_w = ?M_w = 462,96 - 148,15 \rightarrow \boxed{?V_w = 314,81 \text{ cm}^3}$$

- 10)** Uma amostra indeformada de solo foi recebida no laboratório. Com ela realizaram-se os seguintes ensaios:

a) Determinação do teor de umidade (**w**): tomou-se uma amostra que, junto com a cápsula em que foi colocada, pesava **119,92 g**. Esta amostra permaneceu numa estufa a **105 °C** até constância de massa, após o que o conjunto, solo seco mais cápsula, pesava **109,05 g**. A massa da cápsula, chamada tara, era de **34,43 g**. Qual o valor da umidade?

$$M_s = 109,05 - 34,43 \rightarrow M_s = 74,62 \text{ g}$$

$$M_w = 119,92 - 109,05 \rightarrow M_w = 10,87 \text{ g}$$

$$\text{Então: } W = (10,87)/(74,62) \rightarrow \boxed{W = 14,57 \%}$$

- b) Determinação da massa específica dos grãos ( **$\rho_s$** ): Para esse ensaio, tomou-se uma amostra de **72,54 g** no seu estado natural. Depois de deixada imersa n'água de um dia para o outro e agitada num dispersor mecânico por **20 minutos**, foi colocada num picnômetro e submetida a vácuo por **20 minutos** para eliminar as bolhas de ar. A seguir, o picnômetro foi cheio de água **de aerda ata** (*Que porra é essa*) a linha de referencia. Esse conjunto apresentou uma massa de **749,43 g**. A temperatura da água foi medida, acusando **21 °C**, e para essa temperatura uma calibração previa indicava que o picnômetro cheio ate a linha de referencia pesava **708,07 g**. Determinar a massa específica dos grãos.

$$M_s = 749,43 - 708,07 \rightarrow M_s = 41,36$$

$$M_w = 72,54 - 41,36 \rightarrow M_w = 31,18$$

Aff... Esse ta foda...

11) Para construir um aterro dispõe-se de uma quantidade de terra, que é chamada pelos engenheiros de área de empréstimo, cujo volume foi estimado em **3000 m<sup>3</sup>**. Ensaaios mostraram que o peso específico natural ( $\gamma$ ) é da ordem de **17,8 kN/m<sup>3</sup>** e que a umidade é de cerca de **15,8 %**. O projeto prevê que no aterro o solo seja compactado com uma umidade de **18 %**, ficando com uma peso específico seco de **16,8 kN/m<sup>3</sup>**. Pergunta-se:

a) Que volume de aterro é possível construir com o material disponível?

$$\gamma = P/V \rightarrow 17,8 = P/3000 \rightarrow M = 5340 \text{ Kg}$$

$$M_w = 0,158M_s$$

$$M_w + M_s = 5340 \rightarrow M_s = 4611,394 \text{ g}$$

$$\gamma_d = P_s/V \rightarrow 16,8 = 10 \times (4611,394)/(V) \rightarrow V = 2744,88 \text{ m}^3$$

b) Que volume de água deve ser acrescentado?

$$M_{wi} = 0,158M_s \quad M_{wi} = 728,6 \text{ g}$$

$$W_f = M_{wf}/M_s \rightarrow 0,18 = M_{wf}/4611,394 \rightarrow M_{wf} = 830,051 \text{ g}$$

$$V_{acr} = M_{acr} = 830,51 - 728,6 \rightarrow V_{acr} = 101,4509 \text{ m}^3$$

12) A massa específica de um solo foi obtida através de medida direta sobre um corpo de prova de amostra indeformada a através de um cilindro cortante. No primeiro caso obteve-se cilíndrico  $\rho_1 = 1,75 \text{ g/cm}^3$  e no segundo  $\rho_2 = 1,83 \text{ g/cm}^3$ . Sabendo-se que o teor de umidade natural do solo é de **43,5 %** e que a massa específica dos sólidos é  $\rho_s = 2,75 \text{ g/cm}^3$ , qual dos dois valores poderá está mais correto?

$$\rho_s = M_s/V_s \rightarrow M_s = 2,75V_s$$

$$W = M_w/M_s \rightarrow M_w = V_w = 0,435M_s \rightarrow M_w = V_w = 1,19625V_s$$

$$\rho = M/V \rightarrow \rho = (M_s + M_w)/(V_s + V_w) \rightarrow \rho = (2,75V_s + 1,19625V_s)/(V_s + 1,19625V_s)$$

$$\rho = (3,94625)/(2,19625) \rightarrow \rho = 1,797 \text{ g/cm}^3$$

Apesar do valor mas próximo de  $\rho_2$ . O valor que deve estar mais correto é o de  $\rho_1$ , que aqui, foi desconsiderado o valor volume de ar, que causaria uma redução no valor de  $\rho$ .