

MECÂNICA DOS SOLOS

Compactação de solos (laboratório)

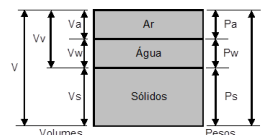
Prof. Dr. Edson de Moura

2. Semestre /2024

1

Compactação de solos

Podemos definir como compactação de solos o processo manual ou mecânico que visa **reduzir o volume de vazios de ar**. Com a redução do volume de vazios de ar o solo ganha resistência, se tornando menos deformável.

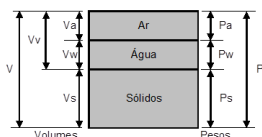


Mecânica dos Solos
Mecânica dos solos

Prof. Dr. Edson de Moura
Prof. Dr. Edson de Moura

2

Compactação de solos



Os benefícios de se compactar os solos empregados em camadas de pavimentos são:

- primeiramente a de aumentar a resistência do solo reduzindo deformações localizadas;
- uniformizar os deslocamentos, ocasionados pela ação do carregamento dos veículos, evitando-se assim, concentrações de tensões indesejáveis em determinadas camadas devido a deformações diferenciais acentuadas na estrutura do pavimento e,
- diminuir a permeabilidade da camada

Base experimental do ensaio é através de um procedimento laboratorial determinar os parâmetros que o solo pode apresentar as melhores condições quanto as propriedades de engenharia

Mecânica dos Solos
Mecânica dos solos

Prof. Dr. Edson de Moura
Prof. Dr. Edson de Moura

3

Compactação de solos

- Para materiais granulares, como as areias e britas, que não apresentam em sua composição materiais finos em quantidade suficiente que propicie coesão.



A densificação ocorre por vibração com emprego ou não de água como lubrificante.

Materiais com essas características não apresentam curva de compactação

Melhor abordado na aula de compactidade relativa (ID)

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

4

Compactação de solos

- Segundo Vargas (1977), compactação é o processo no qual se comunica ao solo estabilidade, para tanto, ocorre o aumento da densidade aparente e, por conseguinte, aumento de resistência. Estabilidade se refere à permanência de certo nível de resistência independentemente das variações climáticas, de tal modo que a estrutura não sofra ruptura ou danos significativos.
- Com a compactação pode-se utilizar imediatamente o solo estruturalmente.

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

5

Compactação de solos

- Com a compactação pode-se utilizar imediatamente o solo estruturalmente.



Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

6

Compactação de solos

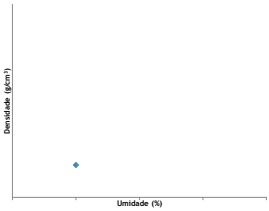
Porter em experiências no final da década de 1920 pôde constatar que ocorria uma redução nos poros do solo quando compactado, que, por conseguinte, um aumento no peso específico aparente. Observou que esse aumento de peso específico aparente ocorria com o aumento do teor de umidade e que após certo teor de umidade o peso específico máximo aparente diminuía.

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

7

Compactação de solos

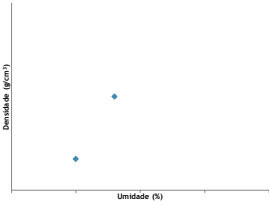


Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

8

Compactação de solos

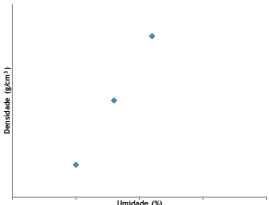


Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

9

Compactação de solos

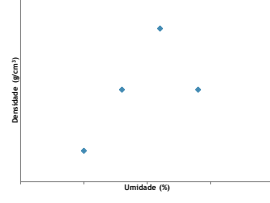


Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

10

Compactação de solos

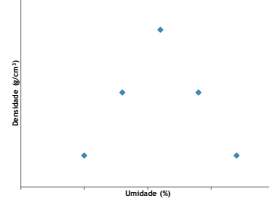


Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

11

Compactação de solos

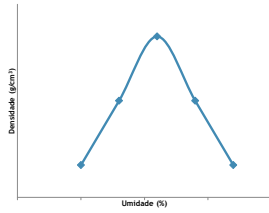


Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

12

Compactação de solos



Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

13

Compactação de solos

Proctor (1933) desenvolveu o procedimento laboratorial de compactação, denominado de Ensaio de Proctor, que foi padronizado pela AASHTO. O ensaio consiste em compactar o solo em três camadas em um cilindro de 1000 cm³, com vinte e cinco golpes por camada de um soquete de massa de 5lbs, altura de queda de 1 pé = 30,5 cm e 2" (50,8 mm) de diâmetro. Nessas condições de compactação é denominada de energia normal (EN)

Plotando-se as umidades de moldagem (w) e os respectivos pesos específicos aparentes secos (γ_s) têm-se a curva de compactação

$$W = \frac{P_w}{P_s}$$

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V}$$

Onde: W = teor de umidade (%)
 P_w = peso da água (massa da água) (N)
 P_s = peso dos sólidos (N)
 γ_s = massa específica aparente seca (kN/m³)
 V = volume total da amostra (m³)

Mecânica dos Solos

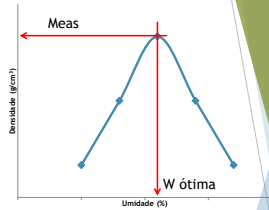
Prof. Dr. Edson de Moura

14

Compactação de solos

Proctor normatizou o processo de compactação:

- Tipos de energia EN e EM.
- El foi adotada no Brasil na década de 40 DER-SP
- Extraiu da curva os parâmetros de compactação: Umidade ótima (w_{ót}) e massa específica aparente seca (g/cm³)



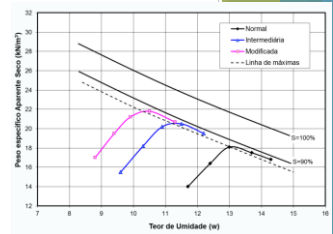
Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

15

Compactação de solos

Conforme a combinação dos tipos de moldes, 1.000 cm³ ou 2.000 cm³, tipo de soquete leve (5 lbs) ou pesado (10 lbs) e também quanto ao número de camadas e ao número de golpes por camada, tem-se outros dois níveis de energia: intermediária e modificada.



Energia de Compactação	Peso do soquete (kg)	Altura de queda do soquete (cm)	Número de camadas	Número de golpes	Volume do molde (cm³)	Energia Kg cm/cm³
Normal	2,5	30,5	3	26	1000	5,7
Intermediária	4,5	45,0	5	26	2000	13,0
Modificada	4,5	45,0	15	55	2000	27,0

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

16

Compactação de solos

Equipamentos utilizados moldes e soquetes



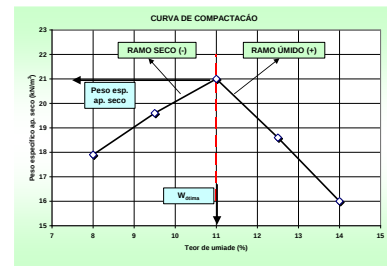
Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

17

Compactação de solos

Ramo seco e úmido da curva de compactação



Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

18

Compactação de solos

No ramo seco, segundo Lambe (1958), a concentração eletrolítica é elevada, o que propicia a predominância das forças atrativas, tipo forças de Van der Waals, nesse baixo teor de umidade, quando compactado, o solo apresenta-se como uma estrutura mais flocula.

Ao adicionar água a concentração eletrolítica diminui, permitindo a expansão da camada dupla de água, com o aumento das forças repulsivas e diminuição das atrativas.

Assim, com o aumento do teor de umidade ocorre a redução da floculação do solo, permitindo, dessa forma, um melhor rearranjo das partículas e, por conseguinte, o aumento da densidade.

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

19

Compactação de solos

O aumento da densidade associado ao aumento do teor de umidade, deve-se a lubrificação que melhora o deslizamento das partículas um em relação a outras e a elas adjacentes, devido a formação da camada dupla de água, deslizamento este facilitado pelo aumento das forças repulsivas, embora preponderem ainda as forças atrativas.

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

20

Compactação de solos

O peso específico aparente seco diminui por que a água dilui a concentração das partículas de solo por unidade de volume, ou seja, começa a ter água em excesso de forma a substituir as partículas de solo por água.

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

21

Compactação de solos

O peso específico aparente seco diminui por que a água dilui a concentração das partículas de solo por unidade de volume, ou seja, começa a ter água em excesso de forma a substituir as partículas de solo por água.

No ramo seco, a partir do teor ótimo de umidade (início do ramo úmido) as forças repulsivas começam a superar as atrativas, propiciando a formação de uma estrutura mais dispersa, com uma maior orientação das partículas.

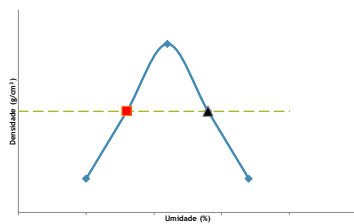
O aumento da energia tende a orientar as partículas, tornando as estruturas mais dispersas.

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

22

Compactação de solos



Pergunta-se: qual dos dois pontos – quadrado vermelho ou triângulo preto apresenta maior capacidade de fluxo de água, ou seja, maior permeabilidade? E porquê?

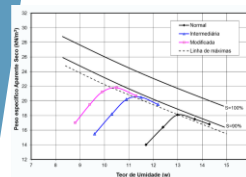
Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

23

Compactação de solos

Conforme apresentado na Figura abaixo temos as curvas de saturação S para 100% e 90%. Parâmetro considerado para avaliar o grau de saturação do volume de vazios. A curva de saturação é obtida a partir da determinação da massa específica aparente.



Onde:

- γ_s = massa específica aparente seca (g/cm^3)
- γ_d = peso específico dos grãos (g/cm^3)
- w = umidade (%)
- S = grau de saturação (%)

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

24

$$\gamma_s = \frac{1}{\left\{ \left(\frac{1}{\gamma_d} \right) + \left(\frac{w}{S} \right) \right\}}$$

Compactação de solos

Aluno: _____ Energia: () Normal () Intermediária () Intermediária Data: 01/01/2019

Determinação do Teor de Umidade

Parâmetro	1	2	3	4	5
Cápsula nº	65	73	187	51	47
P solo (m + Tara (g)	99,20	84,80	122,17	146,08	137,02
P solo seco + Tara (g)	92,37	79,81	136,18	130,32	120,83
Tara (g)	46,39	39,25	33,41	47,14	32,59
Pu (g)	47,01	40,56	74,67	84,09	73,66
Pu (g)	5,87	5,99	13,99	16,20	21,52
Umidade (%)	14,5	14,8	18,7	22,0	22,3
Teor de um. Média (%)	14,6		18,7	22,1	26,8

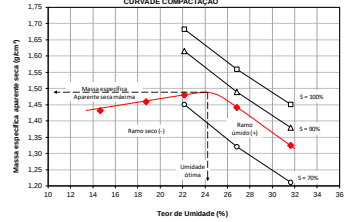
Dados da Compactação

	Massa do molde	2413,03 g	Volume do molde	1000,51 cm³	
Molde + solo (g)	4056	4146	4222	4242	4159
Solo úmido (g)	1643	1723	1829	1829	1745
Solo seco (g)	1433	1450	1481	1442	1326
M Esp. Ap. Úm. (g/cm³)	1,64	1,73	1,81	1,83	1,74
M Esp. Ap. Seca. (g/cm³)	1,43	1,45	1,48	1,44	1,32

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

Compactação de solos



W ótima	24,2%	Massa específica aparente seca máxima	1,48 g/cm³	Saturação na W ótima	80%
SATURACÃO					
Umidade (%)	Massa específica aparente				
	S = 100%	S = 80%	S = 70%		
22,1	1,68	1,62	1,45		
26,8	1,56	1,49	1,32		
31,6	1,45	1,38	1,21		

$w_d = 2,68 \text{ g/cm}^3$

$$\gamma_s = \frac{1}{\frac{1}{\gamma_d} + \frac{w}{S}}$$

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura