

MECÂNICA DOS SOLOS

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

19. Semestre 2024

**LIMITES DE ATTERBERG
E
CLASSIFICAÇÃO HRB**

Prof. Dr. Edson de Moura

1

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

LIMITES DE ATTERBERG

Iniciou seu trabalho preocupado com os componentes dos solos, mas acabou por concluir que, para as argilas, a sedimentação era um processo muito lento para fins de classificação, e que, frequentemente, nada revelava sobre as propriedades físicas dos solos.

Descobriu na plasticidade uma característica das argilas, o que o conduziu ao estabelecimento dos “limites”, que hoje levam seu nome.

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

4

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

LIMITES DE ATTERBERG

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

2

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

LIMITES DE ATTERBERG
As Propriedades de Engenharia e os limites de Atterberg

Terzaghi (1925) reconhecido como o pai da Mecânica dos solos, comenta que as propriedades de engenharia:

- (i) **permeabilidade,**
- (ii) **compressibilidade e**
- (iii) **resistência ao cisalhamento,**

dependem de fatores físicos, tais como a forma das partículas, o seu diâmetro efetivo e o grau de uniformidade do solo.

Mecânica dos Solos


Prof. Dr. Edson de Moura

5

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

LIMITES DE ATTERBERG

Atterberg, nascido em 1846, dedicou a maior parte de sua vida aos estudos sobre a agricultura. Foi somente no período de 1900 a 1916 que se voltou, principalmente, para questões relacionadas com solos e suas propriedades físicas.



Albert Mauritz Atterberg

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

3

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

LIMITES DE ATTERBERG
As Propriedades de Engenharia e os limites de Atterberg

Como os limites de Atterberg também dependem desses fatores, do seu conhecimento pode-se fazer inferências sobre as propriedades de engenharia de solos de mesma origem geológica. Foi sua ideia de agrupar os solos com propriedades de engenharia análogas, através de uma classificação baseada nos limites de Atterberg .

Mecânica dos Solos

Prof. Dr. Edson de Moura

6

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

LIMITES DE ATTERBERG

As Propriedades de Engenharia e os limites de Atterberg

Casagrande (1932) envidou esforços no sentido de padronizar os ensaios, preocupação que perdurou até nossos dias, principalmente o ensaio de limite de liquidez. O aparelho de ensaios que leva o seu nome.

Ademais, por sugestão de Terzagui, Casagrande (1944) desenvolveu um sistema de classificação baseado nos limites de Atterberg, visando a previsão das propriedades de engenharia dos solos.

Alertou para o fato de as propriedades assim obtidas serem as do solo remoldado, e foi o primeiro a visualizar a determinação do limite de liquidez como uma medida da resistência ao cisalhamento do solo, a percussão. Seus estudos levaram-no ao resultado de que no limite de liquidez os solos possuem uma resistência de 10 a 20 g/cm² (em média 1 g/cm² por golpe).

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

7

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Limite de liquidez

O limite de liquidez é uma medida do espaçamento entre as partículas do solo, para o qual as forças atrativas são reduzidas a um valor tal que a resistência ao cisalhamento é aproximadamente, 25 g/cm². É portanto, uma função da superfície específica das partículas, da capacidade de troca catiônica e do tipo de cátion presente nos poros, entre outros fatores.

A Influência da superfície específica das partículas foi apresentada por Lambe e Whitman (1969).

Partícula	Superfície específica (m ² /g)	Teor de umidade para película de água de 5Å (%)
Grão de areia (diâmetro de 0,1 mm)	0,03	10 ⁻⁴
Caulinita	10,0	0,5
Ílita	100,0	5,0
Montmorilonita	1000,0	50,0

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

10

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

LIMITES DE ATTERBERG

Atividade dos Solos

Um longo tempo de passou até que Skempton (1953) introduziu um novo conceito ligado a plasticidade: trata-se da "Atividade" dos solos. Esse autor notou que solos de mesma origem geológica, portanto com os mesmos minerais argila, possuíam índice de plasticidade linearmente crescente com o teor da fração argila. Isto é, a relação é constante e uma característica do solo ou dos minerais argila presentes.

$$A = IP / \% < 2\mu$$

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

8

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Limite de liquidez



Coleta a porção de solo que fechou e determina o teor de umidade e registra-se na folha de ensaio os dados de umidade e o respectivo número de golpes aplicados

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

11

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Atividade dos Solos

Para solos com montmorilonita, os mais ativos, $A = 5$ a 7 , para solos com caulinita, $A = 0,3$ e com ílita $A = 0,9$. A atividade das argilas depende assim, do tipo de mineral argila bem como do tipo de cátion. Por exemplo, uma bentonita com Mg apresentou $A = 7,09$ (Apud Mitchell, 1976).

Quanto maior a atividade de um solo mais importante é a influência da fração argila em suas propriedades e mais suscetível ele é aos tipos de íons trocáveis e a composição dos fluidos dos poros. Uma atividade elevada indica um solo que pode causar problemas face às suas altas capacidade de retenção de água, capacidade de troca catiônica, tixotropia e sensibilidade. (Perloff et al, 1976)

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

9

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Limite de plasticidade

O limite de plasticidade de um solo é a umidade em que a água livre começa a existir em excesso daquela necessária para satisfazer adsorção forte. A partir dele, a água começa a formar a camada dupla.

Pode ser também interpretado como o teor de umidade limite, abaixo do qual o solo perde plasticidade, isto é, deforma-se com mudança de volume e com trincamento.

O valor do limite de plasticidade varia em uma faixa relativamente estreita, comparativamente como os valores de limite de liquidez, talvez por isso mesmo sua determinação esteja sujeita menos erros, apesar do maior grau de subjetividade associado ao ensaio

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

12

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra



Figura 1: Limite de plasticidade. Fonte: Torres Geotecnia



Figura – Bruno Carrilho de Castro

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

13

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

LP	LL	
Sólido	Plástico	Líquido w%


Índice de Plasticidade $IP = LL - LP$

LC	LP	LL
Sólido	Plástico	Líquido w%

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

16

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra



Adsorção forte

Água em quantidade ideal para garantir a adsorção forte. Dipolo elétrico a molécula de água faz a ponte elétrica entre os grãos de solo

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

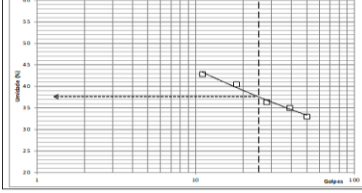
14

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Ensaio

FATEC - FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
LÍMITE DE LIQUIDEZ E LÍMITE DE PLASTICIDADE


Aluno	Disciplina		Data		
	Local				
LÍMITE DE LIQUIDEZ					
Aluno	1	2	3	4	5
Massa (g)	20,00	21,75	22,40	23,15	23,75
Pl. - Líquida	1,100	1,400	1,600	1,800	2,000
Temp. (s)	6,00	6,00	7,00	8,00	8,00
Pl. - Plástica	1,00	1,00	1,10	1,20	1,30
Temp. (s)	10	10	10	10	10
Temp. (s)	15	15	15	15	15
Temp. (s)	20	20	20	20	20
Temp. (s)	30	30	30	30	30
Temp. (s)	40	40	40	40	40
Temp. (s)	50	50	50	50	50
Temp. (s)	60	60	60	60	60
Temp. (s)	70	70	70	70	70
Temp. (s)	80	80	80	80	80
Temp. (s)	90	90	90	90	90
Temp. (s)	100	100	100	100	100
Temp. (s)	110	110	110	110	110
Temp. (s)	120	120	120	120	120
Temp. (s)	130	130	130	130	130
Temp. (s)	140	140	140	140	140
Temp. (s)	150	150	150	150	150
Temp. (s)	160	160	160	160	160
Temp. (s)	170	170	170	170	170
Temp. (s)	180	180	180	180	180
Temp. (s)	190	190	190	190	190
Temp. (s)	200	200	200	200	200



Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura


17

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra



Adsorção forte

Água em quantidade ideal para garantir a adsorção forte. Dipolo elétrico a molécula de água faz a ponte elétrica entre os grãos de solo



Adsorção fraca

Água em excesso diminui essa capacidade de ligação elétrica entre grãos de solo. Nesse ponto diz-se: camada dupla de água.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

15

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Ensaio

FATEC - FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
LÍMITE DE PLASTICIDADE

Prova	1	2	3	4	5
Capacidade	40	30	30		
Plim - Teta (g)	9,00	9,40	9,50		
Plm - Teta (g)	9,00	9,00	8,60		
Temp. (s)	5,00	6,00	5,50		
Pl (g)	3,50	2,11	3,05		
Plm (g)	0,00	0,40	1,70		
Capacidade (%)	10,0	10,0	20,0		
Média (%)			10,0		

RESULTADOS

Limite de Liquidez: 37,5

Limite de Plasticidade: 23,8

Índice de Plasticidade: 13,7

Observação:

Disciplinador: Data: / /

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

18

CLASSIFICAÇÃO HRB DE SOLOS

19

Classificação de solos HRB

Definição: Ação e o efeito de classificar, ordenar ou dispor por classes .
Associar elementos em grupos correlatos.

Solo

22

CONCEITO BÁSICO DE UMA CLASSIFICAÇÃO DE SOLO

A classificação de solos, consiste em agrupam em classes materiais de comportamento análogos. Existe entre o solo e a classe em que foi classificado uma relação biunívoca, (relação que associa, a cada um dos elementos de um conjunto, um único elemento de outro conjunto, e vice-versa).

Por exemplo: se uma classificação reza comportamento mecânico de solo é sabido que dentro de uma classe identificada como materiais bons quanto ao comportamento mecânico é de se esperar que todos os materiais que compõem essa classe tem o mesmo comportamento.

20

Classificação de solos HRB

Definição: Ação e o efeito de classificar, ordenar ou dispor por classes .
Associar elementos em grupos correlatos.

Parâmetros

Solo

23

CONCEITO BÁSICO DE UMA CLASSIFICAÇÃO DE SOLO

Através dessa relação biunívoca pode-se perfeitamente associar o comportamento de um solo, que está dentro de uma determinada classe ao desempenho esperado. Observe-se que entre o solo e os parâmetros existe uma relação biunívoca, logo, o solo está perfeitamente relacionado com os parâmetros e vice-versa.

Da mesma forma, as classes em que os parâmetros estão categorizados, pode-se constatar a mesma relação. A aplicação, objeto da classificação dos solos, correlaciona-se com as classes, que por sua vez, está associada aos parâmetros.

21

Classificação de solos HRB

Definição: Ação e o efeito de classificar, ordenar ou dispor por classes .
Associar elementos em grupos correlatos.

Parâmetros

Solo

24

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Definição: Ação e o efeito de classificar, ordenar ou dispor por classes .
Associar elementos em grupos correlatos.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

25

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Definição: Ação e o efeito de classificar, ordenar ou dispor por classes .
Associar elementos em grupos correlatos.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

28

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Definição: Ação e o efeito de classificar, ordenar ou dispor por classes .
Associar elementos em grupos correlatos.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

26

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Definição: Ação e o efeito de classificar, ordenar ou dispor por classes .
Associar elementos em grupos correlatos.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

29

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Definição: Ação e o efeito de classificar, ordenar ou dispor por classes .
Associar elementos em grupos correlatos.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

27

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Definição: Ação e o efeito de classificar, ordenar ou dispor por classes .
Associar elementos em grupos correlatos.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

30

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Definição: Ação e o efeito de classificar, ordenar ou dispor por classes .
Associar elementos em grupos correlatos.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

31

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Material	Identificação	Limites de Atterberg			Granulometria (percentual)*			Classificação HRB
		LL (%)	LP (%)	EP (%)	Abertura (mm) e número (n)			
0	Brite graduado	-	NP		2/10	0,42/40	0,075/200	
1	Brite graduado	-	NP					
2	Areia argilosa (clástica (AZ) - Brasil)	17	5					
3	Areia siltosa argilosa sedimentar - Suje	17	5					
4	Areia siltosa argilosa sobre grossa (SP) - Brasil	28	9					
5	Areia silteítica de basalto (SP) - Brasil	54	24					
6	Areia argilosa sobre basalto (SP) - Brasil	56	25					

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

34

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Classificação de solos TRB data da década de 1920 idealizada *Bureau of Public Roads* - BPR denominada de - *Highway Research Board* - HRB que após a 2ª Guerra Mundial sofreu alterações quando foi normalizada pela *American Association of State Highway Officials* - AASHTO, que perduram até nossos dias.

É um sistema de classificação de solos de aplicação rodoviária baseado nas propriedades índices: limites de Atterberg e na granulometria. Publicada nos anais da HRB em 1945.

Conforme visto anteriormente, na concepção dos limites de Atterberg, pode-se inferir as propriedades de engenharia: permeabilidade, deformabilidade e resistência ao cisalhamento de um solo através dos limites.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

32

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

35

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Numa escolha prévia de um dado material a ser empregado em uma obra de engenharia, a aplicação de ensaios custosos e demorados torna o custo da obra muito alto. Assim, pode-se, através da classificação de solos, agrupá-los conforme o comportamento face as propriedades de engenharia.

Ensaios com base nas propriedades de engenharia

Classificado

Classificado

Ensaios com base nas propriedades de engenharia

Limites de Atterberg + granulometria

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

33

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Classificação geral	Materiais granulares (d) (30% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais silteosos e argilosos (d) (mais de 20% passando na peneira nº 200)						
	A-1		A-3	A-2		A-2		A-4	A-5	A-6		A-7.5		A-7.6
Grupo	A-1.1	A-1.2	A-3	A-2.4	A-2.5	A-2.6	A-2.7	A-4	A-5	A-6	A-6	A-7.5	A-7.6	
Penetração: % que passa														
NP 60	50 máx.	50 máx.	50 máx.	10 máx.	10 máx.	10 máx.	10 máx.	30 máx.	30 máx.	30 máx.	30 máx.	30 máx.	30 máx.	
NP 200	5 máx.	5 máx.	5 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	30 máx.	30 máx.	30 máx.	30 máx.	30 máx.	30 máx.	
Características de fração que passa nº 40														
Limite de Liquidar (LL) (%)	0 máx.	NP	10 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	
Índice de Plasticidade (IP) (%)	0	0	0	4 máx.	4 máx.	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	10 máx.	11 máx.	11 máx.	11 máx.	
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Materiais que predominam	Pedra torrada, pedreg, e areia.			Areia fina				Areia e areia siltosa ou argilas		Solos silteosos		Solos argilosos		
Comportamento geral como sub-leito.	Estatuam a bom							Fraco a pobre						

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação de esquerda para a direita, por eliminação. O primeiro grupo de equidade que satisfizer aos dados, será o grupo procurado.

Solo A-7: Se IP < LL - 30 até A-7.5; Se IP > LL - 30, até A-7.6.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

36

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Material	Identificação	Limites de Atterberg			Granulometria (percentual)			Classificação HRB
		LL	LP	EP	Aberturas (mm) e número (φ)			
		(%)	(%)	(%)	2/10	0,42/60	0,075/200	
0	Brita graduada	-/-	NP	0	61	28	8	A-1-b
1	Brita graduada	-/-	NP					
2	Areia argilosa lefterica (R2) - Brasil	29	10					
3	Areia sedimentar - Suíça	17	5					
4	Areia silteosa argilosa sobre gesso (SP) - Brasil	28	9					
5	Argila lefterica de basalto (SP) - Brasil	54	24					
6	Argila argilosa sobre basalto (SP) - Brasil	56	25					

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

37

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Cadê a relação biunívoca?

Onde está a incompatibilidade dessa classificação?

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

40

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Com base nas características e aplicação de cada material descritas abaixo, comente sobre a eficácia da classificação HRB para os solos tropicais.

Material 0 corresponde a um material especificado pelo DNIT para construção de bases granulares de rodovias, com curva granulométrica atendendo a faixa D das especificações do mesmo órgão.

Material 1 precisa sofrer estabilização granulométrica (adição de outro material ou materiais) para atender as especificações do DNIT para se construir bases granulares enquadradas na faixa D.

O material 2 é muito utilizado como base de rodovias de baixo volume de tráfego. Apresenta baixa expansão e alta resistência de ISC. Perde pouca resistência quando em contato com água.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

38

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - Departamento de Transporte e Obras de Terra

Classificação de solos HRB

Já o material 3 precisou ser estabilizado com cimento para ser empregado sub-base de um pavimento de baixo volume de tráfego na Suíça.

Material 4 apresenta-se expansivo e de baixa capacidade de suporte (ISC). Quando em contato com água perde considerável resistência. Esse tipo solo tem apresentado problemas em taludes e aterro como erosão.

O material 5, embora muito contrátil, e apresentar trincamento, é pouco expansivo e resistente. Perde pouca resistência quando em contato com água e tem sido utilizado em bases de pavimentos de baixo volume de tráfego, *in natura*, com adição de areia ou material pético, ou mesmo com adição de cimento ou cal.

Já o material 6 é excessivamente contrátil e expansivo e perde considerável resistência quando em contato com água.

Mecânica dos Solos Prof. Dr. Edson de Moura

39