

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Prof. Dr. Edson de Moura

1º semestre 2025

# Dosagem Marshall de Misturas asfálticas

1

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

A dosagem Marshall consiste em um procedimento de ensaio de laboratório para a determinação teor ótimo de ligante asfáltico de projeto de misturas asfálticas.

Com a dosagem Marshall, obtém-se os parâmetros que nortearão a produção, aplicação e controle tecnológico da mistura asfáltica.

2

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

**Normas**

DNER-ME 043/1995– Mistura betuminosa a quente – ensaio Marshall, normalmente, referida como procedimento adotado para determinação do teor de ligante asfáltico, aponta somente o método de execução do ensaio de estabilidade e fluência.

ABNT-NBR 12891 (1993) Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall – Procedimento, apresenta o procedimento de dosagem de mistura asfáltica e, aponta a forma de obtenção dos parâmetros Marshall. Registra-se que essa norma foi descontinuada.

Atualmente, no Brasil não existe uma norma oficial de dosagem de misturas asfálticas

Julho 2021
Prof. Dr Edson de Moura

3

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

**Sequência de passos para a realização de uma dosagem Marshall**

- 1º Passo: Ensaios de caracterização :

  - Agregados – Brita 1, Pedrisco, pó de pedra e filler (Los Angeles, sanidade, forma, massas esp. aparente e real, etc.)
  - Ligante asfáltico (massa específica, viscosidade, PA, Fulgor, etc.)
- 2º Passo: Composição granulométrica - enquadrar os agregados em uma faixa granulométrica – dentro dos limites especificados
- 3º Passo: Preparar as porções de cada corpo de prova e aquecer à temperatura de misturação.
- 4º Passo: processar a misturação de cada corpo de prova e após 2h de cura à temperatura de compactação – Compactar os corpos de prova.
- 5º Passo: Pesagem hidrostática e determinação da volumetria de cada corpo de prova
- 6º Passo: Plotagem dos gráficos e determinação do teor ótimo de projeto

Julho 2021
Prof. Dr Edson de Moura

4

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

**Sequência de passos para a realização de uma dosagem Marshall**

- 1º Passo: Ensaios de caracterização :

  - Agregados – Brita 1, Pedrisco, pó de pedra e filler (Los Angeles, sanidade, forma, massas esp. Aparente e real, etc.)
  - Ligante asfáltico (massa específica, viscosidade, PA, Fulgor, etc.)

**Agregados**

Julho 2021
Prof. Dr Edson de Moura

5

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

**Índice de forma – Agregado graúdo**





Figura A1 - Definição das dimensões de uma partícula de agregado graúdo

$$I = \frac{C_{médio}}{E_{médio}}$$

**Resistência à abrasão Los Angeles**

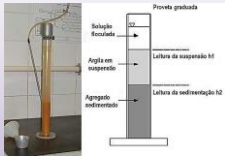


Julho 2021
Prof. Dr Edson de Moura

6

**Equivalente de areia**

**Massa específica aparente – real e absorção dos agregados graúdo**



Julho 2021

Prof. Dr. Edson de Moura

7

**Massa específica agregado miúdo – 0,075 mm < # < 4,76 mm**



8

**Massa específica de material finamente pulverizado - # < 0,075**



9

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – Departamento de Transportes e Obras de Terra

**Sequência de passos para a realização de uma dosagem Marshall**

- 1º Passo: Ensaios de caracterização :
- **Agregados** – Brita 1, Pedrisco, pó de pedra e filler (Los Angeles, sanidade, forma, massas esp. Aparente e real, etc.)
  - **Ligante asfáltico** (massa específica, viscosidade, PA, Fulgor, etc.)

Ligante asfáltico

Materiais de Pavimentação

Prof. Dr. Edson de Moura

10

**Ensaios de Consistência**

CURSO DE TREINAMENTO DE PAVIMENTO ALMEIDA SAPATA

**Penetração**



**Ponto de Amolecimento - Anel Bola**

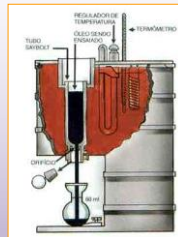


Julho 2021

Prof. Dr. Edson de Moura

11

**Ensaios de Consistência**



Viscosidade Saybolt Furol CAPs



Viscosímetro Rotacional (Brookfield) CAPs e ligante asfáltico modificados

Julho 2021

Prof. Dr. Edson de Moura

12

### Ensaio de Consistência



Recuperação elástica



massa específica do ligante

Julho 2021

Prof. Dr. Edson de Moura

13

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – Departamento de Transportes e Obras de Terra

### Sequência de passos para a realização de uma dosagem Marshall

2º Passo: Composição granulométrica - enquadrar os agregados em uma faixa granulométrica – dentro dos limites especificados

Julho 2021

Prof. Dr. Edson de Moura

14

### Composição dos corpos de prova Marshall

Peneiras	BRITA 1		PEDRISCO		PÓ DE PEDRA		Ca	Composição da mistura
	N.	mm	Porcentagem que passa	Porcentagem que passa	Porcentagem que passa	Porcentagem que passa		
3/4"	19.0	100	100	100	100	100	100.0	96.7
1/2"	12.5	89.8	100	100	100	100	96.7	
3/8"	9.50	39.7	98.0	100	100	100	80.0	
#4	4.75	0.5	1.79	99.9	100	100	58.0	
#60	2.0	0.4	0.07	55.2	100	100	32.8	
#80	0.42	0.3	0.07	25.4	99.6	100	15.5	
#80	0.18	0.3	0.06	15.2	96.4	100	9.7	
#200	0.075	0.2	0.1	9.8	98.3	100	6.6	

Composição	0.33	0.99	0.57	0.01	1.00
------------	------	------	------	------	------

Material	(%)
Brita 1	33.0
Pedrisco	9.0
Pó de pedra	57.0
Cal CH-I	1.0
	100.0



Julho 2021

Prof. Dr. Edson de Moura

15

### Sequência de passos para a realização de uma dosagem Marshall

4º Passo: Preparar as porções de cada corpo de prova e aquecer à temperatura de mistura.

Julho 2021

Prof. Dr. Edson de Moura

16

### Composição dos corpos de prova Marshall

A altura dos corpos de prova de mistura asfáltica após a moldagem devem ser de 63,5 mm com tolerância de +/- 1,3 mm. É recomendado que a massa de agregados e filler que irão compor cada corpo de prova seja obtida com as equação:

$$P = 270,054 * G_{sb} + 421$$

Gsb = Massa específica aparente do agregado total

Exemplo: Gsb = 2,692 g/cm<sup>3</sup>

Tem-se: P = 270,054 \* 2,692 + 421 = 1148 g

17

### Composição dos corpos de prova Marshall

Nas especificações é indicado o teor ótimo de projeto em função da faixa granulométrica. Assim, pode-se testar teores de +/- 0,5 e 1,0% em relação ao teor especificado.

COMPOSIÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA MARSHALL								1148	g/m <sup>3</sup>
cp. N.	teores	Massa de Ligante	Massa total do cp.	Composição (%)					
n.	(%)	g	g	Brita 1	Pedrisco	Pó de Pedra	Ca	Total	
1	4,0%	47,8	1195,8	378,8	103,3	654,4	11,5	1148,0	
2									
3									
4									
5	4,5%	54,1	1202,1	378,8	103,3	654,4	11,5	1148,0	
6									
7									
8	5,0%	60,4	1208,4	378,8	99,0	654,4	11,5	1142,7	
9									
10									
11	5,5%	66,8	1214,8	378,8	103,3	654,4	11,5	1148,0	
12									
13									
14	6,0%	73,3	1221,3	378,8	103,3	654,4	11,5	1148,0	
15									

P. ligante asfáltico	= 1100	% ligante * P. agregado
Teor de ligante asfáltico =	(P. ligante asfáltico + P agregado)	(1 - % ligante asfáltico)

18

Sequência de passos para a realização de uma dosagem Marshall

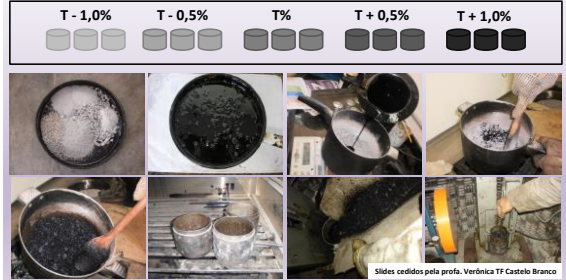
4º Passo: processar a misturação de cada corpo de prova e após 2h de cura à temperatura de compactação – Compactar os corpos de prova.

Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

19

- Determinação do número de grupos de corpos-de-prova a serem testados



Slides cedidos pela profa. Verônica TF Castelo Branco

20

Equipamentos Marshall



Materiais de Pavimentação

Prof. Edson de Moura

21

Sequência de passos para a realização de uma dosagem Marshall

5º Passo: Extração dos corpos de prova, pesagem hidrostática, determinação da volumetria de cada corpo de prova

Prof. Dr Edson de Moura

22

Volumetria dos corpos de prova

Extração dos corpos de prova após 12 h da moldagem

Medição da altura e do diâmetro em 4 posições.



Medição da massa ao ar



Para a determinação do volume aparente do corpo de prova



Medição da massa ao imersa

Registrar a temperatura da água

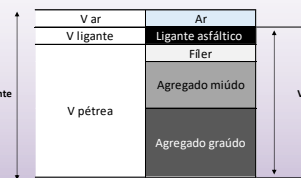
23

23

Volumetria dos corpos de prova



Apresentação esquemática de um mistura asfáltica



A diferença entre as medições da massa ar e da massa imersa

V real é obtido através da relação entre a massa pelas respectivas massas específicas reais dos material constituintes

Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

24

**Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto**

Através da massa específica dos materiais constituintes individualmente:

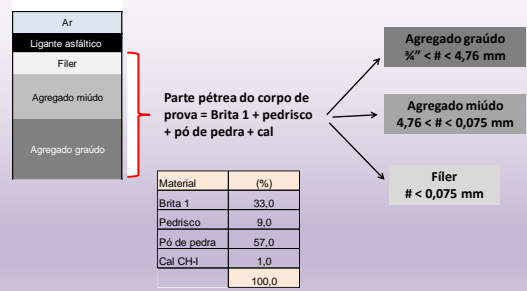
- Agregado graúdo
- Agregado miúdo
- Filer
- CAP

Julho 2021

Prof. Dr. Edson de Moura

25

**Volumetria dos corpos de prova**



Julho 2021

Prof. Dr. Edson de Moura

26

**Composição dos corpos de prova Marshall**

Peneiras	BRITA 1	PEDRISCO	PÓ DE PEDRA	CAL	Composição da mistura
N.	mm	100	100	100	100,0
3/4"	19,0	100	100	100	96,7
1/2"	12,5	89,8	100	100	92,7
3/8"	9,50	39,7	98,0	100	80,0
#4	4,75	0,5	1,79	99,9	58,0
#60	2,0	0,4	0,07	95,2	32,8
#80	0,42	0,3	0,07	25,4	15,5
#80	0,18	0,3	0,06	15,2	9,4
#200	0,075	0,2	0,1	9,8	6,6
Composição	0,33	0,09	0,57	0,01	1,00

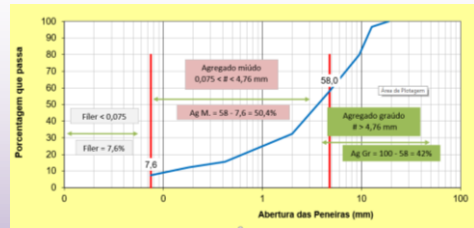
**VOCÊ LEMBRA ?**  
Composição

Material	(%)
Brita 1	33,0
Pedrisco	9,0
Pó de pedra	57,0
Cal CH-I	1,0
	100,0



27

**Composição dos corpos de prova Marshall**



Material	(%)	Material	(%)
Brita 1	33,0	Ag. Graúdo	42
Pedrisco	9,0	Ag. Miúdo	50,4
Pó de pedra	57,0	Filer	7,6
Cal CH-I	1,0		100,0
	100,0		

28

**Determinação da massa específica efetiva da mistura e agregados**

Frações dos agregados	Composição	Massa específicas (g/cm³)			Ponderação (g/cm³)
		real (Gsa)	aparente (Gsb)	efetiva	
Agregado graúdo	42,00%	2,84	2,838	2,839	1,192
Agregado miúdo	50,40%	2,836	2,829	2,833	1,428
Filer	7,60%	2,834		2,834	0,215
<b>M. resp. efetiva da mistura de agregados</b>					<b>2,835</b>

29

**Parâmetros Marshall**

$$\text{Teor de ligante} = \frac{M_{\text{ligante}}}{M_{\text{agregado}} + M_{\text{ligante}}}$$

Dentre os parâmetros Marshall o mais relevante é o volume de vazios, pois é através dele que os demais parâmetros são determinados

$$VV = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} * 100$$

$$VCB = \frac{G_{mb} * \%b}{\gamma_n} * 100$$

Esse parâmetro expressa o quanto dos vazios do agregado mineral, do corpo de prova compactado, estão preenchidos com ligante asfáltico

Expressa o volume de vazios intragranulares do corpo de prova compactado

$$VAM = VV + VCB$$

$$RBV = \frac{VCB}{VAM} * 100$$

RBV expressa a relação entre o volume de ligante asfáltico e o VAM

30

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

Característica dos Materiais:														
Agregado (origem: Basáltica) (a) = 2.835 g/cm³										M. esp. do Ligante Asfáltico CAP 3045 (b) = 1,020 g/cm³				
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pelo massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNT)														
CP	n.	Ligante asfáltico		Massa		Água		Volume		Absorção de água		M. específica		
		ao ar (%)	imersa (g)	Massa (g)	26,3°C (g)	Volume (cc)	Temp. (°C)	Grav. (g/cm³)	Vol. Teórico (cc)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
CP	-	-	-	-	(D-C)/E	(D-B)/E	B/F	(H-N)/(I-M)	B/F	(J-K)/J	K*L	K*L	L/M	N/O
1	3,5	1155,5	703,4	1167,0	0,9967									

31

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

Característica dos Materiais:														
Agregado (origem: Basáltica) (a) = 2.835 g/cm³										M. esp. do Ligante Asfáltico CAP 3045 (b) = 1,020 g/cm³				
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pelo massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNT)														
CP	n.	Ligante asfáltico		Massa		Água		Volume		Absorção de água		M. específica		
		ao ar (%)	imersa (g)	Massa (g)	26,3°C (g)	Volume (cc)	Temp. (°C)	Grav. (g/cm³)	Vol. Teórico (cc)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
CP	-	-	-	-	(D-C)/E	(D-B)/E	B/F	(H-N)/(I-M)	B/F	(J-K)/J	K*L	K*L	L/M	N/O
1	3,5	1155,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1								

32

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

Característica dos Materiais:														
Agregado (origem: Basáltica) (a) = 2.835 g/cm³										M. esp. do Ligante Asfáltico CAP 3045 (b) = 1,020 g/cm³				
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pelo massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNT)														
CP	n.	Ligante asfáltico		Massa		Água		Volume		Absorção de água		M. específica		
		ao ar (%)	imersa (g)	Massa (g)	26,3°C (g)	Volume (cc)	Temp. (°C)	Grav. (g/cm³)	Vol. Teórico (cc)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
CP	-	-	-	-	(D-C)/E	(D-B)/E	B/F	(H-N)/(I-M)	B/F	(J-K)/J	K*L	K*L	L/M	N/O
1	3,5	1155,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1	0,99							

33

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

Característica dos Materiais:														
Agregado (origem: Basáltica) (a) = 2.835 g/cm³										M. esp. do Ligante Asfáltico CAP 3045 (b) = 1,020 g/cm³				
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pelo massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNT)														
CP	n.	Ligante asfáltico		Massa		Água		Volume		Absorção de água		M. específica		
		ao ar (%)	imersa (g)	Massa (g)	26,3°C (g)	Volume (cc)	Temp. (°C)	Grav. (g/cm³)	Vol. Teórico (cc)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
CP	-	-	-	-	(D-C)/E	(D-B)/E	B/F	(H-N)/(I-M)	B/F	(J-K)/J	K*L	K*L	L/M	N/O
1	3,5	1155,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1	0,99	2,484						

34

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

Característica dos Materiais:														
Agregado (origem: Basáltica) (a) = 2.835 g/cm³										M. esp. do Ligante Asfáltico CAP 3045 (b) = 1,020 g/cm³				
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pelo massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNT)														
CP	n.	Ligante asfáltico		Massa		Água		Volume		Absorção de água		M. específica		
		ao ar (%)	imersa (g)	Massa (g)	26,3°C (g)	Volume (cc)	Temp. (°C)	Grav. (g/cm³)	Vol. Teórico (cc)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
CP	-	-	-	-	(D-C)/E	(D-B)/E	B/F	(H-N)/(I-M)	B/F	(J-K)/J	K*L	K*L	L/M	N/O
1	3,5	1155,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1	0,99	2,484	432,9					

Gmm (nesse procedimento) é determinado em função das massas específicas ponderadas dos agregados e do ligante asfáltico

35

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

Característica dos Materiais:														
Agregado (origem: Basáltica) (a) = 2.835 g/cm³										M. esp. do Ligante Asfáltico CAP 3045 (b) = 1,020 g/cm³				
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pelo massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNT)														
CP	n.	Ligante asfáltico		Massa		Água		Volume		Absorção de água		M. específica		
		ao ar (%)	imersa (g)	Massa (g)	26,3°C (g)	Volume (cc)	Temp. (°C)	Grav. (g/cm³)	Vol. Teórico (cc)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	Grav. (g/cm³)	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
CP	-	-	-	-	(D-C)/E	(D-B)/E	B/F	(H-N)/(I-M)	B/F	(J-K)/J	K*L	K*L	L/M	N/O
1	3,5	1155,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1	0,99	2,484	432,9	2,669				

36

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

Característica dos Materiais:													
Agregado (origem: Basáltica) (a) = 2.835 g/cm <sup>3</sup>										M. esp. do Ligante Asfáltico CAP 3045 (b) = 1,020 g/cm <sup>3</sup>			
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pela massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNIT)													
CP	n	Massa			Volume de água	M. específica			Volume de Vazios	V.C.B. de Vazios cheios de betume	V.A.M. de Vazios de Agr. Mineral	R.B.V. de Vazios de Agr. Mineral	
		ao ar	Imersa	Massa		25,3°C	Grav.	Vol Teórico					Grav.
(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)		
A	W	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
CP	-	-	-	-	(D-C)/E	(D-B)/D	B/F	(100-A*W)/(100-W*G)	B/I	(J-K)/J	K+L	L/M*100	
1	3,5	1155,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1	0,99	2,484	432,9	2,669	6,9	8,52	

37

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

Característica dos Materiais:													
Agregado (origem: Basáltica) (a) = 2.835 g/cm <sup>3</sup>										M. esp. do Ligante Asfáltico CAP 3045 (b) = 1,020 g/cm <sup>3</sup>			
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pela massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNIT)													
CP	n	Massa			Volume de água	M. específica			Volume de Vazios	V.C.B. de Vazios cheios de betume	V.A.M. de Vazios de Agr. Mineral	R.B.V. de Vazios de Agr. Mineral	
		ao ar	Imersa	Massa		25,3°C	Grav.	Vol Teórico					Grav.
(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)		
A	W	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
CP	-	-	-	-	(D-C)/E	(D-B)/D	B/F	(100-A*W)/(100-W*G)	B/I	(J-K)/J	K+L	L/M*100	
1	3,5	1155,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1	0,99	2,484	432,9	2,669	6,9	8,52	

38

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

Característica dos Materiais:													
Agregado (origem: Basáltica) (a) = 2.835 g/cm <sup>3</sup>										M. esp. do Ligante Asfáltico CAP 3045 (b) = 1,020 g/cm <sup>3</sup>			
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pela massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNIT)													
CP	n	Massa			Volume de água	M. específica			Volume de Vazios	V.C.B. de Vazios cheios de betume	V.A.M. de Vazios de Agr. Mineral	R.B.V. de Vazios de Agr. Mineral	
		ao ar	Imersa	Massa		25,3°C	Grav.	Vol Teórico					Grav.
(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)		
A	W	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
CP	-	-	-	-	(D-C)/E	(D-B)/D	B/F	(100-A*W)/(100-W*G)	B/I	(J-K)/J	K+L	L/M*100	
1	3,5	1155,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1	0,99	2,484	432,9	2,669	6,9	8,52	

39

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

Característica dos Materiais:													
Agregado (origem: Basáltica) (a) = 2.835 g/cm <sup>3</sup>										M. esp. do Ligante Asfáltico CAP 3045 (b) = 1,020 g/cm <sup>3</sup>			
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pela massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNIT)													
CP	n	Massa			Volume de água	M. específica			Volume de Vazios	V.C.B. de Vazios cheios de betume	V.A.M. de Vazios de Agr. Mineral	R.B.V. de Vazios de Agr. Mineral	
		ao ar	Imersa	Massa		25,3°C	Grav.	Vol Teórico					Grav.
(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)		
A	W	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
CP	-	-	-	-	(D-C)/E	(D-B)/D	B/F	(100-A*W)/(100-W*G)	B/I	(J-K)/J	K+L	L/M*100	
1	3,5	1155,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1	0,99	2,484	432,9	2,669	6,9	8,52	

40

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

ENSIAO MARSHALL - SPV 19,0mm													
Agregado (origem: Basáltica) (a) = 2.835 g/cm <sup>3</sup>										M. esp. do Ligante Asfáltico CAP 3045 (b) = 1,020 g/cm <sup>3</sup>			
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pela massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNIT)													
CP	n	Massa			Volume de água	M. específica			Volume de Vazios	V.C.B. de Vazios cheios de betume	V.A.M. de Vazios de Agr. Mineral	R.B.V. de Vazios de Agr. Mineral	
		ao ar	Imersa	Massa		25,3°C	Grav.	Vol Teórico					Grav.
(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)		
A	W	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
CP	-	-	-	-	(D-C)/E	(D-B)/D	B/F	(100-A*W)/(100-W*G)	B/I	(J-K)/J	K+L	L/M*100	
1	3,5	1155,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1	1,0	2,5	432,9	2,7	6,9	8,5	
2													
3													
4	4,0	1154,8	698,2	1169,8	0,9967								
5													
6													
7	4,5	1150,7	698,3	1163,0	0,9967								
8													
9													
10	5,0	1147,8	697,6	1149,0	0,9967								
11													
12													
13	5,5	1152,3	699,9	1163,0	0,9967								
14													
15													

41

Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto

**Gmm obtido através do MÉTODO RICE**  
**ABNT NBR 15619 (2011) e NORMA DNIT 427 (2020) – ME**  
**massa específica máxima teórica da mistura asfáltica**

Julho 2021 Prof. Dr Edson de Moura

42

**Massa específica máxima medida (MEMM) ABNT NBR 15619 - Método RICE**

Objetivo: Determinar a massa específica máxima medida da mistura asfáltica (DMM ou *Gmm*) levando em conta a absorção do ligante pelo agregado. Relacionada com a massa específica aparente obtém-se o volume de vazios de misturas asfálticas.

**Procedimento**

- 1º Passo Medir a massa do Kitasato seco e limpo na temperatura de 25°C;  
 $A = \text{_____} \text{ g};$
- 2º Passo Reparar ou coletar em usina uma amostra de mistura asfáltica com cerca de 1500g;
- 3º Passo Espalhar em uma bandeja destorroando os grumos com as mãos até estabilizar temperatura ambiente;
- 4º Passo Colocar a amostra dentro do kitasato e medir a massa do conjunto  
 $B = \text{_____} \text{ g};$



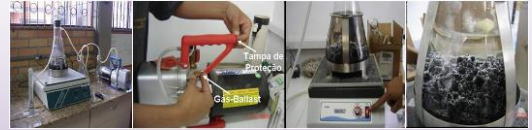
Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

43

5º Passo Adicionar água destilada no kitasato até cobrir totalmente a amostra e agitar vigorosamente;

6º Passo Ajustar o kitasato na mesa orbital e aplicar vácuo de 27±2 mm Hg (pressão residual) de 5 a 15 min. durante a agitação;



7º Passo Completar o nível do volume do kitasato com água destilada e medir a massa: kitasato + água + amostra, (C) = \_\_\_\_\_ g;

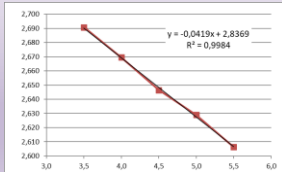


44

8º Passo Encher o kitasato com água destilada e medir a massa kitasato + água na temperatura de 25°C, (D) = \_\_\_\_\_ g;

**Cálculos**

$$Gmm = \frac{B - A}{(D - A) - (C - B)} \times 0,9971$$



Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

45

**Determinação do teor ótimo de ligante asfáltico de projeto**

ENSAIO MARSHALL - SPV 19,0mm													
Características da Mistura:													
Ligante asfáltico utilizado: _____													
Parâmetros Volumétricos													
Cm, %	Esp. rel. (20)	Massa		Água		Volumen. Relativa		V. absorvidos		V.C.B.		R.S.V. (Rel. Reten. Volum.)	
		abs (20)	rel. (20)	abs (20)	rel. (20)	abs (20)	rel. (20)	abs (20)	rel. (20)	abs (20)	rel. (20)		
<b>OP</b>													
1	3,5	1144,3	691,4	1144,4	0,9967	405,6	0,463	2,491	2,669	7,4	8,58	15,38	53,6
2	3,5	1158,0	700,7	1164,4	0,9967	465,5	0,56	2,489	2,669	7,5	8,54	15,99	53,4
3	3,5	1159,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1	0,65	2,493	2,669	7,3	8,55	15,86	53,9
<b>Média</b>													
3,50													
7,4													
8,5													
15,9													
53,7													
4	4,0	1127,4	701,5	1159,9	0,9967	459,9	0,21	2,517	2,669	5,7	8,87	15,57	63,4
5	4,0	1128,8	698,2	1158,8	0,9967	462,0	0,00	2,506	2,669	6,0	8,83	15,87	62,0
6	4,0	1159,9	693,3	1150,4	0,9967	462,7	0,04	2,509	2,669	6,0	8,84	15,83	62,2
<b>Média</b>													
4,00													
2,511													
5,9													
15,8													
62,5													
7	4,5	1157,8	699,6	1155,4	0,9967	467,3	0,20	2,531	2,649	4,4	11,17	15,59	71,6
8	4,5	1163,2	701,7	1160,5	0,9967	465,3	0,23	2,527	2,649	4,6	11,15	15,74	70,8
9	4,5	1154,7	699,3	1153,0	0,9967	456,1	0,15	2,531	2,649	4,4	11,17	15,59	71,6
<b>Média</b>													
4,50													
2,529													
4,5													
15,6													
71,4													
10	5,0	1151,8	697,6	1149,0	0,9967	452,9	0,24	2,543	2,628	3,2	12,47	15,70	79,4
11	5,0	1160,8	696,3	1147,8	0,9967	452,8	0,24	2,540	2,608	3,3	12,46	15,86	78,6
12	5,0	1164,9	706,9	1161,8	0,9967	456,4	0,27	2,552	2,628	3,0	12,51	16,40	81,3
<b>Média</b>													
5,00													
2,549													
3,2													
12,9													
15,6													
79,8													
13	5,5	1158,2	701,7	1155,1	0,9967	454,8	0,27	2,546	2,608	2,4	13,23	16,11	85,2
14	5,5	1149,5	694,5	1146,3	0,9967	453,3	0,27	2,536	2,608	2,8	13,67	16,44	83,2
15	5,5	1156,3	699,9	1153,0	0,9967	454,6	0,28	2,543	2,608	2,5	13,71	16,20	84,7
<b>Média</b>													
5,50													
2,545													
2,5													
13,2													
16,2													
84,4													

Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

46

Fatec – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – Departamento de Transportes e Obras de Terra

**Seqüência de passos para a realização de uma dosagem Marshall**

6º Passo: Plotagem dos gráficos e determinação do teor ótimo de projeto

Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

47

**Seqüência de passos para a realização de uma dosagem Marshall**

**Planilha Marshall completa**

ENSAIO MARSHALL - SPV 19,0mm													
Características da Mistura:													
Ligante asfáltico utilizado: _____													
Parâmetros Volumétricos													
Cm, %	Esp. rel. (20)	Massa		Água		Volumen. Relativa		V. absorvidos		V.C.B.		R.S.V. (Rel. Reten. Volum.)	
		abs (20)	rel. (20)	abs (20)	rel. (20)	abs (20)	rel. (20)	abs (20)	rel. (20)	abs (20)	rel. (20)		
<b>OP</b>													
1	3,5	1144,3	691,4	1144,4	0,9967	405,6	0,463	2,491	2,669	7,4	8,58	15,38	53,6
2	3,5	1158,0	700,7	1164,4	0,9967	465,5	0,56	2,489	2,669	7,5	8,54	15,99	53,4
3	3,5	1159,5	703,4	1167,0	0,9967	465,1	0,65	2,493	2,669	7,3	8,55	15,86	53,9
<b>Média</b>													
3,50													
7,4													
8,5													
15,9													
53,7													
4	4,0	1127,4	701,5	1159,9	0,9967	459,9	0,21	2,517	2,669	5,7	8,87	15,57	63,4
5	4,0	1128,8	698,2	1158,8	0,9967	462,0	0,00	2,506	2,669	6,0	8,83	15,87	62,0
6	4,0	1159,9	693,3	1150,4	0,9967	462,7	0,04	2,509	2,669	6,0	8,84	15,83	62,2
<b>Média</b>													
4,00													
2,511													
5,9													
15,8													
62,5													
7	4,5	1157,8	699,6	1155,4	0,9967	467,3	0,20	2,531	2,649	4,4	11,17	15,59	71,6
8	4,5	1163,2	701,7	1160,5	0,9967	465,3	0,23	2,527	2,649	4,6	11,15	15,74	70,8
9	4,5	1154,7	699,3	1153,0	0,9967	456,1	0,15	2,531	2,649	4,4	11,17	15,59	71,6
<b>Média</b>													
4,50													
2,529													
4,5													
15,6													
71,4													
10	5,0	1151,8	697,6	1149,0	0,9967	452,9	0,24	2,543	2,628	3,2	12,47	15,70	79,4
11	5,0	1160,8	696,3	1147,8	0,9967	452,8	0,24	2,540	2,608	3,3	12,46	15,86	78,6
12	5,0	1164,9	706,9	1161,8	0,9967	456,4	0,27	2,552	2,628	3,0	12,51	16,40	81,3
<b>Média</b>													
5,00													
2,549													
3,2													
12,9													
15,6													
79,8													
13	5,5	1158,2	701,7	1155,1	0,9967	454,8	0,27	2,546	2,608	2,4	13,23	16,11	85,2
14	5,5	1149,5	694,5	1146,3	0,9967	453,3	0,27	2,536	2,608	2,8	13,67	16,44	83,2
15	5,5	1156,3	699,9	1153,0	0,9967	454,6	0,28	2,543	2,608	2,5	13,71	16,20	84,7
<b>Média</b>													
5,50													
2,545													
2,5													
13,2													
16,2													
84,4													

Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

48

Sequência de passos para a realização de uma dosagem Marshall

Característica dos Materiais:										
Origem Base:										1,020
M esp. do Ligante Asfáltico CAP 30/45 (c)										
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pelo massa específica ponderada dos agregados e do ligante (DNIT)										
Cp's n.	Volume		Grav.		Vol. Teórico		Grav.		Vazios	
	cm <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
1	465,1	0,99	2,484	432,9	2,669	6,9	8,52	15,45	55,2	
2	462,0	0,35	2,490	436,3	2,647	5,6	9,80	15,37	63,8	
3	456,1	0,20	2,523	438,4	2,625	3,9	11,13	15,02	74,1	
4	452,9	0,10	2,534	440,9	2,603	2,6	12,42	15,07	82,4	
5	454,6	0,07	2,534	446,2	2,582	1,9	13,67	15,52	88,1	

Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

49

Sequência de passos para a realização de uma dosagem Marshall

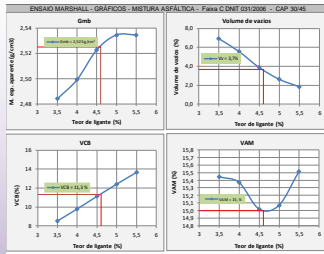
Característica dos Materiais:										
Origem Base:										3,2
Parâmetros Volumétricos - Base da Gmm obtida pelo massa específica ponderada dos agregados e do ligante										
Cp's n.	Altura		F.C.		Vazios		Calculado		Empilhado	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	63,1	1,035	331	828	857	2,45				
2	63,4	1,027	380	950	976	2,90				
3	63,2	1,033	421	1053	1087	3,10				
4	63,5	1,025	550	1375	1409	3,50				
5	62,5	1,052	480	1200	1262	4,20				

Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

50

Teor de ligante asfáltico de projeto e parâmetros Marshall



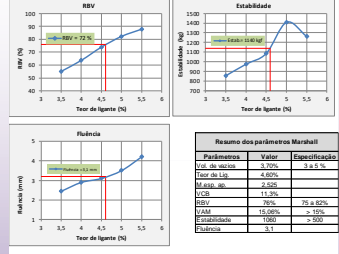
Parâmetros - Gráficos					
Teor	M. esp. 30	Vv	VCB	VAM	RBV
3,5	2,490	6,9	15,45	55,2	2,5
4,0	2,490	5,6	9,8	15,37	63,8
4,5	2,523	3,9	11,1	15,02	74,1
5,0	2,534	2,6	12,4	15,07	82,4
5,5	2,534	1,9	13,7	15,52	88,1

Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

51

Teor de ligante asfáltico de projeto e parâmetros Marshall



Parâmetros - Gráficos						
Teor	Gmm	Vv	VCB	VAM	RBV	Estabilidade
3,5	2,490	6,9	15,45	55,2	2,5	2,9
4,0	2,490	5,6	9,8	15,37	63,8	2,9
4,5	2,523	3,9	11,1	15,02	74,1	3,1
5,0	2,534	2,6	12,4	15,07	82,4	3,5
5,5	2,534	1,9	13,7	15,52	88,1	4,2

Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

52

Teor de ligante asfáltico de projeto

Como resultados do ensaio de dosagem Marshall, traçam-se gráficos dos parâmetros: volume de vazios, VCB, VAM, etc, em função dos teores de ligante asfáltico

Para a determinação do teor de ligante asfáltico de projeto da mistura asfáltica, primeiro verifica-se o teor correspondente ao volume de vazios de 4% (média entre 3% e 5%);

Em seguida, com esse teor verifica-se o VAM se é superior a 15% (como se trata de uma mistura asfáltica com distribuição granulométrica de DNIT = 19,0 mm), caso afirmativo, checka-se o RBV se enquadra-se entre 75% e 82%.

Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

53

Teor de ligante asfáltico de projeto

Se o teor de ligante asfáltico correspondente a 4% de volume de vazios atende aos demais parâmetros, adota-se esse teor como sendo o teor de ligante asfáltico de projeto.

Caso contrário, altera-se o teor de ligante asfáltico em função do volume de vazios (3% a 5%) de forma que os demais parâmetros sejam atendidos.

Julho 2021

Prof. Dr Edson de Moura

54

## ENSAIOS COMPLEMENTARES A DOSAGEM MARSHALL

55

## Adesividade

Adesividade de agregado a ligante asfáltico é a propriedade que tem o agregado de ser aderido por ligante asfáltico

56

### Métodos de avaliação da adesividade

- DNER-ME 078/94 – Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso
- NBR12583 DE 06/2017 - Agregado graúdo - Determinação da adesividade ao ligante betuminoso

Misturas asfálticas com distribuição granulométrica **CONTÍNUAS**:

- NORMA DNIT 180/2018 - ME Pavimentação - Misturas asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida – Método de ensaio
- NBR15617 DE 12/2015 - Misturas asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida

Misturas asfálticas com distribuição granulométrica **DESCONTÍNUAS**:

- NBR15140 DE 02/2014 - Misturas asfálticas — Determinação da perda de massa por abrasão cântabro
- DNER-ME 386/99 – desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero – ensaio Cantabro

57

### Métodos de avaliação da adesividade

- DNER-ME 078/94 – Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso
- NBR12583 DE 06/2017 - Agregado graúdo - Determinação da adesividade ao ligante betuminoso

Agregado graúdo:  
 $\frac{1}{2}'' < \# < \frac{3}{4}''$

M = 500 g aquecida 120°C – adiciona-se 17,5 g de ligante asfáltico e revolver até total recobrimento

Depois de esfriada, a mistra deve ser colocada em um becker e adicionar água até cobrir totalmente a mistura, em seguida levar a estufa com 40°C por um período de 72 h.

Após esse período, esparramar a amostra sobre um papel siliconado e observar o recobrimento dos agregados pelo filme de ligante asfáltico



58

### Métodos de avaliação da adesividade

- DNER-ME 078/94 – Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso
- NBR12583 DE 06/2017 - Agregado graúdo - Determinação da adesividade ao ligante betuminoso

Ensaio muito utilizado para verificação da efetividade de DOPs

**IMPORTANTE** - Os aditivos denominados de DOP, tem a função de mudar a polaridade do ligante asfáltico e, dessa forma, permite uma melhor “molhagem” do agregado pelo ligante asfáltico.

O não recobrimento do agregado pelo ligante, deve-se única e exclusivamente pela mesma polaridade elétrica entre os materiais.

**CUIDADOS COM OS TIPOS DE DOPs, PODEM EVAPORAR JÁ NA ADIÇÃO AO LIGANTE ASFÁLTICO**

59

### Métodos de avaliação da adesividade

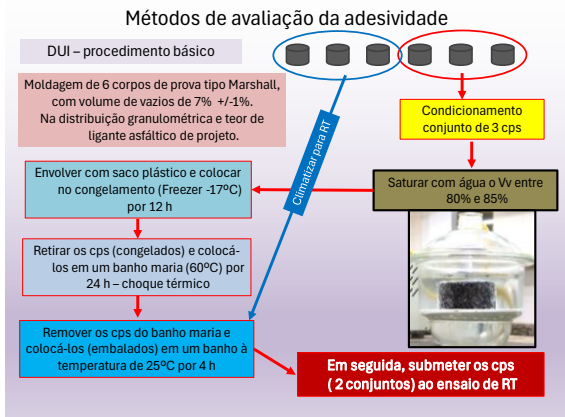
Misturas asfálticas com distribuição granulométrica **CONTÍNUAS**:

- NORMA DNIT 180/2018 - ME Pavimentação - Misturas asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida – Método de ensaio
- NBR15617 DE 12/2015 - Misturas asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida

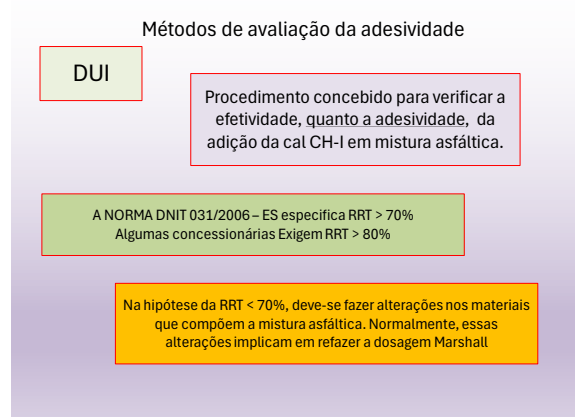
DUI

É a relação entre a RT (média 3 cps Marshall) submetidos a condicionamento (severo) pela média da RT de corpos de prova sem condicionamento

60



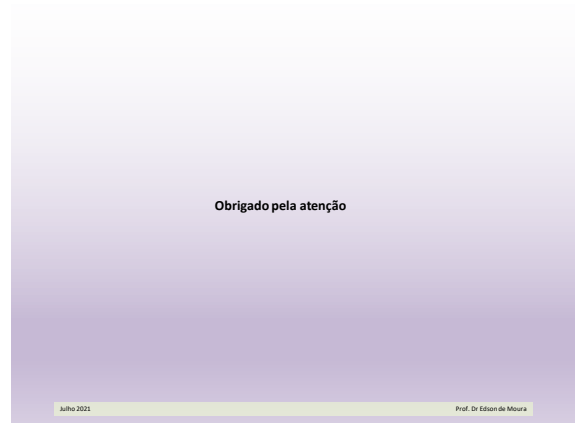
61



62



63



64