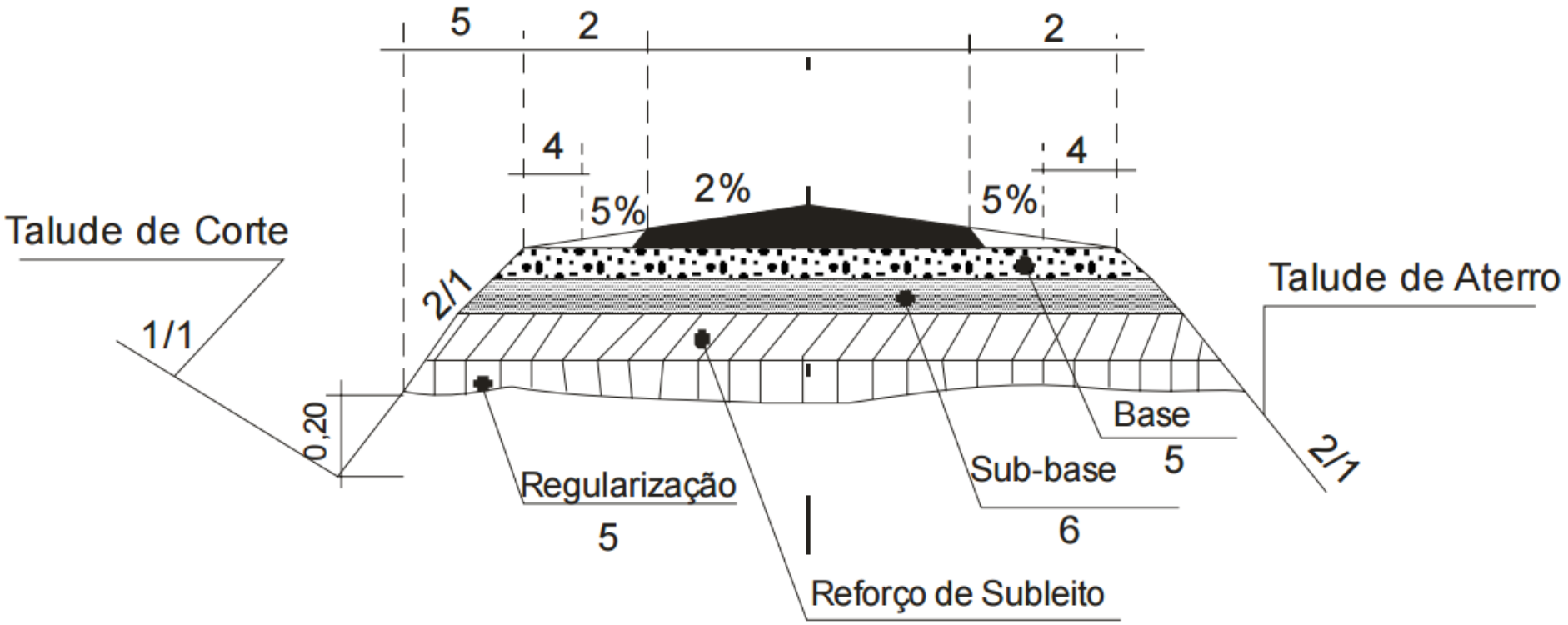
MC2 - Ensaios de Qualidade de Pavimentos

Eng. Marco Antônio B. Traldi
Tecgº. Daniel Menezes Brandão
TCE-GO

Goiânia / maio 2017

Pavimentos Flexíveis

SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA DE UM PAVIMENTO FLEXÍVEL



Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

Relevância do controle tecnológico

- Verificar a adequação técnica
  - Insumos
  - Produção
  - Produto
- Conduzir ao bom desempenho e à durabilidade dos pavimentos
- Subsidiar medições

Requisitos técnicos

- Solos/misturas (p/ camadas de pavimentos)

Corpo de aterro	DNIT-ES 108/2009	ISC≥2%
		Expansão≤4%
Camada final de aterro	DNIT-ES 108/2009	Preferencialmente ISC≥6%
		Expansão≤2%
Sub-base estabilizada granulometricamente	DNIT-ES 139/2010	IG = 0
		Material retido na peneira nº 10 deve ser constituído de partículas duras
		ISC≥20%
		Expansão≤1%
		Solos lateríticos podem apresentar IG≠0 e Expansão>1%, desde que sua expansibildiade seja inferior a 10%
Base estabilizada granulometricamente	DNIT-ES 141/2010	Granulometria enquadrada em alguma das faixas A, B, C, D, E e F
		% passante na peneira nº 200 não deve ultrapassar 2/3 da % passante na peneira nº 40
		Material passante nº 40: LL≤25%, IP≤6%
		CBR≥60%, caso $N \leq 5x10^6$
		CBR≥80%, caso $N > 5x10^6$
		Material retido na peneira nº 10: desgaste ≤ 55%

Rotina de controle tecnológico (ensaios)

- Solos/Misturas

Controle insumos

*Compactação

*Granulometria

*LP, LL

*CBR e expansão





Controle execução

*Teor de umidade

*Grau de compactação



DNIT-ES 108/2009, DNIT-ES 139/2010 e DNIT-ES 141/2010

Ensaios de pavimentos (flexíveis)

- Solos/Misturas
  - Preparação de amostras para ensaios



Secar ao ar



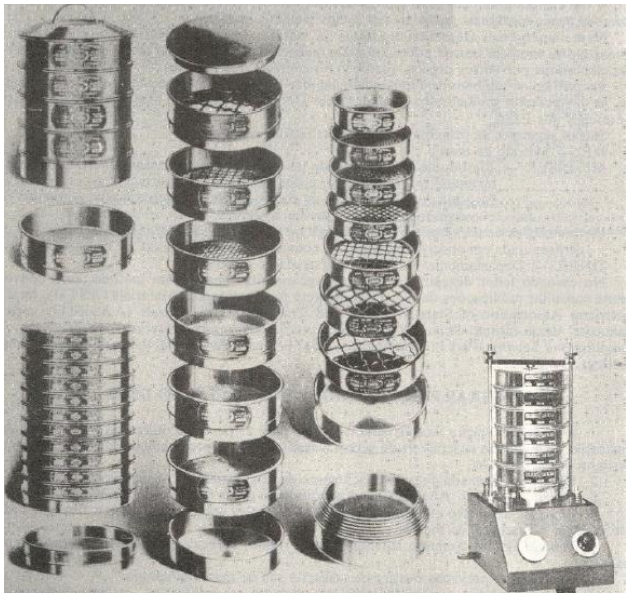
Destorroar



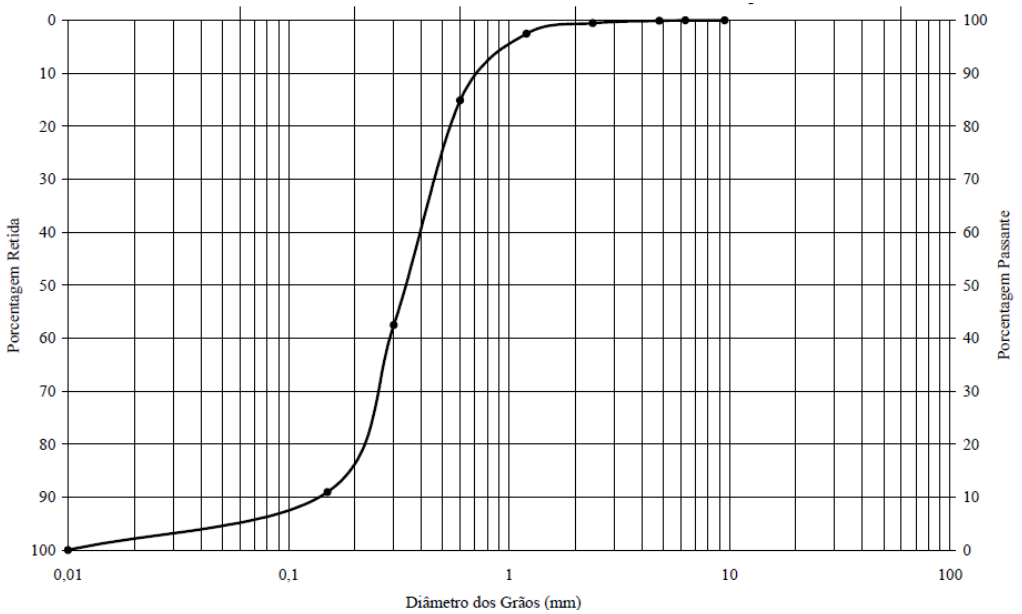
Reduzir material até a massa desejada

Ensaios de pavimentos (flexíveis)

- Solos/Misturas
  - Granulometria



Medir massas retidas



Traçar curva Granulométrica

DNER-ME 080/94

Ensaios de pavimentos (flexíveis)

- Solos/Misturas
  - CBR/Expansão



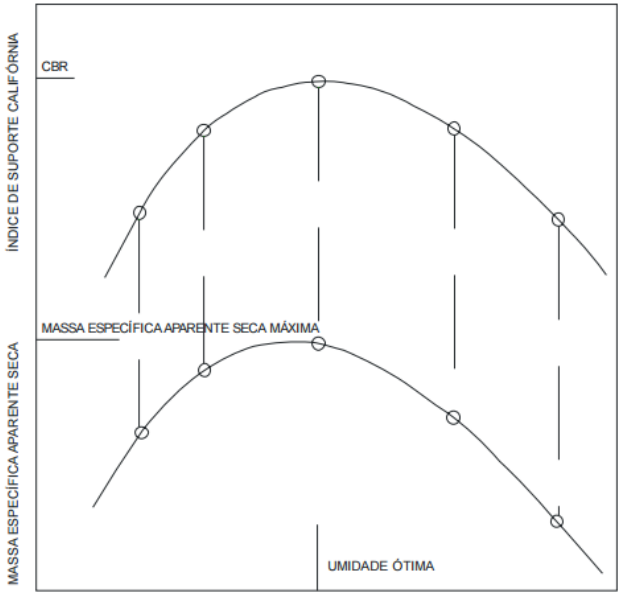
Compactar



Imersão por 96h



Ensaiar na prensa



Determinar o ISC

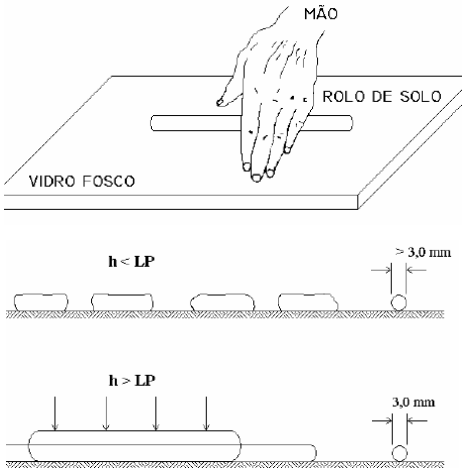
DNIT-ME 172/2016

Ensaios de pavimentos (flexíveis)

- Solos/Misturas
  - Limite de Plasticidade e Liquidez



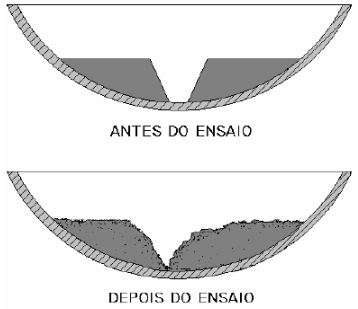
Rolar solo sobre a placa



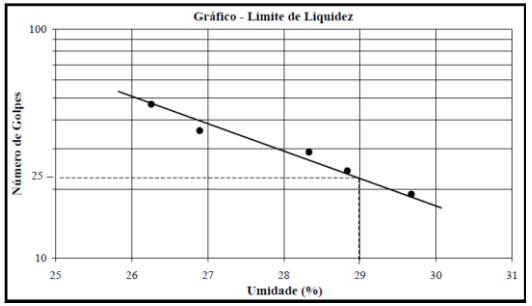
Momento de paralização do ensaio



Preencher cunha e executar friso



Momento de paralização



DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94

Lab. Móvel TCE-GO

- Solos/Misturas



Ensaios Lab. Móvel TCE

- Principais ensaios realizados

(Solos e misturas)

Ensaio de compactação

Massa específica seca *in situ*

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Solos
  - Compactação

Preparar amostra



Compactar material

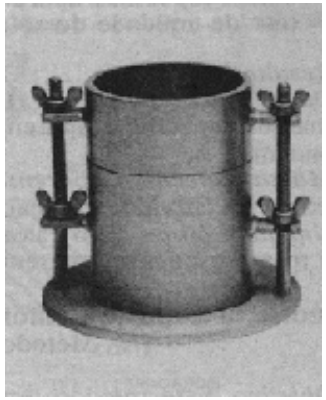


Energias de Compactação		
Proctor	Golpes/ Camada	N° de Camadas
Método A - Normal	12	5 camadas iguais
Método B Intermediário	26	
Método C Modificado	55	

DNER-ME 164/2013

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Solos
  - Compactação



Moldar 05 CP

$Mh_1;V_1;W_1$

$Mh_2;V_2;W_2$

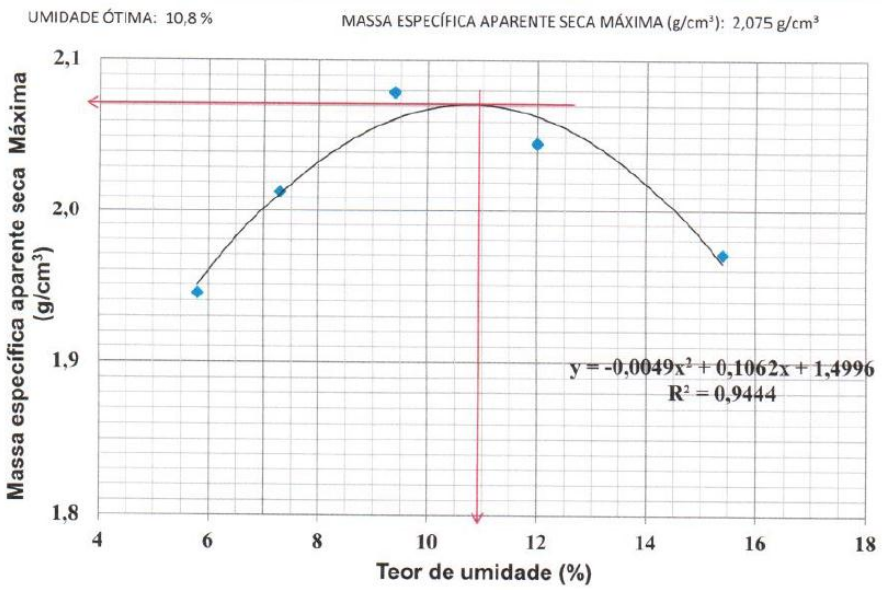
$Mh_3;V_3;W_3$

$Mh_4;V_4;W_4$

$Mh_5;V_5;W_5$

$$\rho_{nat} = \frac{M_h}{V_{cil}}$$

$$\rho_d = \frac{\rho_{nat}}{W}$$



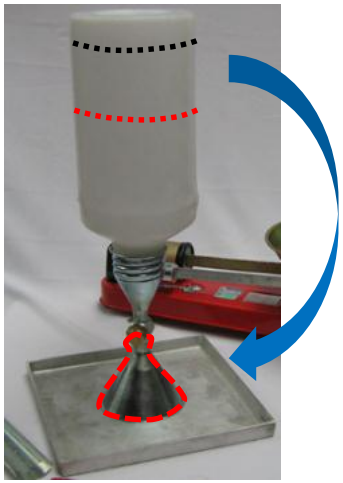
DNER-ME 164/2013

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Solos
  - Massa específica seca *in situ*



M_1



areia deslocada



M_2

$$M_3 = M_1 - M_2$$

Determinar massa de areia no cone (M_3)

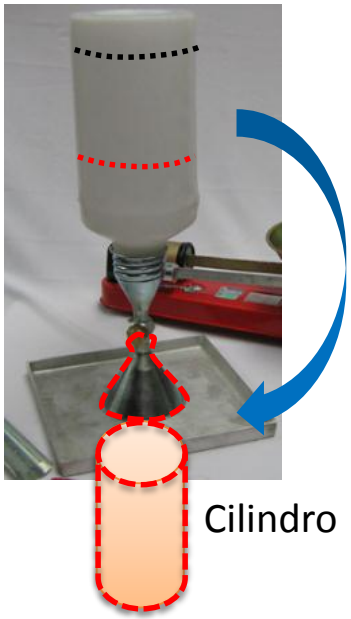
DNER-ME 092/94

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Solos
  - Massa específica seca *in situ*



M_4



Cilindro

areia deslocada



M_5

$$M_6 = M_4 - M_5 - M_3$$

$$\rho_{areia} = \frac{M_6}{V_{cil}}$$

Determinar massa específica da areia (ρ_{areia})

DNER-ME 092/94

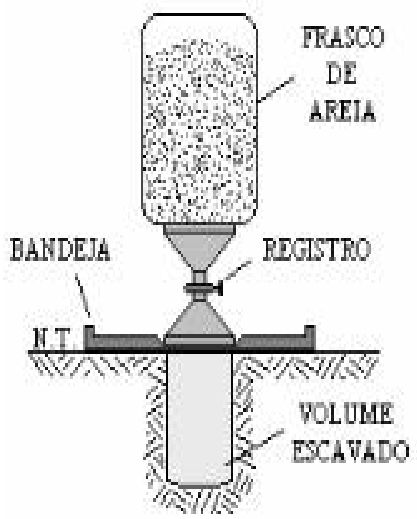
Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Solos
  - Massa específica seca *in situ*

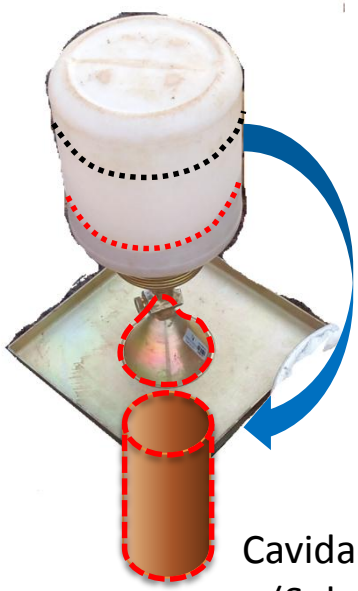




Executar furo no solo



M_7



areia deslocada

Cavidade (Solo)



M_8

DNER-ME 092/94

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Solos
  - Massa específica seca *in situ*
    - Determinar a massa de areia deslocada (M_9)

      $$M_9 = M_7 - M_8$$

    - Determinar a massa de areia que preenche a cavidade (M_{10})

      $$M_{10} = M_9 - M_3$$

    - Calcular a massa específica aparente do solo úmido (ρ_{nat})

      $$\rho_{nat} = \rho_{areia} x \frac{M_H}{M_{10}}$$

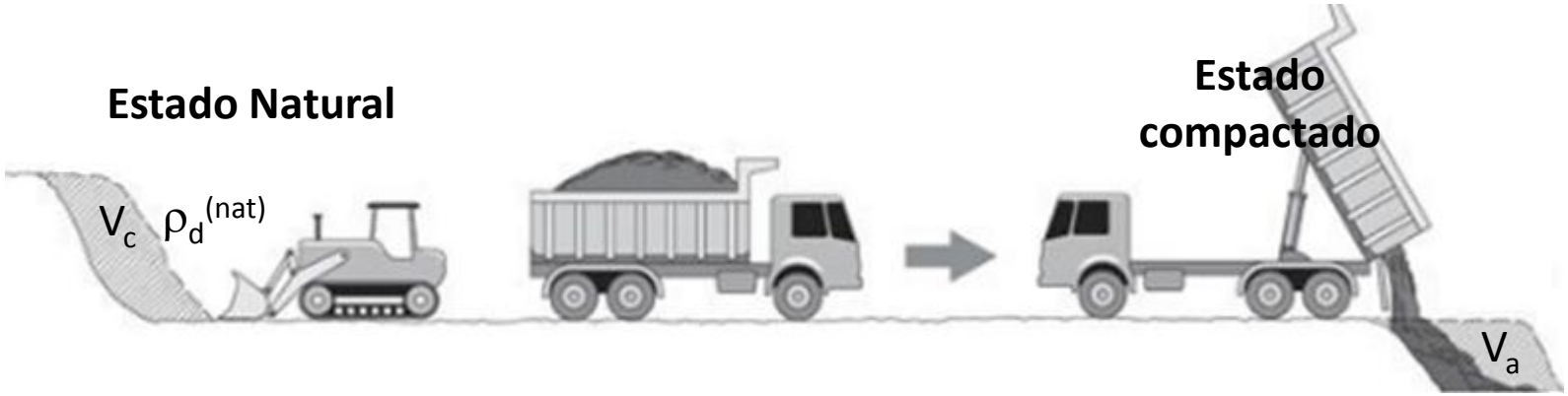
    - Calcular a massa específica aparente seca do sol (ρ_d)

      $$\rho_d = \rho_{nat} x \frac{1}{1+W/100}$$

DNER-ME 092/94

Aplicações no controle externo

Ensaio	Achados de auditoria
SOLOS	
Compactação e Densidade *in situ*	>Superfaturamento dos serviços de escavação, carga e transporte de solos (terraplenagem e pavimentação)



$$E = \rho_d^{(lab)}/\rho_d^{(nat)} - 1 \quad \Rightarrow \quad V_c = V_a \times (1+E)$$

Requisitos técnicos

- Revestimentos asfálticos
  - CAP
    - CAP-30/45, CAP-50/70 e CAP-85/100
  - Agregado Graúdo
    - Desgaste Abrasão Los Angeles ≤ 50%
    - Índice de forma > 0,5
    - Durabilidade: perda inferior a 12%
  - Agregado Miúdo
    - Equivalente de areia ≥ 55%

DNIT-ES 031/2006

Requisitos técnicos

- Revestimentos asfálticos
  - Composição da mistura

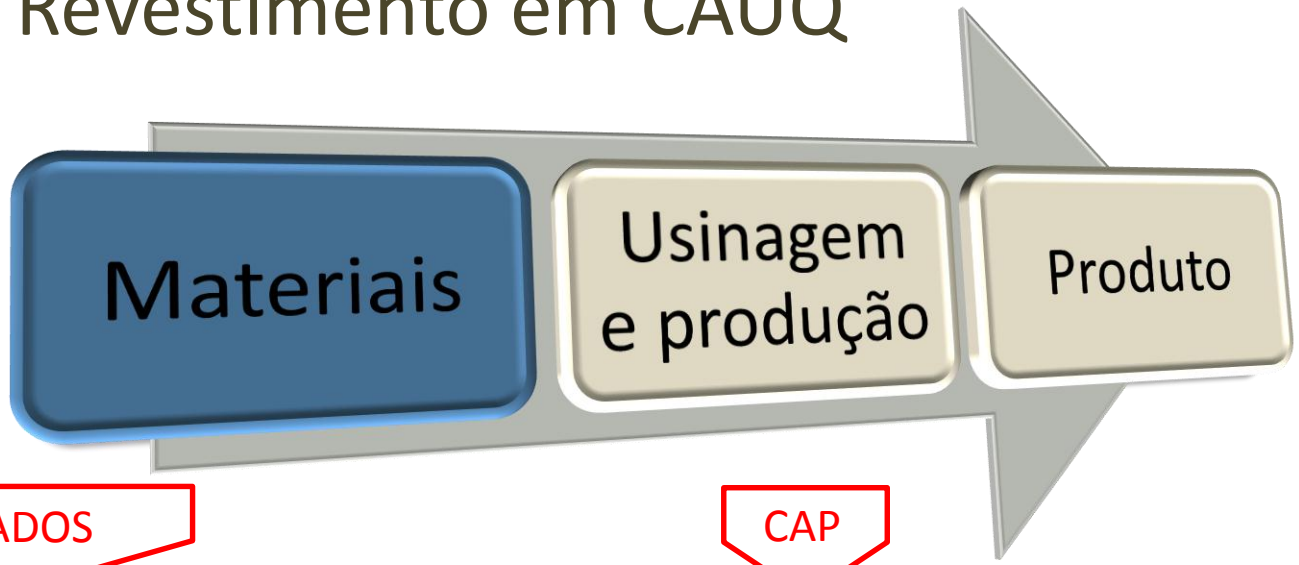
Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 ½"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
¾"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
½"	12,7	-	-	80 - 100	± 7%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	± 7%
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	± 2%
Asfalto solúvel no CS2(+) (%)		4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	± 0,3%

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)
Porcentagem de vazios, %	DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6
Relação betume/vazios	DNER-ME 043	75 – 82	65 – 72
Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes)	DNER-ME 043	500	500
Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25ºC, mínima, MPa	DNER-ME 138	0,65	0,65

DNIT-ES 031/2006

Rotina de controle tecnológico (ensaios)

- Revestimento em CAUQ



AGREGADOS

Granulometria
Equivalente de areia
Abrasão Los Angeles
Adesividade
Índice de forma

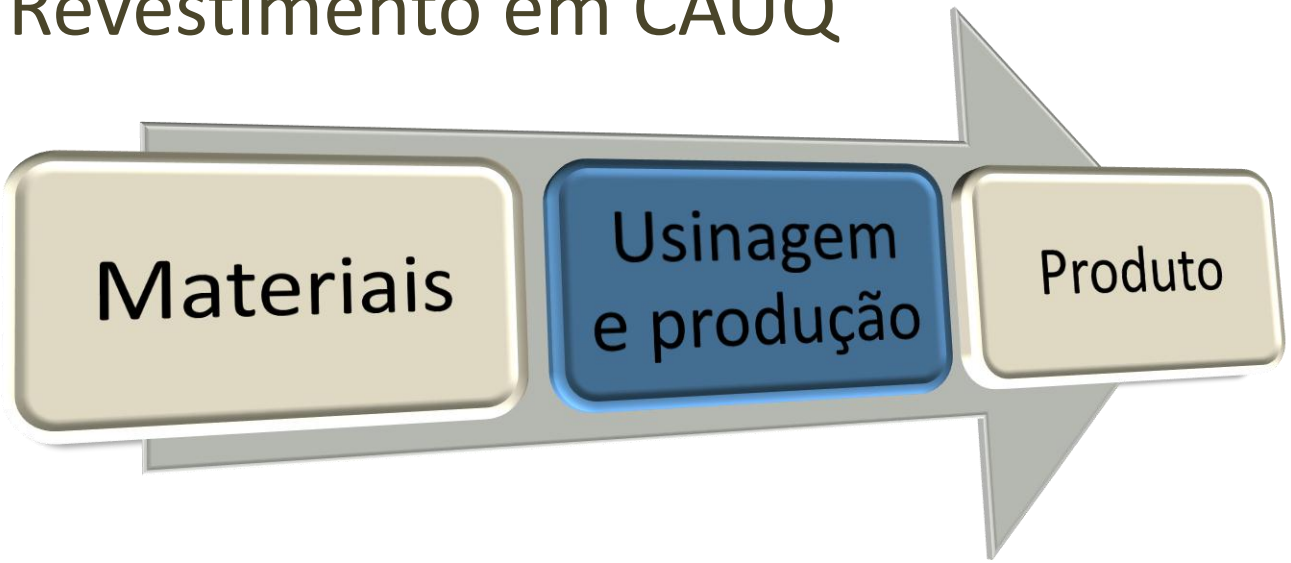
CAP

Penetração
Ponto de fulgor
Ensaio de espuma
Viscosidade Saybol-Furol
Índice de susceptibilidade térmica

DNIT-ES 031/2006

Rotina de controle tecnológico (ensaios)

- Revestimento em CAUQ



Temperatura usina

Do agregado, no silo quente ($T_{AGREG}=T_{LIG}+10°$ ou $15°$)
Do ligante, na usina ($107° \leq T_{LIG} \leq 177°$)
Da mistura, na saída do misturador (T → Projeto)

DNIT-ES 031/2006

Rotina de controle tecnológico (ensaios)

- Revestimento em CAUQ



Temperatura pista

Após a passagem da acabadora:
($T=T_{PROJ}\pm5°$)



Ensaios

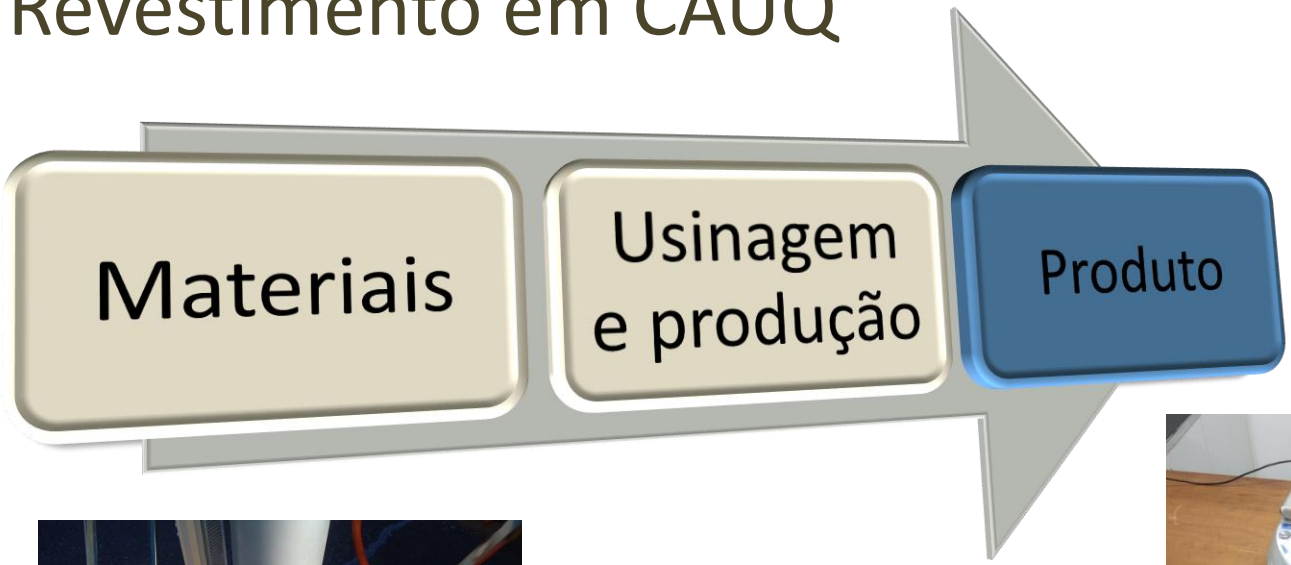
% de ligante da mistura
Granulometria
Ensaio Marshall
$R_{Tração}$ por compressão diametral



DNIT-ES 031/2006

Rotina de controle tecnológico (ensaios)

- Revestimento em CAUQ



Espessura



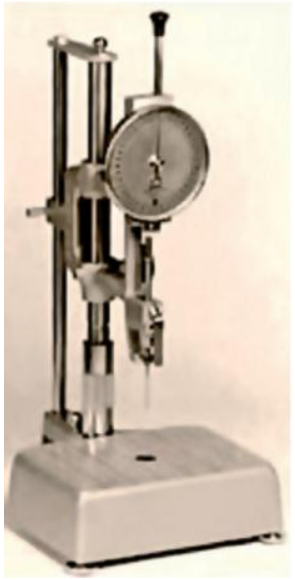
Grau de compactação



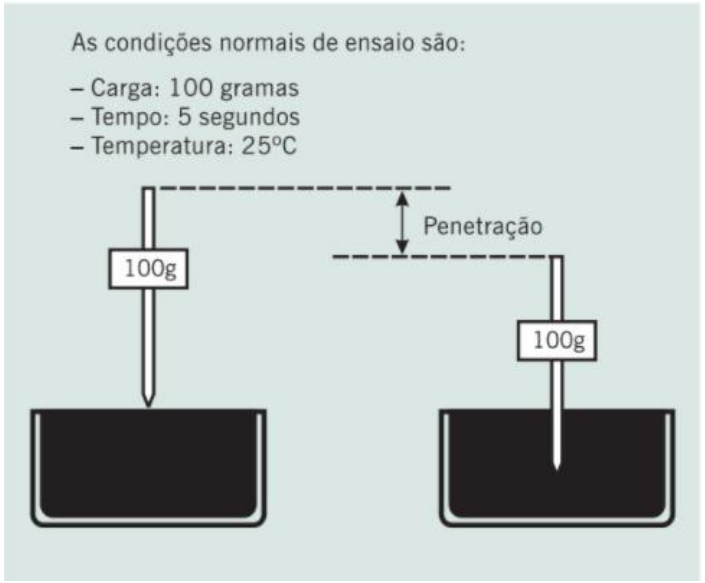
DNIT-ES 031/2006

Ensaios de pavimentos (flexíveis)

- Revestimentos asfálticos
  - CAP (penetração)



Equipamento



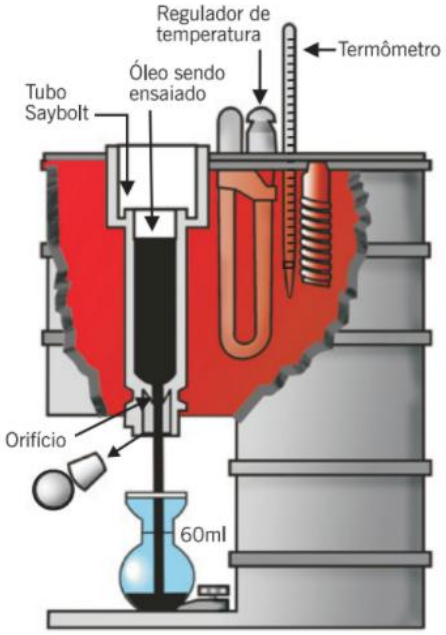
Esquema de ensaio

Ensaios de pavimentos (flexíveis)

- Revestimentos asfálticos
  - CAP (viscosidade)



Equipamento

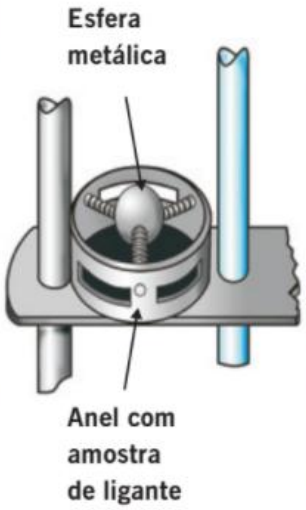


Esquema de ensaio

Ensaios de pavimentos (flexíveis)

- Revestimentos asfálticos
  - CAP (ponto de amolecimento)







Esquema de ensaio

Ensaios de pavimentos (flexíveis)

- Revestimentos asfálticos
  - Agregados (abrasão Los Angeles)



Equipamento

$$LA = \frac{M_i - Mf}{M_i} x100$$

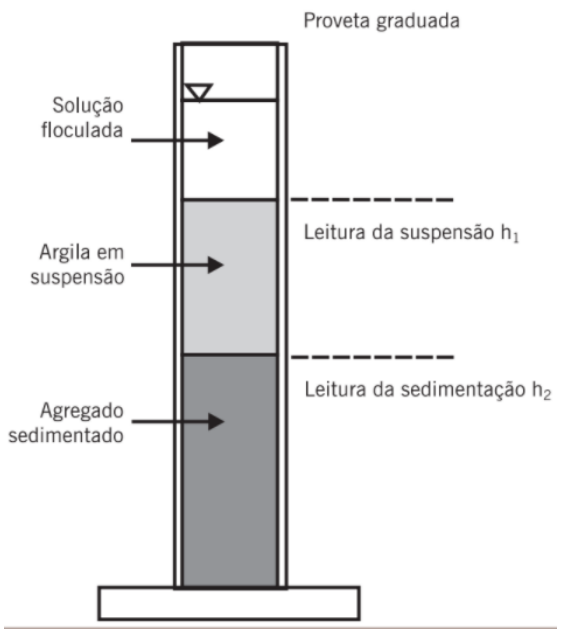
M_i – Massa seca inicial
M_f – Massa retida na peneira de 1,7 mm

Ensaios de pavimentos (flexíveis)

- Revestimentos asfálticos
  - Agregados (equivalente de areia)



Equipamento





Esquema de ensaio

Lab. Móvel TCE-GO

- Revestimentos asfálticos



Ensaios Lab. Móvel TCE

- Principais ensaios realizados

(Revestimento asfáltico)

Espessura

Densidade aparente

Teor de ligante

Granulometria de agregados

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Revestimento Asfáltico
  - Espessura de camadas



Planejar

DNIT-ES 031/2006

↓

$Nº_{furos}$ = 1 / 700 m²

PROC–IBR–ROD 101/2016

↓

$Nº_{furos}$ = 1 / 7.000 m²

DNIT-ES 031/2006 e PROC–IBR–ROD 101/2016

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Revestimento Asfáltico
  - Espessura de camadas



Extrair CP



Limpar



Marcar



$$Esp = (\sum_{i=1}^{4} Esp_i)/4$$

Aferir a espessura

DNIT-ES 031/2006 e PROC–IBR–ROD 101/2016

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Revestimento Asfáltico
  - Densidade aparente de corpos de prova asfálticos



Determinar (M_{ar})



Determinar (M_i)

$$d = \frac{M_{ar}}{M_{ar} - M_i}$$

Calcular a densidade

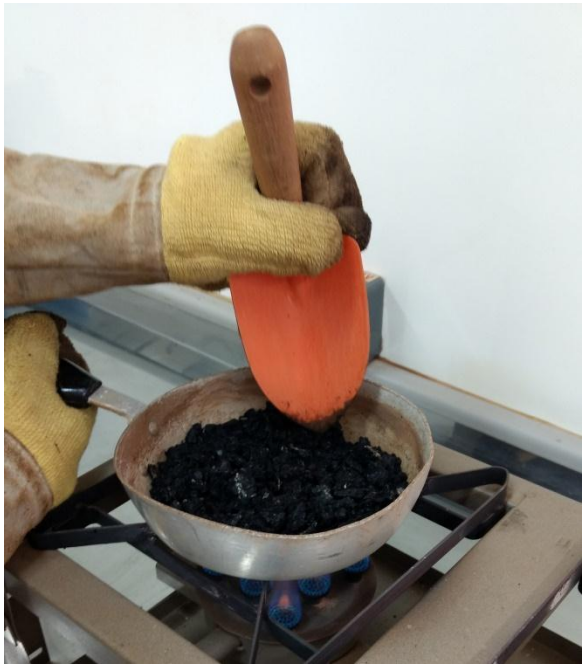
DNER-ME 117/94

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Revestimento Asfáltico
  - Teor de ligante



Aquecer amostra



Desmanchar grumos

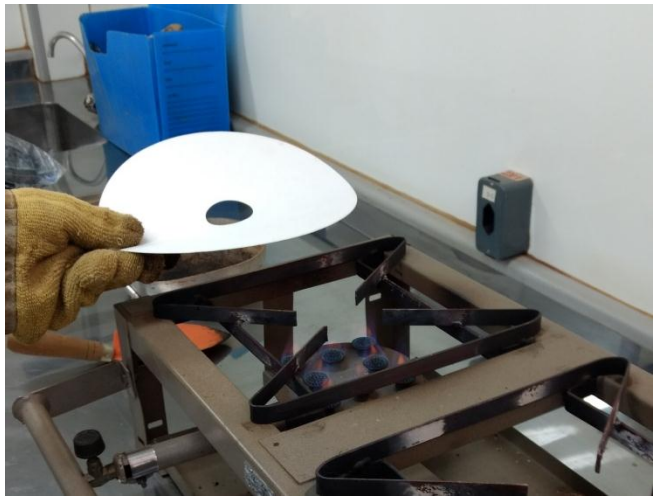
DNER-ME 053/94 e PROC-IBR-ROD 105/2016

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Revestimento Asfáltico
  - Teor de ligante



Tara$_p$



(M_{fa})



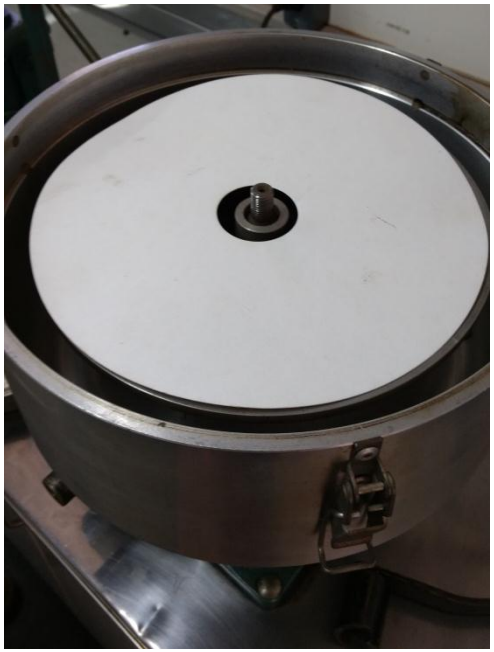
(M_{bi})

Determinar massas (antes da extração)

DNER-ME 053/94 e PROC-IBR-ROD 105/2016

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Revestimento Asfáltico
  - Teor de ligante





Proceder com a extração do ligante

DNER-ME 053/94 e PROC-IBR-ROD 105/2016

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Revestimento Asfáltico
  - Teor de ligante



Aquecer conjunto



(M_{bf})



(M_{fd})

Determinar massas (após a extração)

DNER-ME 053/94 e PROC-IBR-ROD 105/2016

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Revestimento Asfáltico
  - Teor de ligante

$$Teor_L = \frac{M_{bi} - [Mbf + (Mfd - Mf_a)]}{M_{bi} - Tara_p} x100$$

Determinar o teor de ligante





DNER-ME 053/94 e PROC-IBR-ROD 105/2016

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Revestimento Asfáltico
  - Análise granulométrica



Determinar M_T (agregado)

Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C
2"	50,8	100	-	-
1 ½"	38,1	95 - 100	100	-
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-
¾"	19,1	60 - 90	80 - 100	100
½"	12,7	-	-	80 - 100
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90
N° 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72
N° 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50
N° 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26
N° 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16
N° 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10

Selecionar série de peneiras



Peneirar material

DNER-ME 083/98 e PROC-IBR-ROD 106/2016

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Revestimento Asfáltico
  - Análise granulométrica

$$\%_{\text{ret_simp}}^{(i)} = \frac{M_{ret}^{(i)}}{M_T} x100$$

$$\%_{\text{pass_acum}}^{(i)} = 100\% - \%_{\text{ret_acum}}^{(i)}$$

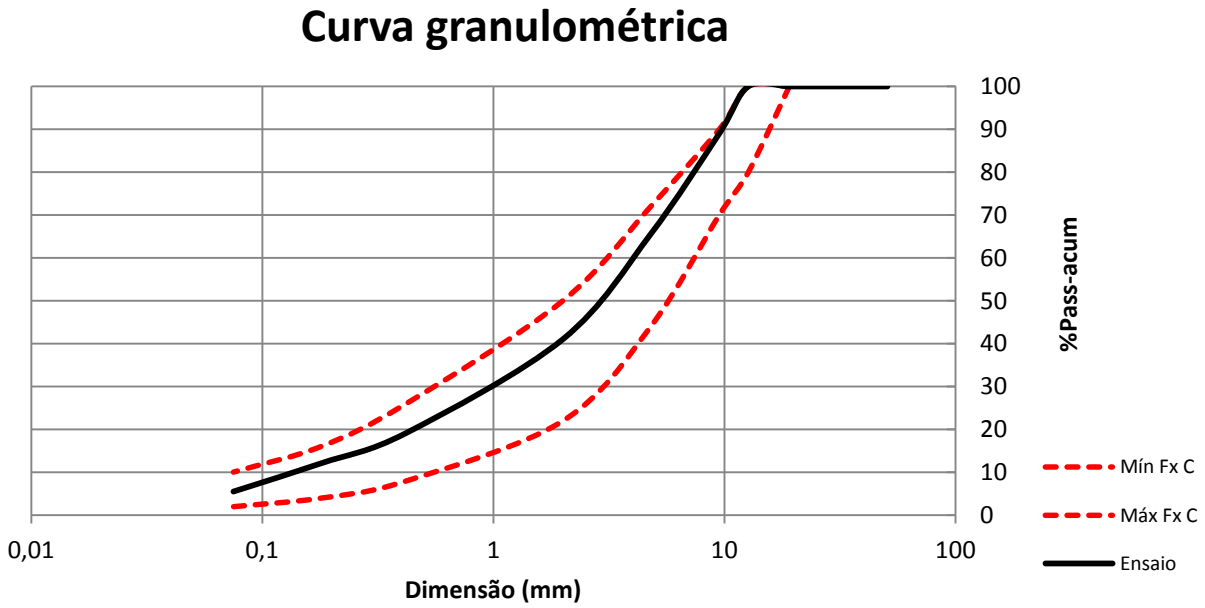
Ensaio de granulometria - DNER-ME 083/98						
Faixa	C		M_T (g)	345,3		
ASTM	Abertura (mm)	M_{ret} (g)	$M_{ret-acum}$ (g)	$\%_{ret-simp}$	$\%_{ret-acum}$	$\%_{pass-acum}$
1/2"	12,7	0	0,0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	38	38,0	11,00	11,00	89,00
Nº 4	4,8	80,9	118,9	23,43	34,43	65,57
Nº 10	2	84,7	203,6	24,53	58,96	41,04
Nº 40	0,42	75,5	279,1	21,87	80,83	19,17
Nº 80	0,18	24,4	303,5	7,07	87,89	12,11
Nº 200	0,075	22,8	326,3	6,60	94,50	5,50
Fundo		16,6	342,9	4,81	99,30	0,70

Realizar cálculos

DNER-ME 083/98 e PROC-IBR-ROD 106/2016

Ensaios Lab. Móvel TCE

- Ensaios – Revestimento Asfáltico
  - Análise granulométrica



Traçar a curva



DNER-ME 083/98 e PROC-IBR-ROD 106/2016

Aplicações no controle externo

Ensaio	Achados de auditoria
REVESTIMENTO ASFÁLTICO	
Espessura	>Camada de concreto asfáltico com espessura desconforme >Medição de espessura desconforme
Massa específica aparente	>Medição contratual com densidade aparente não conforme em relação à de campo
Teor de ligante	>Camada de concreto asfáltico com teor de ligante não conforme em relação ao estabelecido no projeto >Medição contratual com teor de ligante não conforme em relação ao de campo
Granulometria dos agregados	>Aceitação do concreto asfáltico executado com granulometria fora da faixa indicada no traço

OBRIGADO PELA ATENÇÃO!

REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, 2008.

JÚNIOR, E.P. **Manual de obras rodoviárias e pavimentação urbana: execução e fiscalização**. São Paulo, 2014.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações – Fundamentos (volume 1)**. Rio de Janeiro, 1991.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações – Mecânica das rochas - Fundações – obras de terra (volume 2)**. Rio de Janeiro, 1989.

DNIT. Normas e Manuais. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/coletanea-de-normas. Acesso em maio de 2017.

Notas