



MATERIAIS BETUMINOSOS

ESTRADAS II

São Carlos – Outubro 2020

**Prof. Dr. Glauco Tulio Pessa Fabbri
Prof. Dr. Adalberto Leandro Faxina**



MATERIAIS ASFÁLTICOS

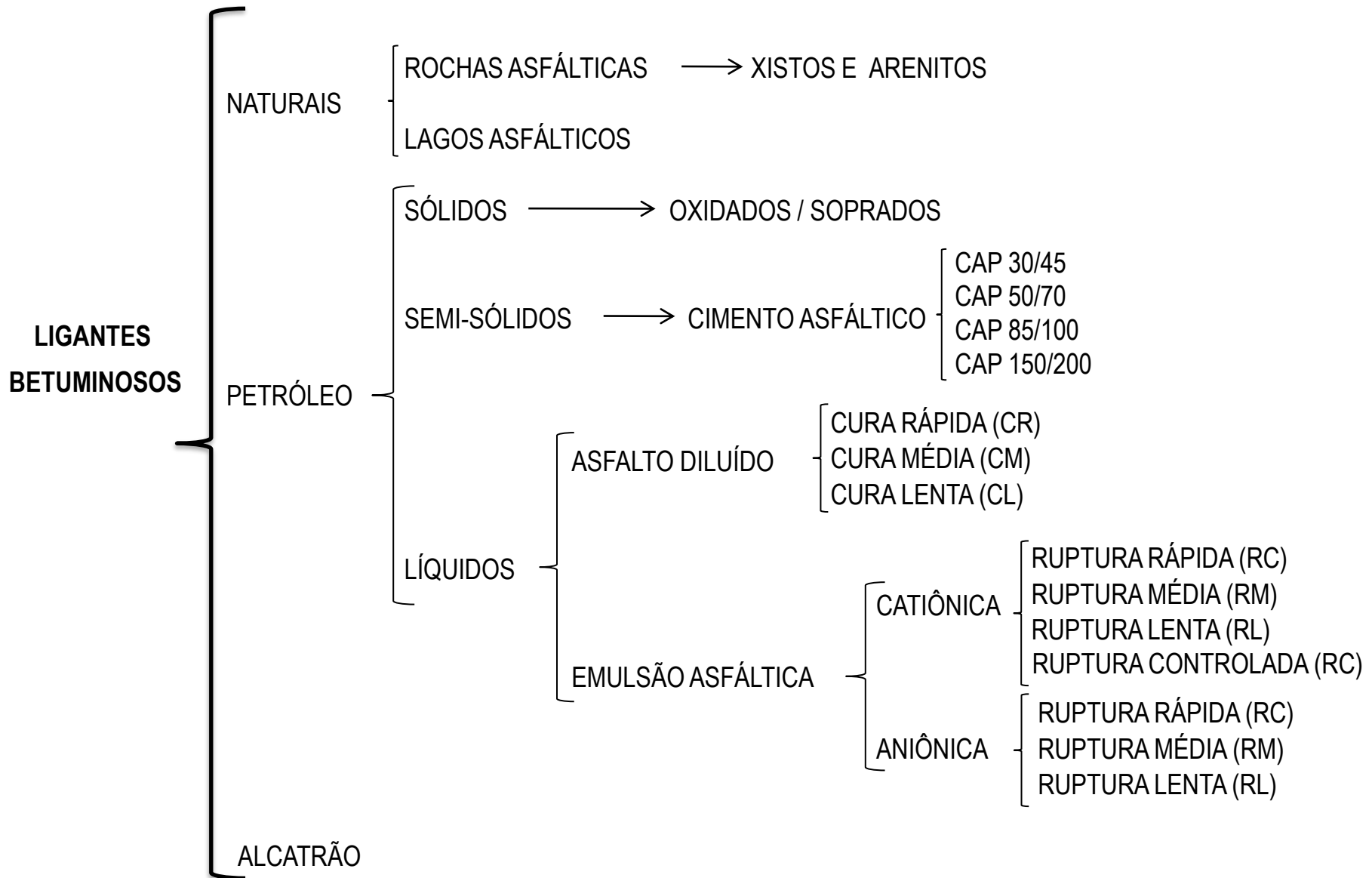


DEFINIÇÃO

São associações de hidrocarbonetos solúveis em bissulfeto de carbono. São subdivididos em duas categorias: os asfaltos e os alcatrões.

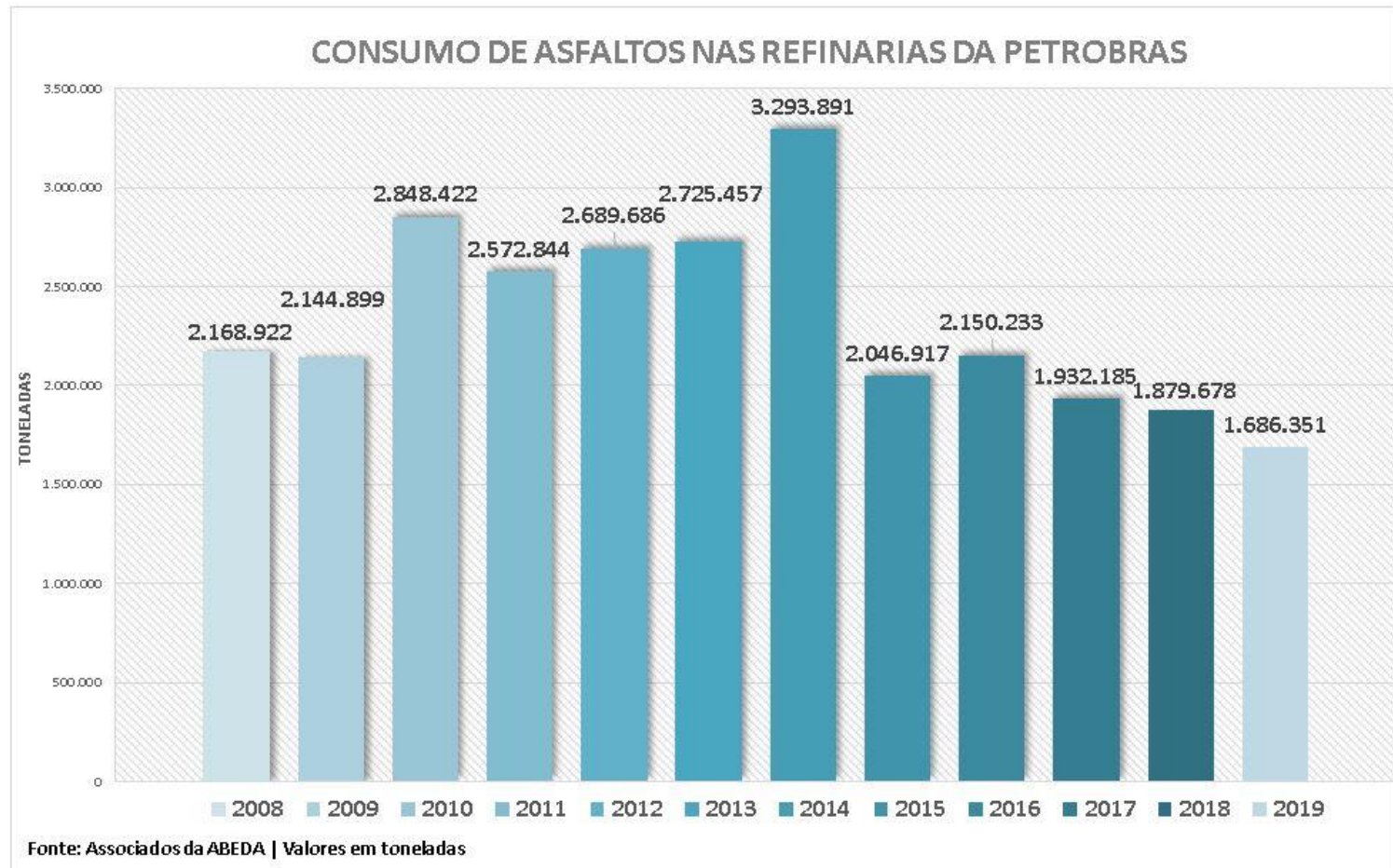
- **Asfaltos:** obtidos da destilação do petróleo. Podem ser naturais ou oriundos da refinação do petróleo.
- **Alcatrões:** obtidos da refinação de alcatrões brutos, que por sua vez vêm da destilação de carvão mineral para obtenção de gás e coque.

MATERIAIS ASFÁLTICOS





CONSUMO DE ASFALTO NO MERCADO BRASILEIRO





CIMENTO ASFÁLTICOS DE PETRÓLEO (CAPs)

DEFINIÇÃO

Produto básico da destilação do petróleo. São semi-sólidos a temperaturas baixas, viscoelásticos à temperatura ambiente e líquidos a altas temperaturas.

São classificados segundo sua **penetração** a 25°C (100g,5s) e subdivididos nas seguintes classes:

CAP 30-45 → 30 a 45 dmm

CAP 50-70 → 50 a 70 dmm

CAP 85-100 → 85 a 100 dmm

CAP 150-200 → 150 a 200 dmm

CLASSIFICAÇÃO CAPs



características	unidades	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135 °C, mín - a 150°C, mín - a 177°C	s	192 90 40 - 150	141 50 30 - 150	110 43 16 - 60	80 36 15 - 60	NBR 14950	E 102
ou Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín. - a 150°C, SP 21, mín. - a 177°C, SP 21	cP	374 203 76 - 285	274 112 57 - 285	214 97 28 - 114	155 81 28 - 114	NBR 15184	D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)					
Ponto de fulgor mín	°C	235				NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5				NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
EFEITO DO CALOR E DO AR (RTFOT) A 163 °C, 85 MIN (NBR 15235 OU ASTM D 2872)							
Variação em massa, Max (2)	% massa	0,5				NBR 15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8				NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5



ENSAIOS PARA CONTROLE DE CAPs

1. Penetração
2. Espuma
3. Densidade
4. Solubilidade
5. Ponto de Fulgor
6. Ponto de Amolecimento
7. Ductilidade
8. Índice de Suscetibilidade Térmica
9. Ensaio de Oliensis
10. Efeito do Calor e do Ar
11. Viscosidade Saybolt-Furol
12. Viscosidade Absoluta
13. Viscosidade Cinética



ENSAIOS

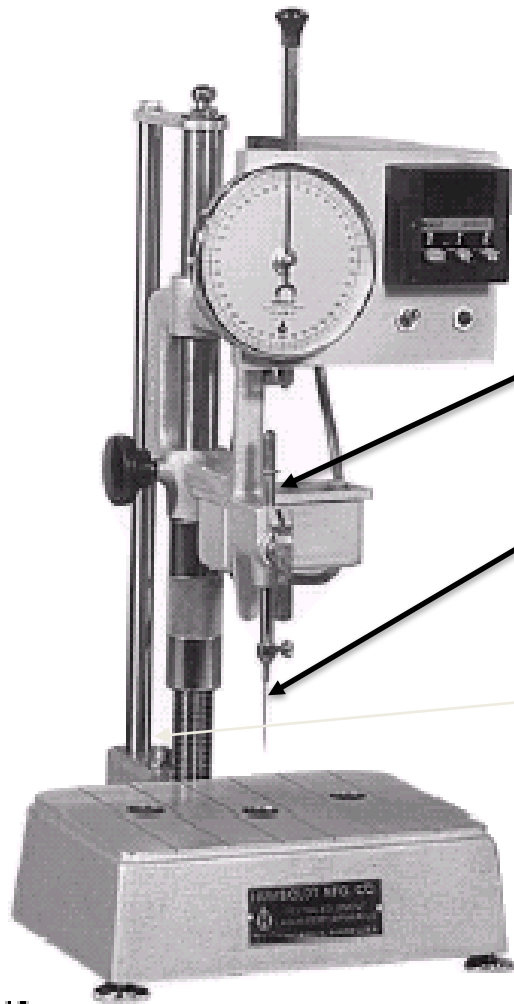
PENETRAÇÃO

é a profundidade, em décimo de milímetros, que uma agulha de massa padronizada (100g) penetra numa amostra de volume padronizado de ligante asfáltico, por 5 segundos, à temperatura de 25°C

o resultado do ensaio não consegue isoladamente caracterizar integralmente um CAP, sendo apenas uma indicação da sua consistência

é uma medida usada em conjunto com o ponto de amolecimento para a determinação do índice de suscetibilidade térmica do asfalto

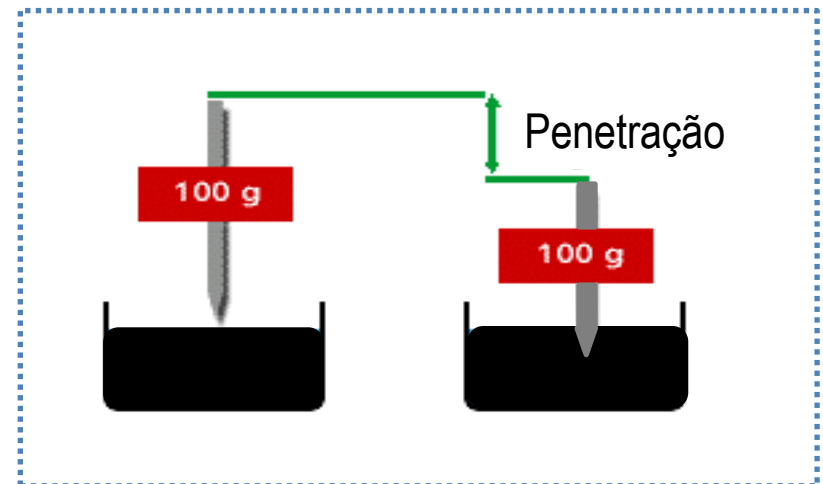
PENETRÔMETRO



H-1240

Conjunto agulha + carga

Agulha de penetração



CLASSIFICAÇÃO CAPs



características	unidades	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135 °C, mín - a 150°C, mín - a 177°C	s	192 90 40 - 150	141 50 30 - 150	110 43 16 - 60	80 36 15 - 60	NBR 14950	E 102
ou Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín. - a 150°C, SP 21, mín. - a 177°C, SP 21	cP	374 203 76 - 285	274 112 57 - 285	214 97 28 - 114	155 81 28 - 114	NBR 15184	D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)					
Ponto de fulgor mín	°C	235				NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5				NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
EFEITO DO CALOR E DO AR (RTFOT) A 163 °C, 85 MIN (NBR 15235 OU ASTM D 2872)							
Varição em massa, Max (2)	% massa	0,5				NBR 15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8				NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5



ENSAIOS

EFEITO DO CALOR E DO AR

simula o envelhecimento do CAP durante a mistura na usina, o transporte até a obra e o lançamento/compactação da mistura asfáltica na pista

consiste no aquecimento, em estufa ventilada, de uma amostra de CAP (película fina) por 85 min a 163°C

em seguida, calcula-se a variação de massa do material e o resíduo envelhecido é submetido a ensaios para avaliar o efeito do envelhecimento

$$\textit{perda de massa} = \frac{m_{inicial} - m_{final}}{m_{final}} \cdot 100$$

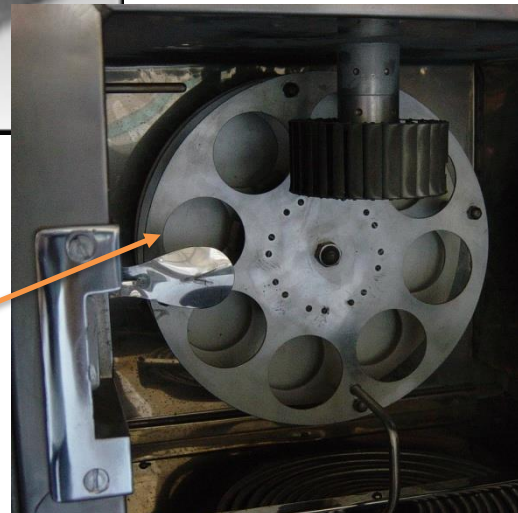
na especificação brasileira, o efeito do calor e do ar é avaliado por meio dos ensaios de penetração, ponto de amolecimento e ductilidade

EFEITO DO CALOR E DO AR



estufa RTFO
(rolling thin film oven)

carrossel para 8 frascos



frascos
padronizados





ENSAIOS

PENETRAÇÃO RETIDA

é a relação percentual entre a penetração do material envelhecido na estufa RTFO e a penetração do material virgem

$$PEN_{RETIDA} = \frac{\textit{penetração do material RTFO}}{\textit{penetração do material virgem}} \cdot 100$$

quantifica a parcela de penetração “perdida” ou o nível de endurecimento sofrido pelo CAP em detrimento do envelhecimento

uma penetração retida mínima de 55% (CAP 50/70 p. ex.) indica que o material não pode sofrer uma perda da penetração superior a 45%

CLASSIFICAÇÃO CAPs



características	unidades	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135 °C, mín - a 150°C, mín - a 177°C	s	192 90 40 - 150	141 50 30 - 150	110 43 16 - 60	80 36 15 - 60	NBR 14950	E 102
ou Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín. - a 150°C, SP 21, mín. - a 177°C, SP 21	cP	374 203 76 - 285	274 112 57 - 285	214 97 28 - 114	155 81 28 - 114	NBR 15184	D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)					
Ponto de fulgor mín	°C	235				NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5				NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
EFEITO DO CALOR E DO AR (RTFOT) A 163 °C, 85 MIN (NBR 15235 OU ASTM D 2872)							
Variação em massa, Max (2)	% massa	0,5				NBR 15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8				NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5



ENSAIOS

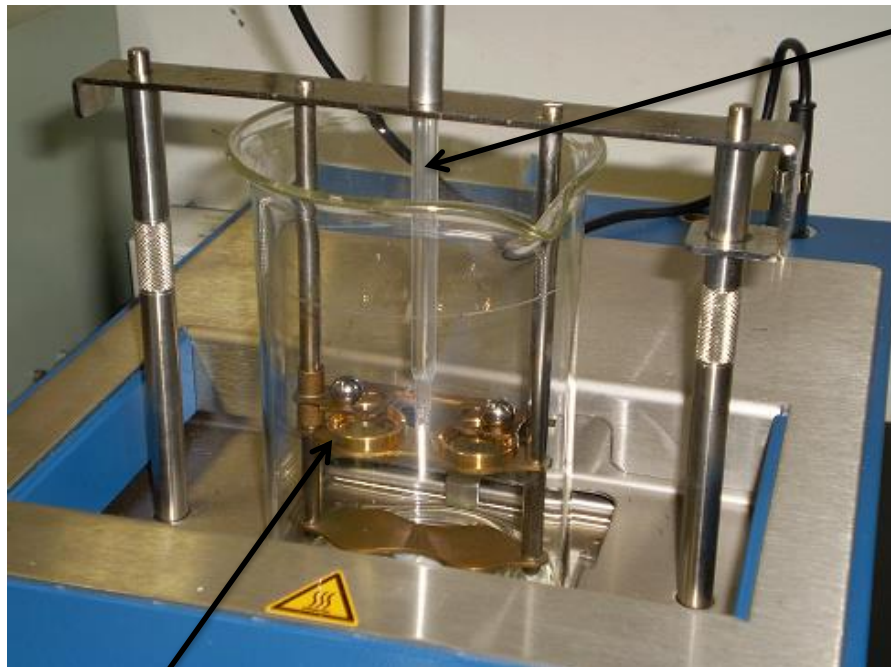
PONTO DE AMOLECIMENTO (anel e bola)

é uma medida que correlaciona a temperatura na qual o asfalto amolece quando aquecido sob certas condições particulares e atinge uma determinada condição de escoamento

tem a finalidade de estabelecer uma temperatura de referência, similar à temperatura de fusão dos materiais, a qual não é bem definida nos CAPs

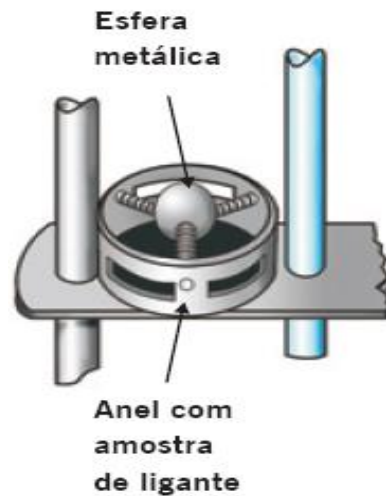
o índice de Pfeiffer e Van Doormaal assume que os CAPs em suas respectivas temperaturas de ponto de amolecimento têm, aproximadamente, a mesma penetração (800 x 0,1 mm)

PONTO DE AMOLECIMENTO



Termômetro

Suporte



PONTO DE AMOLECIMENTO



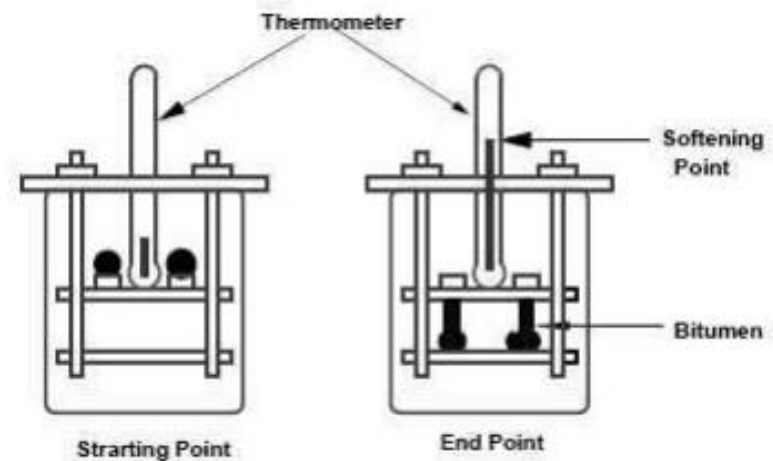
Termômetro

Suporte de amostra

Conjunto anel centralizador
+ amostra + esfera

Becker

Aquecedor



CLASSIFICAÇÃO CAPs



características	unidades	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135 °C, mín - a 150°C, mín - a 177°C ou Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín. - a 150°C, SP 21, mín. - a 177°C, SP 21	s cP	192 90 40 - 150 374 203 76 - 285	141 50 30 - 150 274 112 57 - 285	110 43 16 - 60 214 97 28 - 114	80 36 15 - 60 155 81 28 - 114	NBR 14950 NBR 15184	E 102 D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)					
Ponto de fulgor mín	°C	235				NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5				NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
EFEITO DO CALOR E DO AR (RTFOT) A 163 °C, 85 MIN (NBR 15235 OU ASTM D 2872)							
Varição em massa, Max (2)	% massa	0,5				NBR 15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8				NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5



ENSAIOS

INCREMENTO DO PONTO DE AMOLECIMENTO

é a diferença entre o ponto de amolecimento do material envelhecido na estufa RTFO e o ponto de amolecimento do material virgem

quantifica o nível de endurecimento sofrido pelo CAP em detrimento do envelhecimento

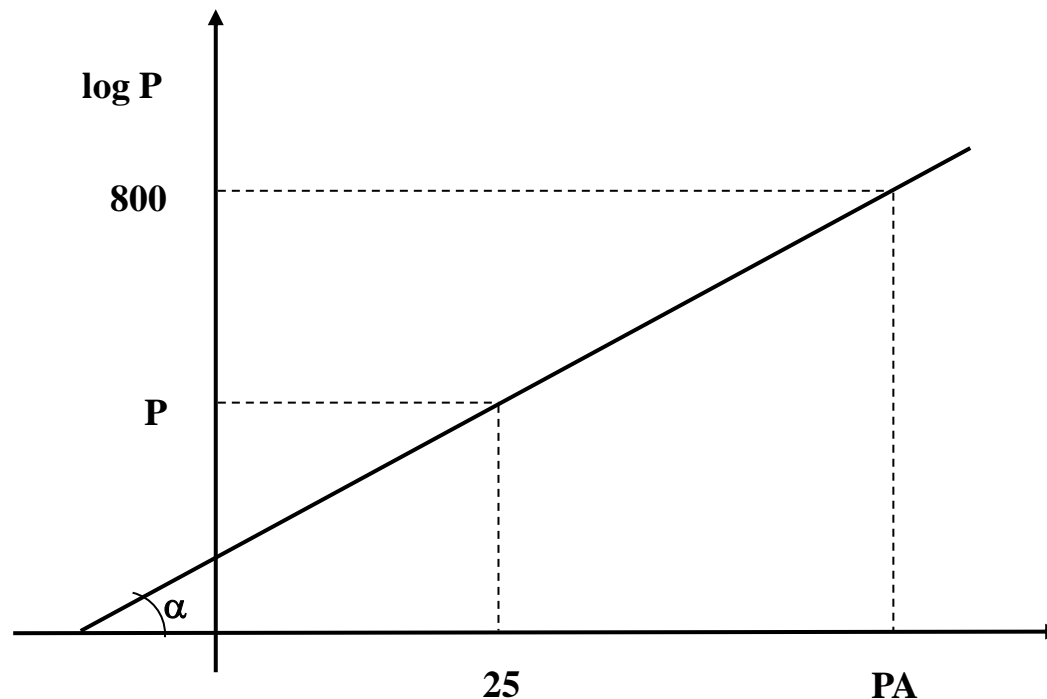
incrementos de ponto de amolecimento superiores a 8°C indicam que o asfalto é inadequado, por ser excessivamente suscetível ao envelhecimento

CLASSIFICAÇÃO CAPs



características	unidades	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135 °C, mín - a 150°C, mín - a 177°C ou Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín. - a 150°C, SP 21, mín. - a 177°C, SP 21	s cP	192 90 40 - 150 374 203 76 - 285	141 50 30 - 150 274 112 57 - 285	110 43 16 - 60 214 97 28 - 114	80 36 15 - 60 155 81 28 - 114	NBR 14950 NBR 15184	E 102 D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)					
Ponto de fulgor mín	°C	235				NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5				NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
EFEITO DO CALOR E DO AR (RTFOT) A 163 °C, 85 MIN (NBR 15235 OU ASTM D 2872)							
Varição em massa, Max (2)	% massa	0,5				NBR 15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8				NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5

ÍNDICE DE PFEIFFER E VAN DOORMAAL



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\log 800 - \log P}{PA - 25}$$

$$IP = \frac{500 \log P + 20 PA - 1951}{120 - 50 \log P + PA}$$

é um parâmetro presente na especificação brasileira de asfaltos puros, porém não se aplica a asfaltos modificados

CLASSIFICAÇÃO CAPs



características	unidades	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135 °C, mín - a 150°C, mín - a 177°C	s	192 90 40 - 150	141 50 30 - 150	110 43 16 - 60	80 36 15 - 60	NBR 14950	E 102
ou Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín. - a 150°C, SP 21, mín. - a 177°C, SP 21	cP	374 203 76 - 285	274 112 57 - 285	214 97 28 - 114	155 81 28 - 114	NBR 15184	D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)					
Ponto de fulgor mín	°C	235				NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5				NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
EFEITO DO CALOR E DO AR (RTFOT) A 163 °C, 85 MIN (NBR 15235 OU ASTM D 2872)							
Varição em massa, Max (2)	% massa	0,5				NBR 15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8				NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5



ENSAIOS

VISCOSIDADE SAYBOLT – FUROL

Medida correspondente ao tempo (em segundos) que uma determinada quantidade de material asfáltico (60 ml) leva para fluir através de um orifício padronizado.

Trata-se de uma propriedade de engenharia relacionada à viscosidade, ou seja, uma medida indireta da viscosidade.

É utilizado para todos os tipos de asfaltos, porém não se aplica bem a asfalto-borracha.



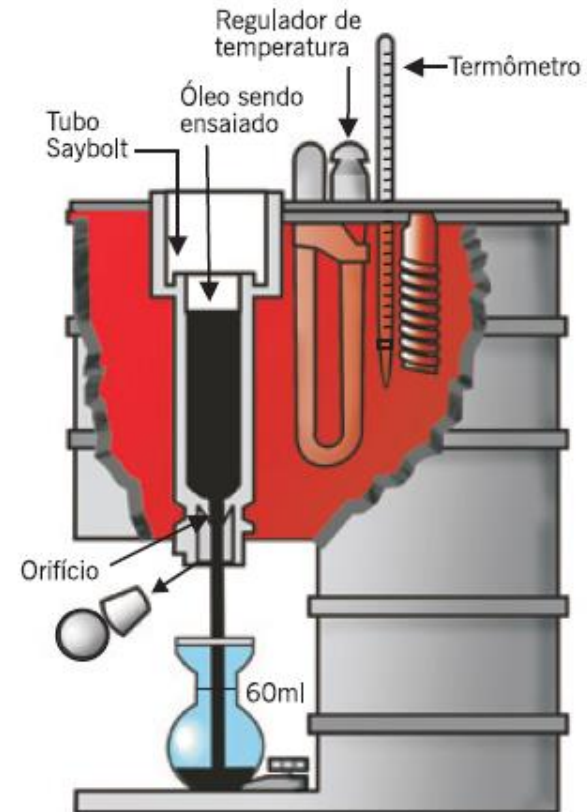
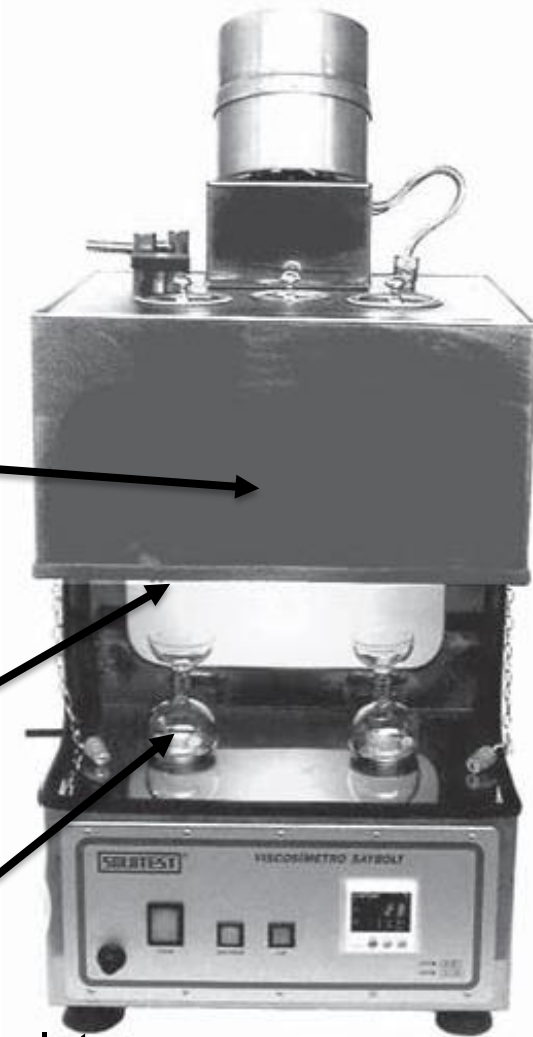
VISCOSÍMETRO SAYBOLT-FUROL



Reservatório de
óleo para
condicionamento
térmico da
amostra

Orifício "Furol"

Recipiente para coleta
do líquido (60 ml)



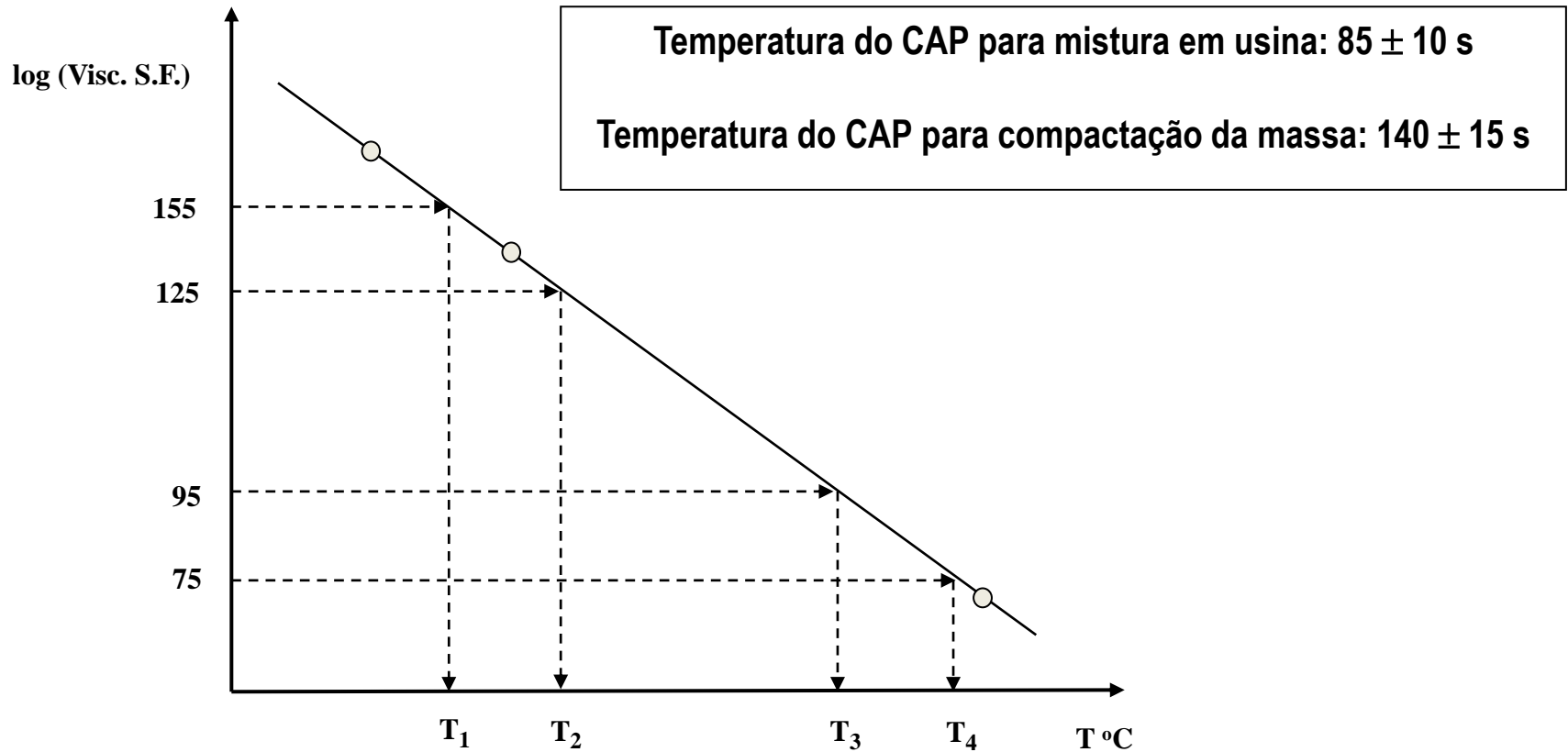
Fonte: Pavimentação Asfáltica – Formação
Básica para Engenheiros, ABEDA, 2008

CLASSIFICAÇÃO CAPs



características	unidades	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135 °C, mín - a 150°C, mín - a 177°C	s	192 90 40 - 150	141 50 30 - 150	110 43 16 - 60	80 36 15 - 60	NBR 14950	E 102
ou Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín. - a 150°C, SP 21, mín. - a 177°C, SP 21	cP	374 203 76 - 285	274 112 57 - 285	214 97 28 - 114	155 81 28 - 114		
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)					
Ponto de fulgor mín	°C	235				NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5				NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
EFEITO DO CALOR E DO AR (RTFOT) A 163 °C, 85 MIN (NBR 15235 OU ASTM D 2872)							
Varição em massa, Max (2)	% massa	0,5				NBR 15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8				NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5

Temperaturas para aquecimento dos CAPs



$$T_{AQ.CAP} = T_3 + \frac{T_4 - T_3}{2}$$

$$T_{AG} = T_{CAP} + 13$$

$$T_{COMP} = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{2}$$



ENSAIOS

VISCOSIDADE

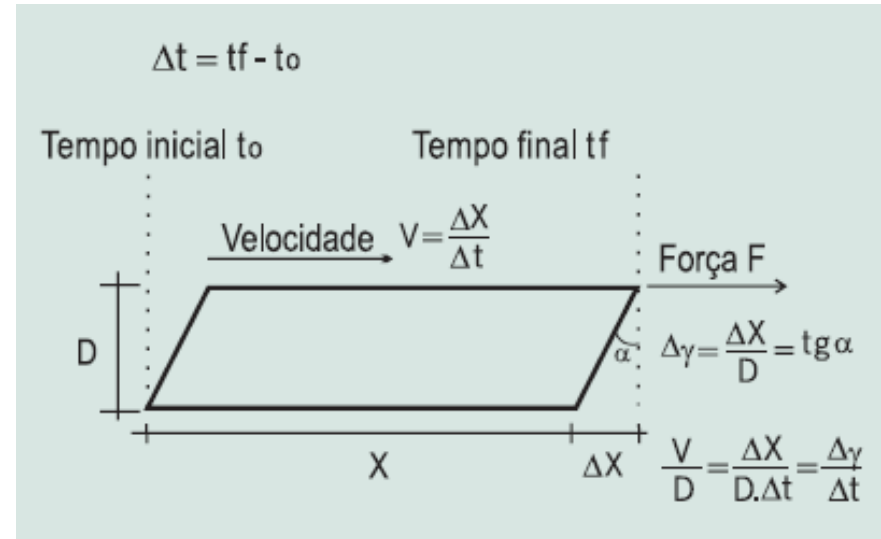
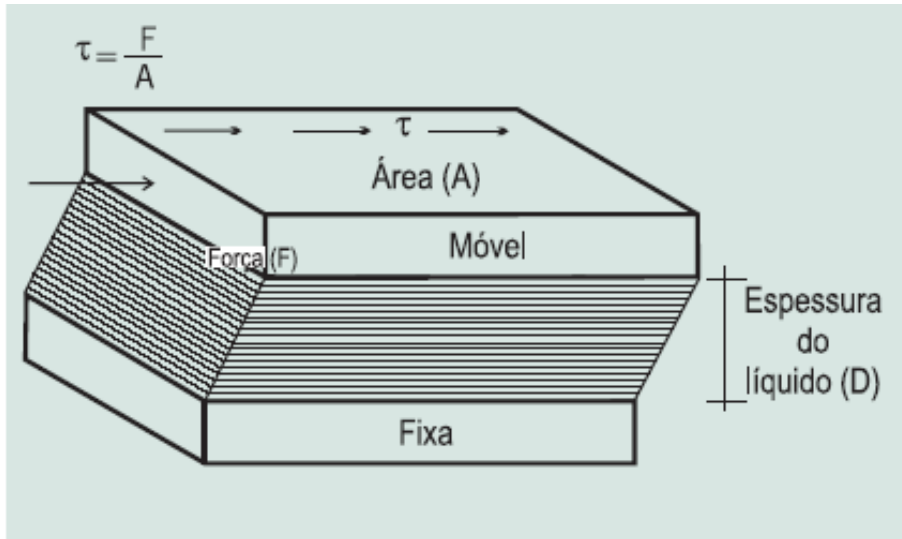
é a relação entre a tensão de cisalhamento aplicada e a velocidade de distorção de um fluido confinado entre duas placas paralelas

é reportada em centipoise (cP) ou Pa.s ($1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa.s}$)

a viscosidade é chamada “absoluta” quando é constante sob variação da taxa de cisalhamento – a maioria dos asfaltos é newtoniana, ou seja, a viscosidade não varia com a taxa de cisalhamento aplicada ao material

a viscosidade é chamada “aparente” quando seu valor varia com a taxa de cisalhamento (asfalto-borracha, p.ex.)

Ensaio clássico para determinação da viscosidade



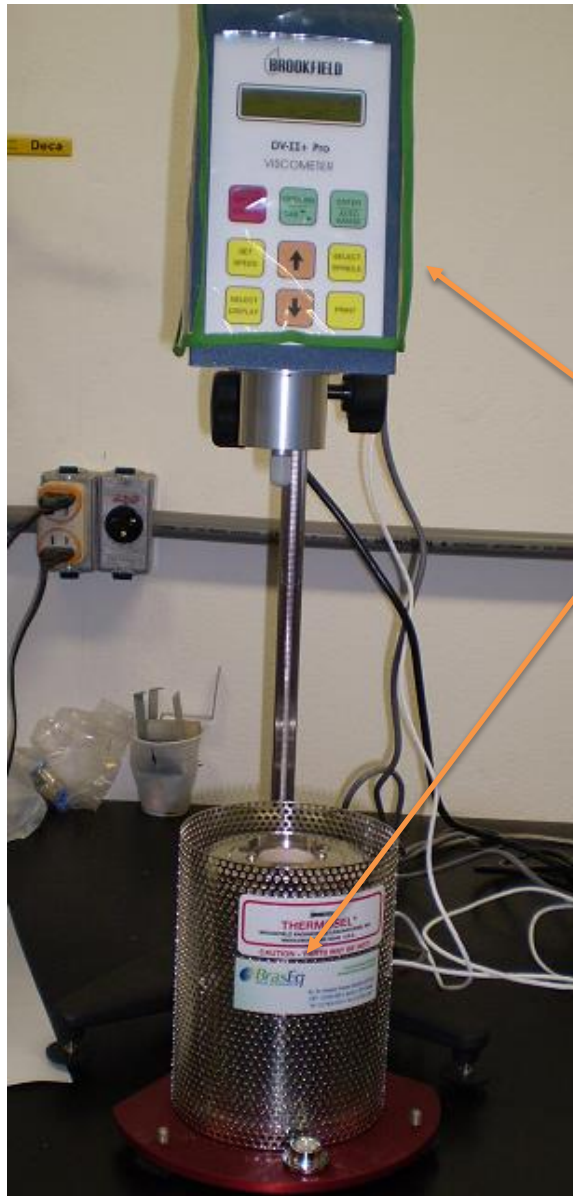
Fonte (imagens): Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros, ABEDA, 2008

Conceitualmente, **viscosidade** é uma medida da resistência ao deslocamento das diversas camadas “virtuais” que compõem um fluido.

Garantida a variação linear da velocidade ao longo da espessura do líquido, a variação da taxa de deslocamento de uma camada em relação à outra em função do tempo representa a viscosidade, medida em centipoise (cP) ou Pa.s, sendo $1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa.s}$.

A “viscosidade” Saybolt-Furol não é uma medida real de viscosidade porque naquele ensaio se mede o tempo necessário para o asfalto fluir e preencher o volume do frasco.

Viscosidade rotacional (Brookfield)

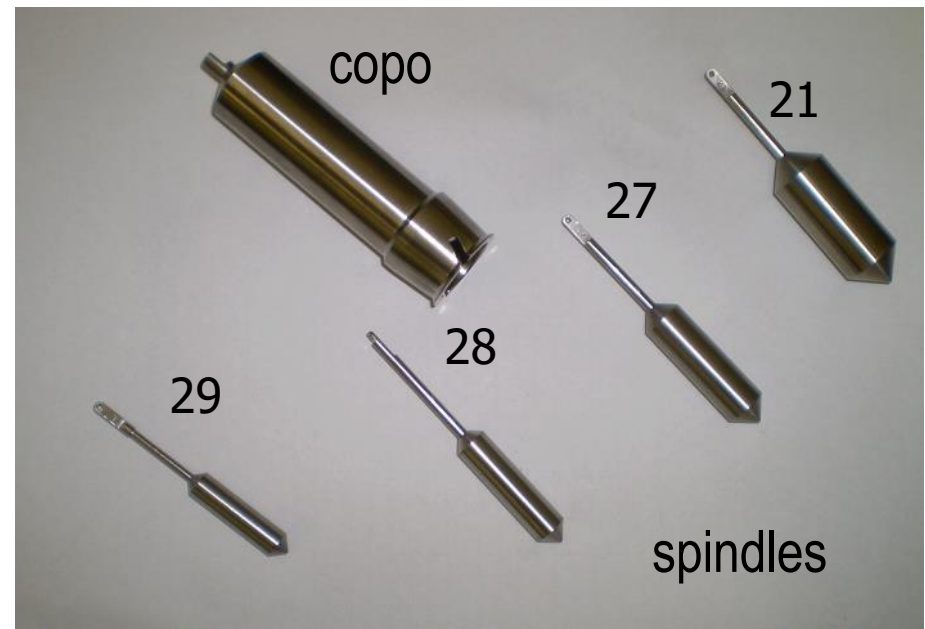


viscosímetro

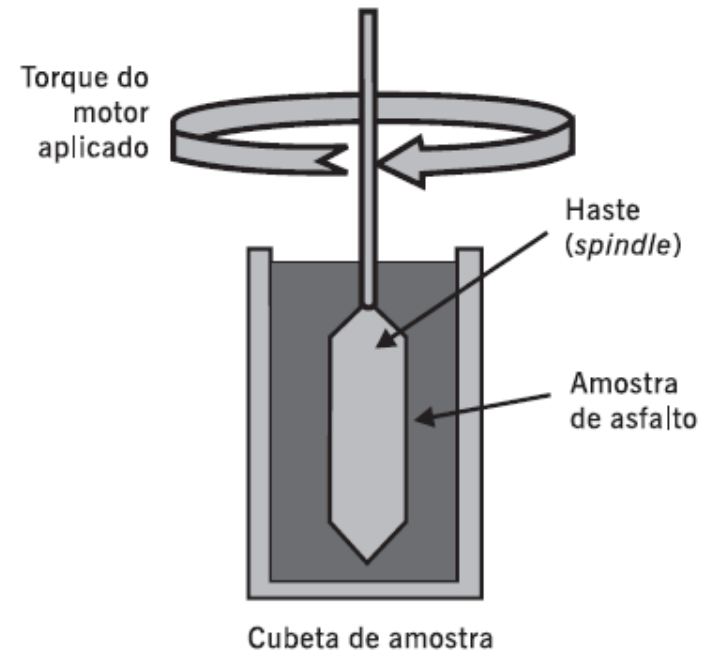
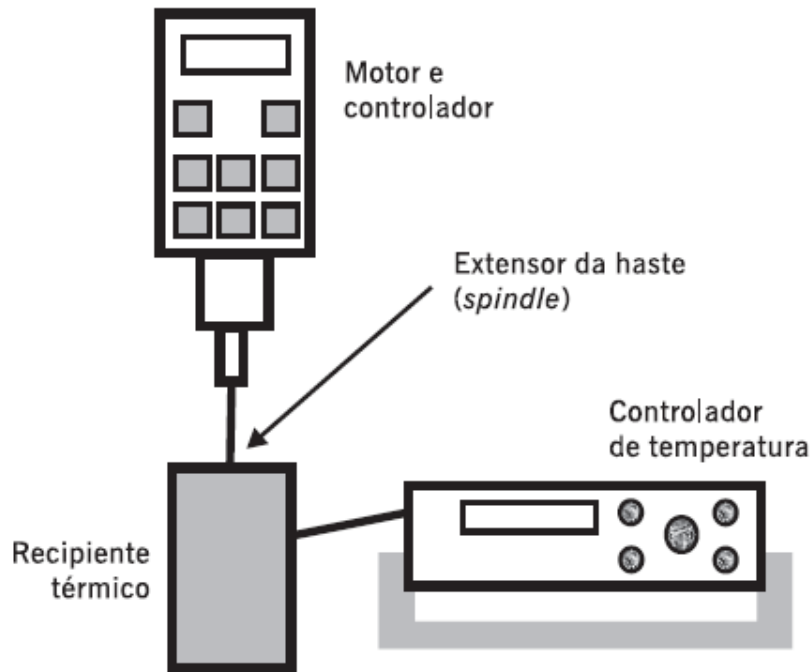
termocélula

curiosidade

assim chamada por conta do mecanismo de funcionamento do viscosímetro Brookfield, que é uma das marcas mais utilizadas na indústria do asfalto



Viscosímetro rotacional (Brookfield)



CLASSIFICAÇÃO CAPs



características	unidades	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135 °C, mín - a 150°C, mín - a 177°C	s	192 90 40 - 150	141 50 30 - 150	110 43 16 - 60	80 36 15 - 60	NBR 14950	E 102
ou Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín. - a 150°C, SP 21, mín. - a 177°C, SP 21	cP	374 203 76 - 285	274 112 57 - 285	214 97 28 - 114	155 81 28 - 114	NBR 15184	D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)					
Ponto de fulgor mín	°C	235				NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5				NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
EFEITO DO CALOR E DO AR (RTFOT) A 163 °C, 85 MIN (NBR 15235 OU ASTM D 2872)							
Variação em massa, Max (2)	% massa	0,5				NBR 15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8				NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5



ENSAIOS

PONTO DE FULGOR

é um ensaio ligado à segurança de manuseio do asfalto durante o transporte, estocagem e usinagem

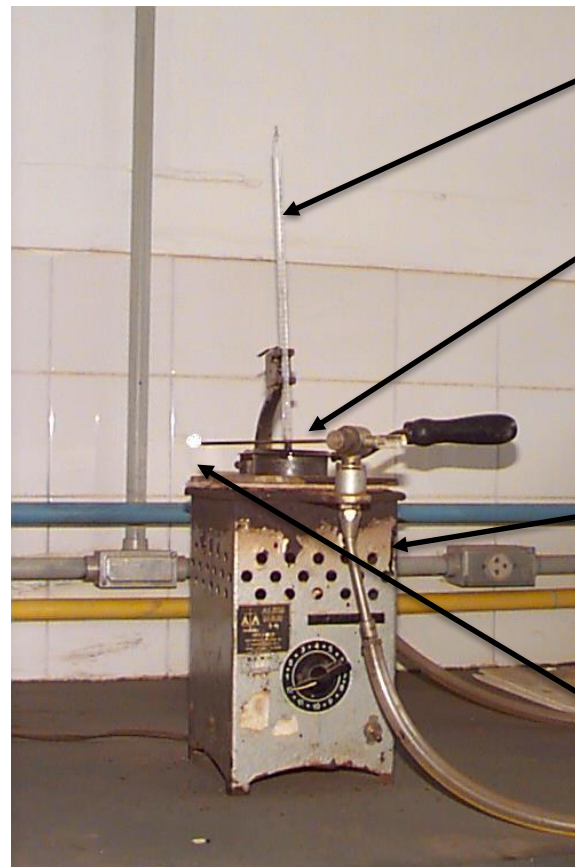
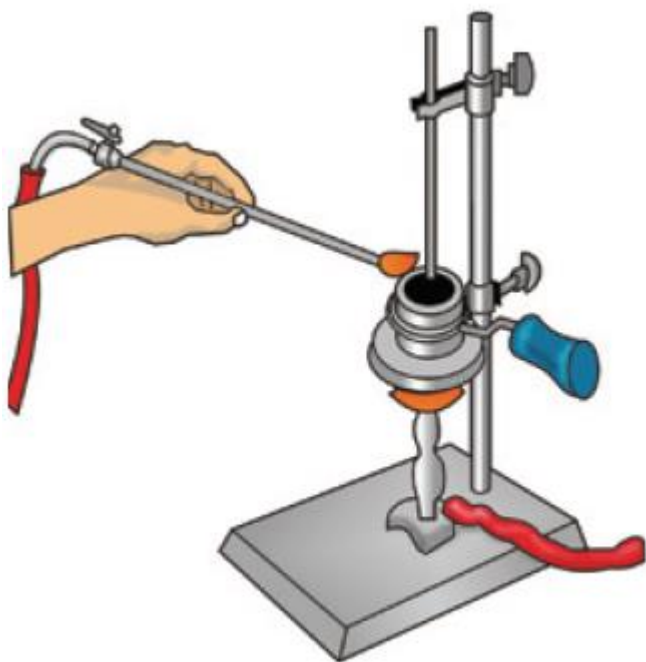
representa a menor temperatura na qual os vapores emanados durante o aquecimento do asfalto se inflamam por contato com uma chama padronizada

consiste da determinação da temperatura para a qual um asfalto começa a liberar gases inflamáveis

é utilizado para prevenir acidentes e também para verificar a contaminação por solventes – neste caso, a temperatura de ponto de fulgor diminuirá

pode ser executado para asfaltos e asfaltos diluídos

Ponto de Fulgor – Vaso aberto de Cleveland



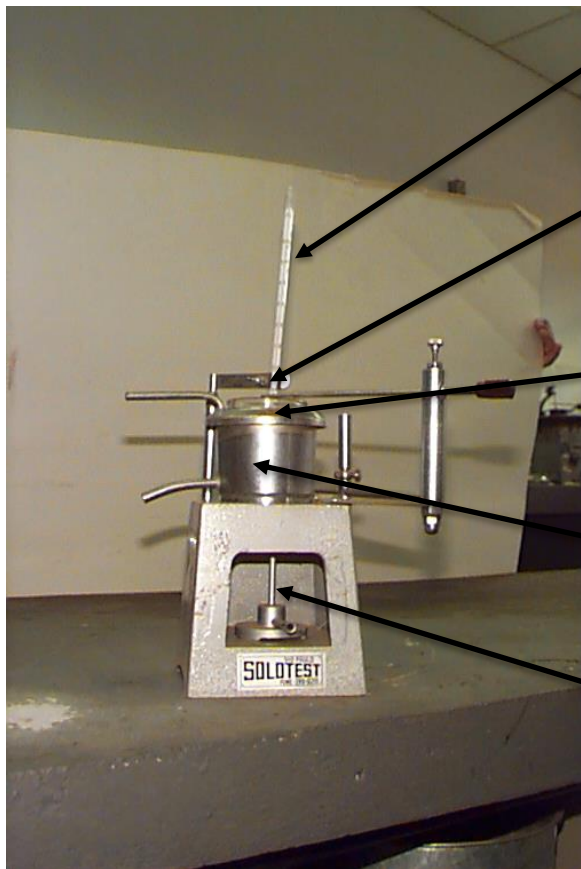
Termômetro

Cadinho para
asfalto

Aquecedor

Chama de gás

Ponto de Fulgor – Vaso aberto de Tag



Termômetro

Chama de gás

Cadinho para asfalto diluído

“Banho Maria”

Aquecedor a gás

CLASSIFICAÇÃO CAPs



características	unidades	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135 °C, mín - a 150°C, mín - a 177°C	s	192 90 40 - 150	141 50 30 - 150	110 43 16 - 60	80 36 15 - 60	NBR 14950	E 102
ou Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín. - a 150°C, SP 21, mín. - a 177°C, SP 21	cP	374 203 76 - 285	274 112 57 - 285	214 97 28 - 114	155 81 28 - 114	NBR 15184	D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)					
Ponto de fulgor mín	°C	235				NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5				NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
EFEITO DO CALOR E DO AR (RTFOT) A 163 °C, 85 MIN (NBR 15235 OU ASTM D 2872)							
Variação em massa, Max (2)	% massa	0,5				NBR 15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8				NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5



ENSAIOS

DUCTILIDADE

é a propriedade do material suportar grandes deformações sem romper ou, em outras palavras, é a capacidade do material escoar (formar fio)

uma amostra de asfalto, moldada de forma padronizada, é submetida a um ensaio de estiramento, em banho-maria

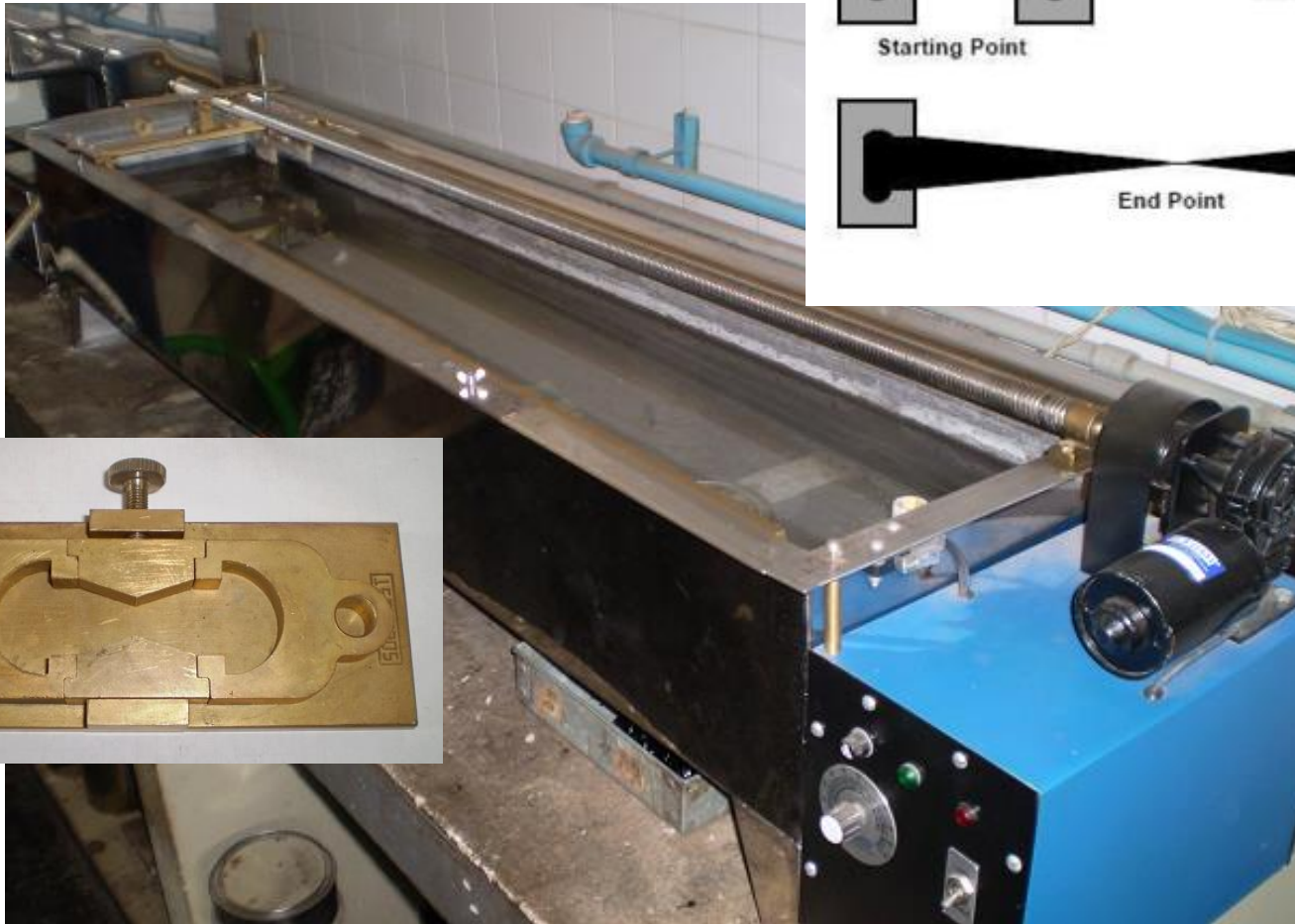
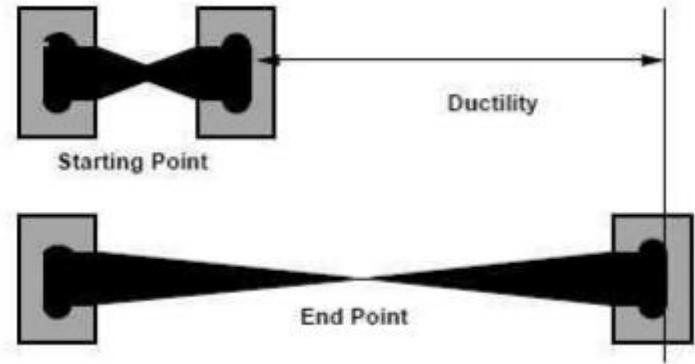
a ductilidade (em cm) é medida em termos do alongamento que a amostra sofre até o momento da ruptura



Ductímetro



<https://www.brainkart.com/media/article/article-Tests-on-bitumen-Ez3.jpg>



CLASSIFICAÇÃO CAPs



características	unidades	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135 °C, mín - a 150°C, mín - a 177°C ou Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín. - a 150°C, SP 21, mín. - a 177°C, SP 21	s cP	192 90 40 - 150 374 203 76 - 285	141 50 30 - 150 274 112 57 - 285	110 43 16 - 60 214 97 28 - 114	80 36 15 - 60 155 81 28 - 114	NBR 14950 NBR 15184	E 102 D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)					
Ponto de fulgor mín	°C	235				NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5				NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
EFEITO DO CALOR E DO AR (RTFOT) A 163 °C, 85 MIN (NBR 15235 OU ASTM D 2872)							
Variação em massa, Max (2)	% massa	0,5				NBR 15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8				NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5



ENSAIOS

REDUÇÃO DA DUCTILIDADE

o endurecimento sofrido pelo asfalto após o envelhecimento o torna menos dúctil

asfaltos menos dúcteis têm menor capacidade de relaxar tensões após sofrer um determinado nível de deformação, o que está associado a uma maior propensão ao trincamento, seja nas temperaturas intermediárias do pavimento (15-30°C), gerando o trincamento por fadiga, seja nas temperaturas baixas (abaixo de °C), gerando o trincamento de origem térmica (comum em países de clima frio)

CLASSIFICAÇÃO CAPs



características	unidades	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135 °C, mín - a 150°C, mín - a 177°C	s	192 90 40 - 150	141 50 30 - 150	110 43 16 - 60	80 36 15 - 60	NBR 14950	E 102
ou Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín. - a 150°C, SP 21, mín. - a 177°C, SP 21	cP	374 203 76 - 285	274 112 57 - 285	214 97 28 - 114	155 81 28 - 114	NBR 15184	D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)					
Ponto de fulgor mín	°C	235				NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5				NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
EFEITO DO CALOR E DO AR (RTFOT) A 163 °C, 85 MIN (NBR 15235 OU ASTM D 2872)							
Variação em massa, Max (2)	% massa	0,5				NBR 15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8				NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5



ENSAIOS

VISCOSIDADE CINEMÁTICA

é a viscosidade absoluta dividida pela massa específica do líquido, expressa em stokes (cm^2/s)





ENSAIOS

ESPUMA

ensaio utilizado para verificar a existência de água no CAP
a presença de água é perigosa durante o aquecimento, podendo causar acidentes

DENSIDADE

propriedade utilizada para transformar unidades gravimétricas em volumétricas
também usada no cálculo da densidade teórica e do volume de vazios de misturas asfálticas

SOLUBILIDADE

(em bissulfeto de carbono, tricloroetileno ou tetracloreto de carbono)
ensaio utilizado para verificar a pureza do asfalto, ou seja, mede-se o seu teor de betume



ENSAIOS

ENSAIO DE OLIENSIS ou **spot test** (teste da mancha)

Tem a finalidade de verificar se houve superaquecimento durante a fabricação ou transporte, com conseqüente craqueamento.

Consiste em dissolver pequena quantidade de CAP em nafta, em banho-maria e, depois de um determinado tempo, pingar uma gota da solução em um papel de filtro.

Se a gota tiver aspecto homogêneo em coloração, o teste é negativo, caso contrário (se o centro da mancha for negro), positivo.

É adotado em alguns países da América Latina (Bolívia, Paraguai) mas no Brasil não.



EMULSÕES

DEFINIÇÃO

são dispersões coloidais de uma fase asfáltica em uma fase aquosa ou vice-versa

são obtidas da moagem coloidal de uma fase asfáltica aquecida em contato com uma fase aquosa que contém um ou mais emulsificantes, que podem ter diferentes cargas elétricas

os emulsificantes têm a finalidade de dar estabilidade à mistura, favorecer a dispersão, revestir os glóbulos de asfalto com uma película protetora e conferir a eles uma carga elétrica



EMULSÕES

TIPO DE EMULSÃO	CARGA ELÉTRICA SUPERFICIAL	EXEMPLO DE TIPO DE EMULSIFICANTE
CATIÔNICA	POSITIVA	AMINA
ANIÔNICA	NEGATIVA	CASEINA
NÃO IÔNICA	SEM CARGA	LIGNOSULFOSUCINATO
ANFOTÉRICO	AMPLA FAIXA DE pH	BICARBONATO DE SÓDIO

as emulsões asfálticas para pavimentação empregadas no Brasil são, predominantemente, do tipo catiônica, o que se deve à sua melhor compatibilidade com a maioria dos agregados minerais

as emulsões anfotéricas são preparadas com sais com ampla faixa de pH, o que possibilita que a emulsão tenha boa compatibilidade tanto com agregados ácidos quanto básicos



EMULSÕES

quando a emulsão é aplicada sobre os agregados, ocorre uma instabilização na emulsão, o asfalto nela contido tende a coalescer e a água evapora deixando sobre o agregado uma película

a esse fenômeno de separação do asfalto da água dá-se o nome de **RUPTURA** da emulsão

de acordo com a estabilidade, ou tempo de ruptura, as emulsões são classificadas em quatro grupos:

RR - Ruptura Rápida (RS - rapid setting)

RM - Ruptura Média (MS - medium setting)

RL - Ruptura Lenta (SS - slow setting)

RC – Ruptura Controlada (QS – quick setting)



PROCESSO DE RUPTURA DA EMULSÃO

RUPTURA DA EMULSÃO

EXEMPLO:
TRATAMENTO
SUPERFICIAL

Estágio 1 - Contato da emulsão com o agregado

Estágio 2 - Adsorção do emulsificante livre

Estágio 3 - Atração das gotas de asfalto sobre o agregado

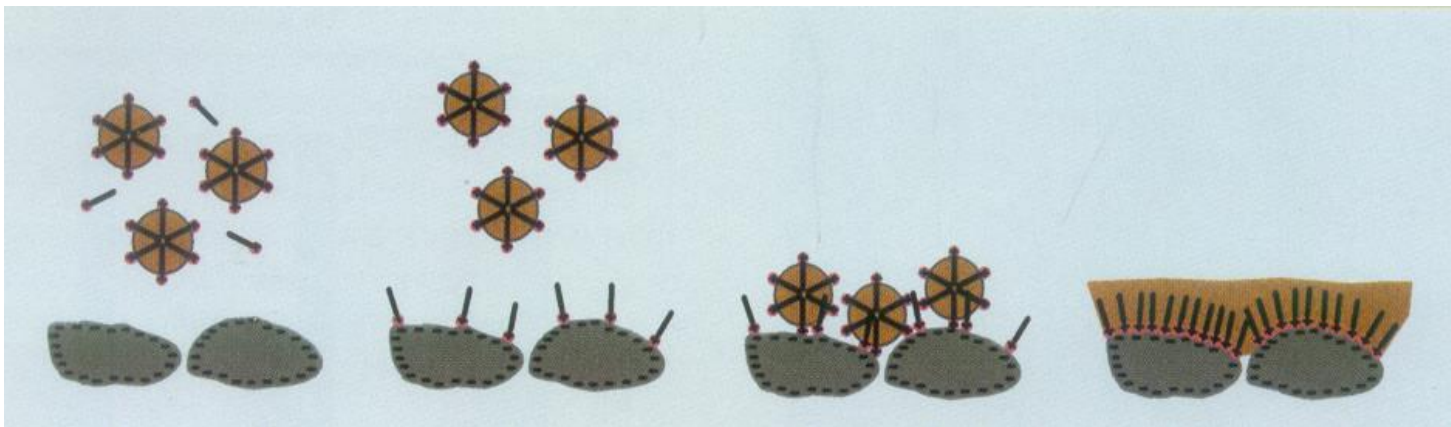
Estágio 4 - Deposição e formação do filme de asfalto sobre o agregado

(1)

(2)

(3)

(4)





Especificação para emulsões – Reg. Téc. ANP n. 6/2012

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE									MÉTODO (1)	
		Ruptura Rápida		Ruptura Média		Ruptura Lenta				Ruptura Controlada	ABNT NBR	ASTM
		RR-1C	RR-2C	RM-1C	RM-2C	RL-1C	LA-1C	LAN	EAI	LARC		
Ensaio para a emulsão												
Viscosidade Saybolt Furol a 25 °C, máx.	s	90	-	-	-	90	90	90	90	90	14491	D244
Viscosidade Saybolt Furol a 50 °C	s	-	100 a 400	20 a 200	100 a 400	-	-	-	-	-	14491	D244
Sedimentação, máx.	% m/m	5	5	5	5	5	5	5	10	5	6570	D6930
Peneiração (0,84 mm), máx.	% m/m	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	14393	D6933
Resistência à água (cobertura), mín. (2)	%	80	80	80	80	80	-	-	-	-	14249	D244
Adesividade em agregado miúdo, mín.	%	-	-	-	-	-	75	-	-	75	14757(3)	-
Carga da partícula	-	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	neutra	-	positiva	6567	D244
pH, máx.	-	-	-	-	-	6,5	-	6,5	8	6,5	6299	-
Destilação												
Solvente destilado	% v/v	-	-	0 a 12	0 a 12	-	-	-	0 a 15	-	6568	D244
Resíduo seco, mín.	% m/m	62	67	62	65	60	60	60	45	60	14376	D6934
Desemulsibilidade												
Mín.	% m/m	50	50	-	-	-	-	-	-	-	6569	D6936
Máx.		-	-	50	50	-	-	-	-	-		
Mistura com filer silício	%	-	-	-	-	máx. 2,0	1,2 a 2,0	-	-	mín. 2,0	6302	D244
Mistura com cimento	%	-	-	-	-	máx. 2,0	máx. 2,0	-	-	mín. 2,0	6297	D244
Ensaio para o resíduo da emulsão obtido pela NBR 14896												
Penetração a 25 °C (100g e 5s)	mm	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	-	4,0 a 15,0	6576	D5
Teor de betume, mín.	%	97	97	97	97	97	97	97	97	97	14855	D2042
Ductilidade a 25 °C, mín.	cm	40	40	40	40	40	40	40	40	40	6293	D113



Emulsões catiônicas modificadas por polímeros elastoméricos – Reg. Téc. ANP n. 6/2012

Característica	Unid.	Limite					Método ⁽¹⁾	
		Ruptura rápida		Ruptura média	Ruptura controlada	Ruptura lenta	ABNT NBR	ASTM
		RR1C-E	RR2C-E	RM1C-E	RC1C-E	RL1C-E		
Ensaio para a emulsão								
Viscosidade Saybolt-Furol, a 50°C	s	70 máx.	100-400	20-200	70 máx.	70 máx.	14491	D244
Sedimentação, máx.	% massa	5					6570	D6930
Peneiração 0,84mm, máx.	% massa	0,1					14393	D6933
Resistência à água, mín. de cobertura ⁽²⁾							6300	D244
Agregado seco	%	80						
Agregado úmido		80	80	60	60	60		
Carga da partícula	-	positiva					6567	D244
pH, máx.	-	-	-	-	6,5	6,5	6299	D244
Destilação – solvente destilado a 360°C	% volume	0-3	0-3	0 a 12	0	0	6568	D244
Resíduo seco, mín.	% massa	62	67	62	62	60	14376	D6934
Desemulsibilidade Mín.	% massa	50	50	-	-	-	6569	D6936
Máx.		-	-	50	-	-		
Ensaio para o resíduo da emulsão obtido pela ABNT NBR 14896								
Penetração a 25°C (100g e 5s)	0,1 mm	45-150	45-150				6576	D5
Ponto de amolecimento, mín.	°C	50	55				6560	D36
Viscosidade Brookfield a 135°C, SP21, 20 rpm, mín.	cP	550	600				15184	D4402
Recuperação elástica a 25°C, 20cm, mín.	%	65	70				15086	D6084

Fonte: Utilização de ligantes asfálticos em serviços de pavimentação, ABEDA, 2015, 1ª. Ed.



DENOMINAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS EMULSÕES

as principais propriedades das emulsões estão relacionadas ao tempo necessário para que ocorra a separação entre a fase aquosa e a fase asfalto (ruptura), ao teor de asfalto contido nas mesmas e a sua carga iônica

a viscosidade da emulsão tem relação direta com seu teor de asfalto

emulsões de ruptura rápida (R)

quando sua ruptura ocorre imediatamente após seu contato com agregados limpos de baixa área superficial, por exemplo, brita utilizada em tratamento superficial

emulsões de ruptura média (M)

quando o tempo de exposição é maior que nas emulsões de ruptura rápida, permitindo a mistura da emulsão com agregados isentos, praticamente, de pó e de baixa área superficial, por exemplo, britas utilizadas em pré-misturados abertos



DENOMINAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS EMULSÕES

emulsões de ruptura lenta (L)

quando o tempo de ruptura é maior em relação às emulsões de ruptura rápida e média, podendo ser misturada com agregados de elevada área superficial, por exemplo, agregado miúdo, principalmente, pó de pedra e fíler utilizados em pré-misturados densos

emulsões de ruptura controlada (RC)

quando sua reatividade é intermediária, entre a emulsão RM e a RL, e não necessita do teste de mistura com cimento ou com fíler silícico para caracterizá-la, podendo ser misturada com agregado miúdo, principalmente pó de pedra e fíler utilizados em lama asfáltica de ruptura controlada e microrrevestimento asfáltico

são emulsões preparadas com aditivos que permitem que o produto aplicado tenha maior trabalhabilidade no momento da mistura e execução (energia cinética alta) e rompam rapidamente após lançamento (repouso)



DENOMINAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS EMULSÕES

dependendo da quantidade de CAP presente nas emulsões,
elas podem ser classificadas em 1C e 2C

C indica emulsão do tipo catiônica

os números 1 e 2 estão associados a menor e maior viscosidade/teor de asfalto

as emulsões para lama asfáltica são classificadas em três tipos

LA-1C, LAN e LARC

N significa carga de partícula neutra

RC significa ruptura controlada



DENOMINAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS EMULSÕES

emulsões catiônicas modificadas por polímeros elastoméricos

os ligantes residuais das emulsões com polímeros elastoméricos SBS e SBR apresentam vantagens em relação aos resíduos asfálticos das emulsões convencionais, a saber:

- menor susceptibilidade térmica tanto a alta quanto a baixa temperatura
- maior coesão interna que se transmite à mistura asfáltica ou a tratamentos de superfície
- maior elasticidade, praticamente inexistente nos resíduos asfálticos das emulsões convencionais
- maior adesividade aos agregados minerais
- maior resistência ao envelhecimento



DENOMINAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS EMULSÕES

emulsões catiônicas modificadas por polímeros elastoméricos

as características melhoradas deste tipo de emulsão são fundamentais para as técnicas a frio

por exemplo, uma melhoria na coesão é importante para compensar a presença inicial de água durante o período de cura da mistura asfáltica

esse efeito se mostra fundamental nas lamas asfálticas com polímero e nos microrrevestimentos, onde a espessura do revestimento é de alguns milímetros e nos tratamentos superficiais onde os esforços tangenciais e de impacto aos agregados são muito elevados



Principais ensaios para controle de emulsões

Ensaio sobre a emulsão

1. Carga da partícula
2. Peneiração
3. Sedimentação
4. Viscosidade Saybolt-Furol
5. Mistura com cimento ou filer silícico
6. Destilação (não constará da nova especificação)
7. Resíduo por evaporação
8. Resistência à água
9. Desemulsibilidade

Ensaio sobre o resíduo (obtido por evaporação em estufa)

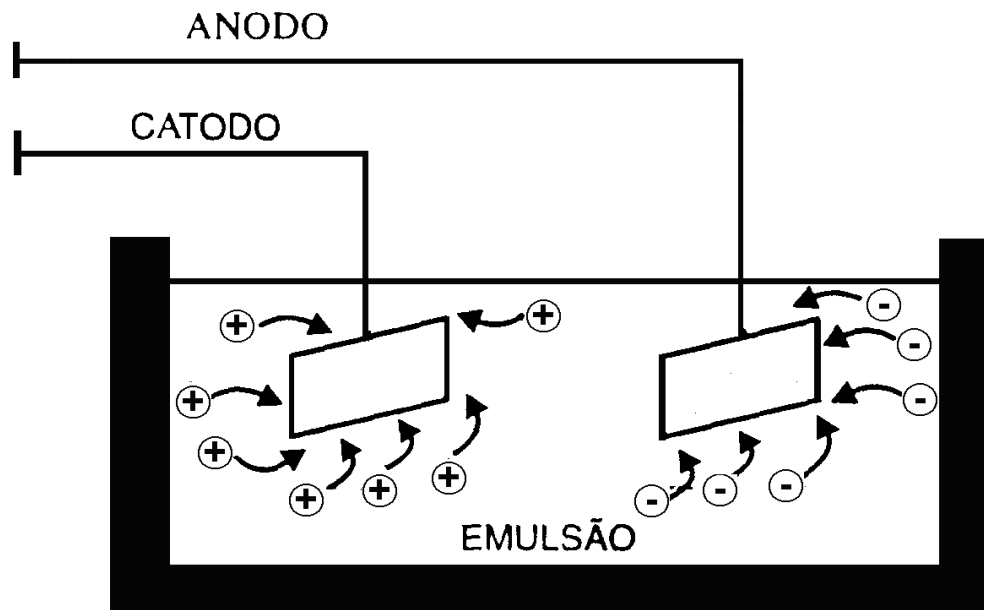
1. Penetração
2. Teor de betume
3. Ductilidade



ENSAIOS

CARGA DA PARTÍCULA

tem a finalidade de determinar a polaridade dos glóbulos





ENSAIOS

PENEIRAÇÃO

tem a finalidade de verificar a presença de glóbulos de asfalto com grandes dimensões a função desse ensaio é garantir a qualidade na fabricação da emulsão o peneiramento ou peneiração consiste em determinar a porcentagem em peso de partículas de asfalto retidas na peneira de malha n° 20 (0,84mm)

SEDIMENTAÇÃO

verifica a estabilidade de uma emulsão em relação à estocagem prolongada

MISTURA COM CIMENTO OU FÍLER SILÍCICO

tem a finalidade de verificar a estabilidade de emulsões tipo RL destinadas à mistura com agregados finos e se mensura a quantidade de resíduo asfáltico obtida quando se desestabiliza a emulsão (ensaio feito normalmente com cimento, sendo o fíler silícico usado apenas no caso de necessitar comprovar resultado)



Especificação para emulsões – Reg. Téc. ANP n. 6/2012

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE									MÉTODO (1)	
		Ruptura Rápida		Ruptura Média		Ruptura Lenta				Ruptura Controlada	ABNT NBR	ASTM
		RR-1C	RR-2C	RM-1C	RM-2C	RL-1C	LA-1C	LAN	EAI	LARC		
Ensaio para a emulsão												
Viscosidade Saybolt Furol a 25 °C, máx.	s	90	-	-	-	90	90	90	90	90	14491	D244
Viscosidade Saybolt Furol a 50 °C	s	-	100 a 400	20 a 200	100 a 400	-	-	-	-	-	14491	D244
Sedimentação, máx.	% m/m	5	5	5	5	5	5	5	10	5	6570	D6930
Peneiração (0,84 mm), máx.	% m/m	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	14393	D6933
Resistência à água (cobertura), mín. (2)	%	80	80	80	80	80	-	-	-	-	14249	D244
Adesividade em agregado miúdo, mín.	%	-	-	-	-	-	75	-	-	75	14757(3)	-
Carga da partícula	-	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	neutra	-	positiva	6567	D244
pH, máx.	-	-	-	-	-	6,5	-	6,5	8	6,5	6299	-
Destilação												
Solvente destilado	% v/v	-	-	0 a 12	0 a 12	-	-	-	0 a 15	-	6568	D244
Resíduo seco, mín.	% m/m	62	67	62	65	60	60	60	45	60	14376	D6934
Desemulsibilidade												
Mín.	% m/m	50	50	-	-	-	-	-	-	-	6569	D6936
Máx.		-	-	50	50	-	-	-	-	-		
Mistura com filer silício	%	-	-	-	-	máx. 2,0	1,2 a 2,0	-	-	mín. 2,0	6302	D244
Mistura com cimento	%	-	-	-	-	máx. 2,0	máx. 2,0	-	-	mín. 2,0	6297	D244
Ensaio para o resíduo da emulsão obtido pela NBR 14896												
Penetração a 25 °C (100g e 5s)	mm	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0	-	4,0 a 15,0	6576	D5
Teor de betume, mín.	%	97	97	97	97	97	97	97	97	97	14855	D2042
Ductilidade a 25 °C, mín.	cm	40	40	40	40	40	40	40	40	40	6293	D113



ENSAIOS

DESTILAÇÃO

quantifica o resíduo asfáltico de uma emulsão, porém caiu em desuso e tem sido usado para conhecer a faixa de destilação dos solventes presentes nas emulsões tipo RM
as emulsões RM-1C e RM-2C podem conter até 12% de solvente
este solvente presente no asfalto residual de uma RM garante trabalhabilidade do PMF aberto ou semi-denso mesmo após a ruptura da emulsão
por fim, depois de um dado tempo, esse solvente evapora

RESÍDUO POR EVAPORAÇÃO (método expedito e método da estufa)

quantifica o resíduo asfáltico da emulsão
o método da estufa fornece material para ensaios adicionais



ENSAIOS

RESISTÊNCIA À ÁGUA

verifica se o asfalto residual de uma emulsão é resistente à água, isto é, se ele apresenta boa adesividade com o agregado selecionado para a obra

DESEMULSIBILIDADE

uma quantidade de emulsão é parcial ou totalmente rompida pela adição de um reagente
o resultado é expresso em porcentagem do teor de asfalto residual da emulsão

PROCEDIMENTO

Toma-se uma certa quantidade de emulsão à qual é adicionada um acelerador de ruptura e se separa o asfalto obtido por peneiramento (retido na peneira de 1,41 mm) e se determina o seu peso (P1).

O resultado do ensaio é a relação, em porcentagem, entre o peso (P1) do asfalto obtido no ensaio e o peso (P2) do asfalto determinado no ensaio de evaporação de uma amostra de emulsão de mesmo volume.



Recomendações de uso de emulsões asfálticas

CARACTERÍSTICAS	EMULSÕES ASFÁLTICAS															
	CONVENCIONAIS									ELASTOMÉRICAS						ARE
	RUPTURA RÁPIDA		RUPTURA MÉDIA		RUPTURA LENTA				RUPTURA CONTROLADA	RUPTURA RÁPIDA		RUPTURA MÉDIA	RUPTURA LENTA	RUPTURA CONTROLADA		
	RR-1C	RR-2C	RM-1C	RM-2C	RL-1C	LA-1C	LAN	EAI	LA-RC	RR1C-E	RR2C-E	RC1C-E	RL1C-E	RM2C-E		
1 - Imprimação																
2 - Pintura de Ligação																
3.1 - TSS																
3.2 - TSD																
3.3 - TST																
4 - Macadame Betuminoso																
PMF Aberto																
PMF Denso																
7 - Areia Asfalto à Frio																
9 - Mistura na Estrada																
11 - Microvestimento																
12 - Solo-Emulsão																
13 - Lama Asfáltica																
SAM / SAMI																
Reciclagem à Frio																
PMF Semi-denso																

ARE = Agente de reciclagem emulsionado
TSS = Tratamento Superficial Simples
TSD = Tratamento Superficial Duplo
TST = Tratamento Superficial Triplo
PMF = Pré Misturado à Frio

Fonte: Brasquímica Produtos Asfálticos Ltda.

Website: https://www.brasquimica.com.br/informacoes-tecnicas/prg_pub_det.cfm/sugestao-para-emprego-das-emulsoes-asfalticas



Recomendações de uso de emulsões asfálticas

imprimação

aplicação de material betuminoso sobre uma superfície de base granular concluída, antes da execução do revestimento betuminoso

objetiva conferir coesão superficial, impermeabilizar e permitir condições de aderência entre a superfície e o revestimento a ser executado

Foto: Akzo-Nobel



(a) aplicação da EAI sobre base granular

(b) detalhe da textura da base sendo imprimada

Figura V.2 – Serviço de imprimação com EAI

EAs vêm sendo usadas em substituição ao CM-30 e CM-70, por apresentarem maior ponto de fulgor, menor emissão de vapores e menor tempo de cura (máx. 48 hs)

Fonte: **Manual básico de emulsões asfálticas**, ABEDA, 2010, 2ª. Ed.



Recomendações de uso de emulsões asfálticas

pintura de ligação

aplicação de emulsão asfáltica catiônica sobre base coesiva ou pavimento a ser restaurado

objetiva promover condições de aderência entre as camadas

aplicações

em camadas de ligação de duas ou mais camadas asfálticas durante a construção de pavimentos flexíveis

sobre revestimentos asfálticos, previamente à execução de um reforço, recapeamento ou rejuvenescimento superficial com lama asfáltica, microrrevestimento e reperfilagens com misturas asfálticas a frio ou a quente



Recomendações de uso de emulsões asfálticas

Tratamentos Superficiais por Penetração (TSP)

técnica para construção de revestimento asfáltico sobre bases granulares ou recuperação de superfícies de rolamento degradadas superficialmente

espessuras entre 0,5 e 2,5 cm

técnica recomendada para tráfego de projeto inferior a $N = 10^6$

TSS



TSD



TST



Consiste na execução por espalhamento sucessivo de emulsão asfáltica catiônica tipo RR-2C, convencional ou modificada, seguido de aplicação de material granular

De acordo com o número de camadas sucessivas de ligante e agregados empregados, é classificado como simples, duplo ou triplo

Fontes

Manual básico de emulsões asfálticas, ABEDA, 2010, 2ª. Ed.
Utilização de ligantes asfálticos em serviços de pavimentação, ABEDA, 2015, 1ª. Ed.



Recomendações de uso de emulsões asfálticas



Figura VII.8 – Aplicação simultânea de emulsão asfáltica elastomérica e agregados através do equipamento multidistribuidor

Fonte: **Manual básico de emulsões asfálticas**,
ABEDA, 2010, 2ª. Ed.



Recomendações de uso de emulsões asfálticas

Pré-Misturado a Frio (PMF)

utilizado na execução de camada intermediária de regularização e reforço da estrutura do pavimento (binder), em revestimentos asfálticos e serviço de tapa-buracos

mistura de agregado graúdo, agregado miúdo, fíler e emulsão asfáltica catiônica convencional ou modificada por polímeros (RM ou RL) espalhada e compactada a frio

alternativa de baixo custo por conta da utilização de equipamentos de baixo custo para produção e aplicação (feita com vibroacabadora ou até mesmo motoniveladora)

Classificação dos tipos de PMF

DENOMINAÇÃO	P % PASSANDO		% VAZIOS
	Nº 10 (2 mm)	Nº 200 (0,074 mm)	
Aberto	$P \leq 10$	$P \leq 2$	22 a 34
Semidenso	$20 \geq P > 10$	$P \leq 5$	15 a 22
Denso	$P > 20$	$P \leq 8$	9 a 15



Recomendações de uso de emulsões asfálticas

Areia-Asfalto (AA)

mistura de emulsão asfáltica catiônica e agregado miúdo, com ou sem fíler, espalhado e compactado a frio (tecnologia similar ao PMF)

alternativa para pavimentação em regiões com carência de agregados pétreos e sujeitas a elevado custo de transporte dos materiais

o agregado miúdo pode ser areia, pedrisco, pó de pedra, pós de escória ou mistura de ambos e o fíler pode ser cimento, cal ou pó calcário



(a) areia asfalto a frio em via urbana



(b) detalhe da espessura delgada do revestimento



Recomendações de uso de emulsões asfálticas

solo-emulsão

mistura de solos, geralmente locais, com emulsão asfáltica, com ou sem fíleres minerais ativos, espalhada e compactada a frio

alternativa de baixo custo para pavimentação em regiões com carência de agregados pétreos e sujeitas a elevado custo de transporte dos materiais



Figura XVI.1 – Estabilização de solos no local, com emulsão asfáltica

vias urbanas ou rurais de baixo tráfego podem ser pavimentadas, combinando esta técnica com um revestimento asfáltico delgado (tratamento antipó, capa selante, lama asfáltica, TSP ou microrrevestimento)



Recomendações de uso de emulsões asfálticas

lama asfáltica (slurry seal)

produto resultante da associação entre agregados minerais, fíler, emulsão asfáltica catiônica e água, uniformemente misturados, espalhado a temperatura ambiente aplicada principalmente para fins de manutenção preventiva de pavimentos asfálticos ou de concreto em bom estado e que necessitam apenas de selagem, impermeabilização e rejuvenescimento da superfície de rolamento (desgastada pela ação do tráfego e do clima)



aplicada também como revestimento final sobre bases estabilizadas granulometricamente ou quimicamente ou sobre tratamentos superficiais envelhecidos



Recomendações de uso de emulsões asfálticas

microrrevestimento

evolução da lama asfáltica, utilizada na reabilitação funcional de pavimentos (rejuvenescimento superficial, melhoria da drenagem superficial e das condições de aderência pneu-pavimento) em rodovias de tráfego médio, alto e muito pesado

mistura a frio de emulsão asfáltica modificada por polímeros tipo SBR ou SBS com agregado mineral, fíler, água e, se necessário, aditivos químicos para controle da velocidade de ruptura da emulsão e fibras de reforço (para melhoria das propriedades mecânicas da camada)



empregado também como revestimento final sobre pavimentos flexíveis e rígidos, bases granulares ou recicladas e como camada intermediária para redução da espessura de reforço (selando fissuras)



Recomendações de uso de emulsões asfálticas



Fonte: **Manual básico de emulsões asfálticas**, ABEDA, 2010, 2ª. Ed.

Figura X.4 – Aplicação de microrrevestimento asfáltico em rodovia de alto tráfego



Figura X.6 – Aplicação de microrrevestimento asfáltico em via urbana expressa



Figura X.3 – Aplicação de MRAF para o preenchimento de trilhas de roda



Recomendações de uso de emulsões asfálticas

macadame betuminoso

o macadame betuminoso com capa selante é usado na execução de camadas de reforços e camadas de rolamento sobre bases granulares e ainda como revestimento impermeabilizante e selante quando se deseja bloquear a propagação de trincas do revestimento asfáltico existente e proteger a infraestrutura do pavimento

usado também como base ou camada intermediária (*binder*) de pavimentos

consiste em aplicações sucessivas (geralmente duas) de agregado mineral e ligante asfáltico ou emulsão asfáltica, iniciando com a aplicação de agregado mais graúdo

técnica pouco utilizada nos últimos anos em rodovias no Brasil,
mas ainda muito empregada em vias urbanas

Fontes

Manual básico de emulsões asfálticas, ABEDA, 2010, 2ª. Ed.

Utilização de ligantes asfálticos em serviços de pavimentação, ABEDA, 2015, 1ª. Ed.



ASFALTOS DILUÍDOS (Cut-backs)

DEFINIÇÃO

são diluições em solventes de petróleo de volatilidade adequada
são utilizados com veículo quando deseja-se eliminar o aquecimento ou
utilizá-lo moderadamente

os diluentes proporcionam produtos menos viscosos que podem ser
aplicados a temperaturas mais baixas

os diluentes devem evaporar completamente deixando como resíduo o CAP,
que então desenvolve as propriedades cimentícias

o fenômeno de evaporação do diluente chama-se **CURA**



ASFALTOS DILUÍDOS (Cut-backs)

são classificados em três categorias de acordo com o tempo de cura

CR - asfaltos diluídos de cura rápida (RC)

CM - asfaltos diluídos de cura média (MC)

CL - asfaltos diluídos de cura lenta (SC)

atualmente, existe disponibilidade apenas de asfaltos diluídos de cura média, em virtude do aparecimento das emulsões asfálticas (EAI – emulsões asfálticas para imprimação)



Características dos Asfaltos Diluídos

classes de asfaltos diluídos – Regulamento Técnico ANP n. 2/2007

tipo	viscosidade cinemática (cSt, 60°C)	viscosidade Saybolt Furol (s)
CM-30	30 - 60	75 – 150 (25°C)
CM-70	70 - 140	60 – 120 (50°C)
CR-70	70 - 140	60 – 120 (50°C)
CR-250	250 - 500	120 – 250 (60°C)

apesar do Regulamento técnico da ANP trazer quatro classes de asfaltos diluídos, apenas o CM-30 é produzido em algumas refinarias



Sugestões para uso de materiais asfálticos na pavimentação

CARACTERÍSTICAS	ASFALTOS											
	CAP CONVENCIONAIS				CAP MODIFICADOS					ASFALTOS DILUÍDOS		AR
					CAP ELASTOMÉRICO			CAP BORRACHA				
	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	55/75-E	60/86-E	65/90-E	AB-8	AB-22	CM-30	CM-70	
Imprimação												
TSS												
TSD												
TST												
Macadame Betuminoso												
Pré-Misturado a Quente												
Areia Asfalto à Quente												
Concreto Asfáltico												
Camada Porosa												
Reciclagem à Quente												
SAM / SAMI												
SMA												
GAP GRADED												

AR = Agente de reciclagem
TSS = Tratamento Superficial Simples
TSD = Tratamento Superficial Duplo
TST = Tratamento Superficial Triplo



ASFALTOS MODIFICADOS POR POLÍMEROS ELASTOMÉRICOS

DEFINIÇÃO

materiais resultantes da mistura de CAP e polímeros do tipo elastômero, sob condições específicas de moagem (cisalhamento e temperatura), normalmente com adição de aditivos que melhoram a compatibilidade do polímero ao asfalto e proporcionam níveis praticáveis de viscosidade (óleos aromáticos e enxofre)

a produção ocorre em plantas preparadas para este fim (e não em refinaria)

estocagem e transporte feitos sob agitação para evitar a separação de fases

são produtos melhorados e que proporcionam misturas asfálticas mais duráveis

os modificadores mais usados no Brasil atualmente são o copolímero SBS e os polímeros tipo RET (Reactive Ethylene Terpolymer – polímeros reativos)

classes baseadas no ponto de amolecimento e na recuperação elástica no ductilômetro



Asfaltos modificados por polímeros elastoméricos – Reg. Téc. ANP n. 4/2010

Grau (ponto de amolecimento, mín./recuperação elástica, mín.)		55/75-E	60/85-E	65/90-E
Ensaio na amostra virgem:	Métodos	Limite de especificação		
Penetração 25°C, 5s, 100g, dmm	NBR 6576	45-70	40-70	40-70
Ponto de amolecimento mín., °C	NBR 6560	55	60	65
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 rpm, máx., cP	NBR 15184	3000	3000	3000
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 rpm, máx., cP	NBR 15184	2000	2000	2000
Viscosidade Brookfield a 175°C, spindle 21, 100 rpm, máx., cP	NBR 15184	1000	1000	1000
Ensaio de separação de fase, máx., °C	NBR 15166	5	5	5
Recuperação elástica a 25°C, 20cm, mín., %	NBR-15086	75	85	90
Ensaio no resíduo do RTFOT				
Variação de massa, máx., %	ASTM D 2872	1	1	1
Variação do PA, °C, máx.	NBR 6560	-5 a +7	-5 a +7	-5 a +7
Porcentagem de penetração original, mín.	NBR 6576	60	60	60
Porcentagem de recuperação elástica original a 25°C, mín.	NBR 15086	80	80	80



ASFALTO-BORRACHA

DEFINIÇÃO

material resultantes da mistura de CAP e borracha moída de pneus descartados, sob condições específicas de moagem (cisalhamento e temperatura), normalmente com adição de aditivos que melhoram a compatibilidade da borracha ao asfalto e proporcionam níveis praticáveis de viscosidade (óleos aromáticos e enxofre)

a produção ocorre em plantas preparadas para este fim (e não em refinaria)

estocagem e transporte feitos sob agitação para evitar a separação de fases

são produtos melhorados e que proporcionam misturas asfálticas mais duráveis

tecnologia antiga (remonta à década de 1960 nos EUA) e que começou a ser empregada em maior escala no Brasil nos últimos 20 anos



Asfaltos modificados por borracha moída de pneus (terminal blend) – Reg. Téc. ANP n. 5/2008

Característica	Unidade	Limite		Método	
		AB8	AB22	ABNT/NBR	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1 mm	30 – 70		6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín.	°C	50	55	6560	D 36
Viscosidade Brookfield a 175°C, spindle 3, 20 rpm, máx.	cP	800-2000	2200-4000	15529	D 2196
Ponto de fulgor, mín.	°C	235		11341	D 92
Estabilidade à Estocagem, máx.	°C	9		15166	D 7173
Recuperação Elástica a 25° C, 10 cm, mín.	%	50	55	15086	D 6084
Varição em massa do RTFOT, máx.	% massa	1,0		15235	D 2872
Ensaio no Resíduo RTFOT					
Varição do ponto de amolecimento, máx.	°C	10		6560	D 36
Porcentagem de Penetração original, mín.	%	55		6576	D 5
Porcentagem de Recuperação Elástica Original (25°C, 10 cm) mín.	%	100		15086	D 6084



ASFALTOS MODIFICADOS POR POLÍMEROS E ASFALTO-BORRACHA

ensaio de estabilidade à estocagem (separação de fases)

1. preencher um tubo de pasta de dente de alumínio com o asfalto modificado
2. posicioná-lo na vertical em estufa a 163°C por 48 hs
3. resfriá-lo a temperatura negativa e cortar o terço superior e o terço inferior do tubo
4. fazer o ensaio de ponto de amolecimento do material do topo e do fundo
5. a estabilidade à estocagem ou a separação de fases é quantificada pelo valor absoluto da diferença entre os pontos de amolecimento dos materiais de topo e de fundo



ASFALTOS MODIFICADOS POR POLÍMERO ELASTOMÉRICO

ensaio de recuperação elástica no ductilômetro

- banho por 85-95 min a $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$
- tracionar a amostra a $5\text{cm}/\text{min} \pm 5\%$
- parar após deformar $20\text{cm} \pm 0,25\text{cm}$
- esperar 5 min e cortar o fio no meio do vão
- após 1 h, retornar a amostra até as duas pontas se juntarem e medir quanto retornou

$$RE = \frac{x}{20} \cdot 100$$

x = distância recuperada em cm

