

FATEC - FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
ESTRADAS

LIGANTE ASFÁLTICO

2. SEM -2026 -

Dr. Edson de Moura

1

Petróleo bruto ou cru

2

Refinarias da Petrobrás

Petróleo Bruto ou Cru

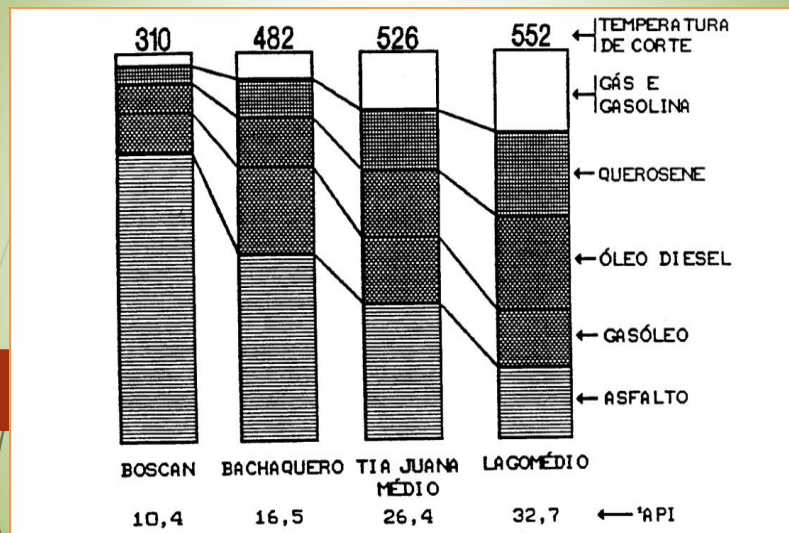
Praticamente, todo o asfalto em uso hoje em dia é obtido do processamento de petróleo bruto (ou cru).

Muitas refinarias são localizadas próximas a locais com transporte por água, ou supridos por dutos a partir de terminais marítimos.



3

Rendimento de CAP por petróleos - (exemplos)



4

Rendimento de CAP por petróleos - (exemplos)

ORIGEM DO PETRÓLEO CRU	MASSA ESPECÍFICA A 15°C (kg/m ³)	TEOR DE ASFALTENOS (%)	RESÍDUO EM BETUME (% de massa sobre o bruto)
Boscan (Venezuela)	1.005	10,5	79
Rospomare	983	17,4	75
Bachaquero	975	6,4	49
Tia Juana	897	4,0	30
Safaniya	892	4,5	36
Árabe médio	891	3,5	34
Kuwait	867	1,4	19
Árabe leve	858	1,3	19
Kirkuk	843	2,1	18

Lombardi, 1983

5

COMPOSIÇÃO DO PETRÓLEO

- C1 e C2 – GN até 40°C
- C3 a C5 – GLP até 40°C
- C6 a C10 – Nafta (solventes, gasolina – 40°C a 180°C)
- C11 a C12 – querosene – 180 °C– 230 °C
- C13 a C17 – óleo diesel– 230 °C – 300 °C
- C18 a C25 – gasolina, óleos lubrificantes, óleos combustíveis, parafina – 300 °C – 400 °C
- C26 – C38 – óleos lubrificantes – 400°C - 520 °C
- C38 – asfalto – resíduo

Somente alguns tipos de petróleo são apropriados para a obtenção de asfalto

6

PETRÓLEO

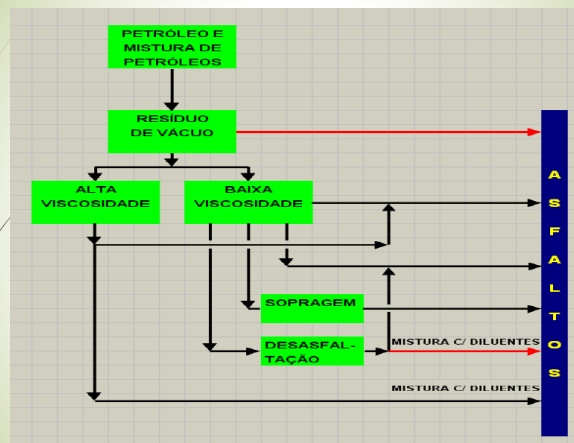
- **Petróleo leve ou intermediário** – Médio ou baixo rendimento (2 estágios de destilação)
Ex. Árabe leve , Carmópolis

O CAP obtido é um resíduo de vácuo que necessita da adição de diluente

As refinarias são projetadas para produzirem asfalto a partir de mistura de diversos petróleos.

7

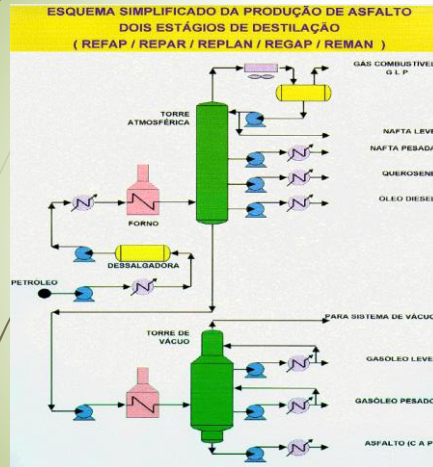
Produção de CAP



Fonte: BR Distribuidora

8

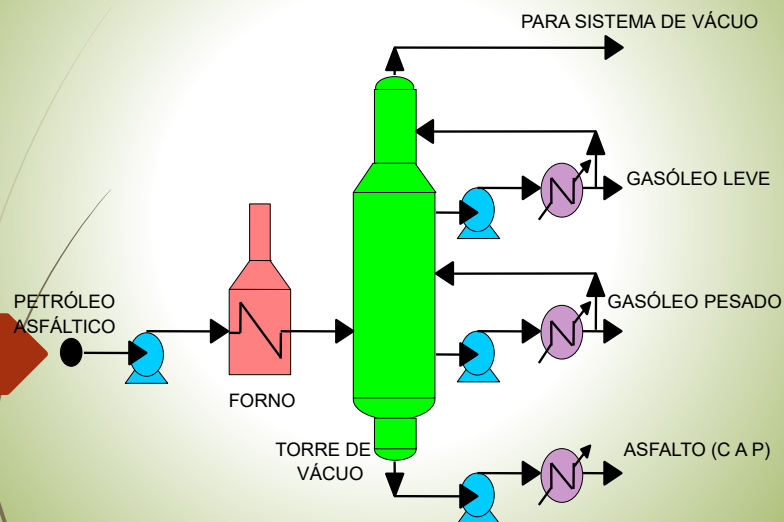
Produção de CAP



Fonte: BR Distribuidora

9

Produção Destilação em apenas um estágio



10

LEI GERAL DOS GASES

- A equação que envolve as variáveis de estado P, T e V dos gases, é conhecida como **equação geral dos gases**:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Os parâmetros controlados na destilação do petróleo:

Temperatura e Pressão

O cru (líquido) é gradativamente "aquecido" até 400°C e o vapor atinge 210°C (no topo da coluna de destilação)

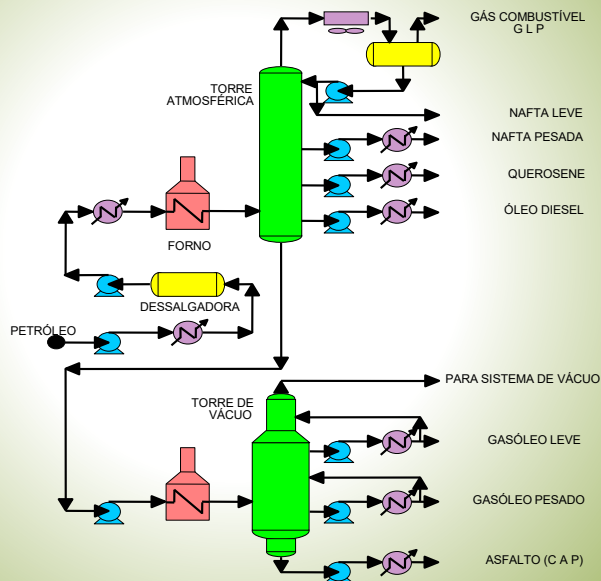
Faixas: gasolina = T°C ambiente até 210°C
querosene = até 300°C
óleo diesel = até 400°C

A aplicação de pressão de vácuo de 10 mm Hg no vapor que está a 210°C, voláteis mais pesados formam um novo volume de vapor, nesse caso de óleo diesel que corresponde à 400°C

Dessa forma, variando-se a pressão pode-se extrair produtos dos vapor até temperaturas de 550°C.

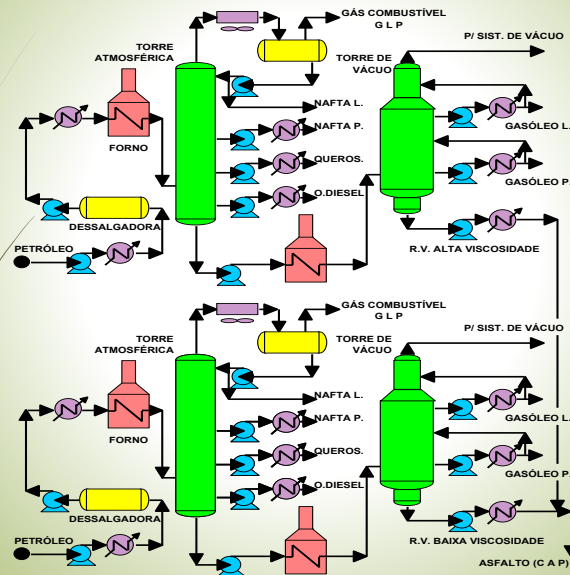
11

Produção Dois estágios de destilação



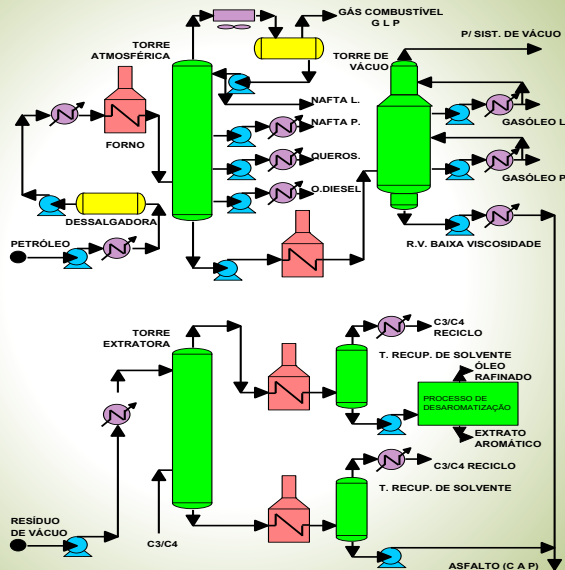
12

Mistura de RV de alta e baixa viscosidade



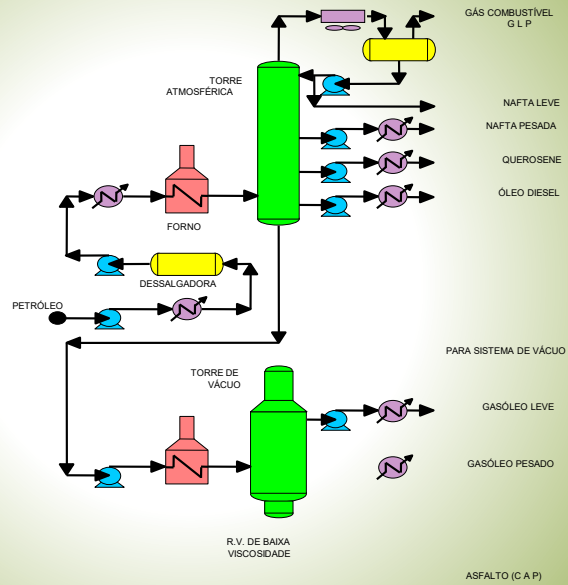
13

Mistura de RASF e diluente



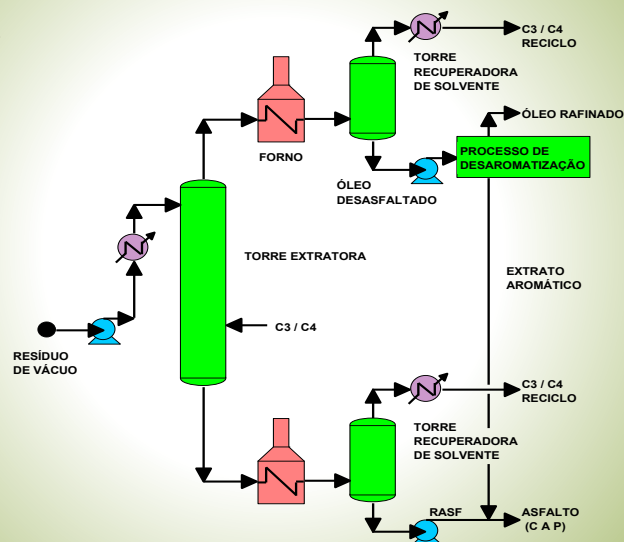
14

Semi sopragem



15

Produção de asfalto unidade de desasfaltação a propano

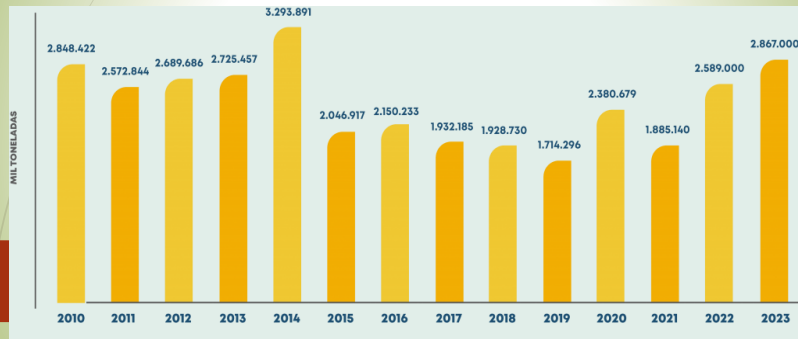


16

EVOLUÇÃO DO MERCADO

CONSUMO DE ASFALTOS NAS REFINARIAS DO BRASIL

2010 - 2023



Fonte: Abeda/ANP 2024

17

Cimento Asfáltico de Petróleo
CAP

18

Denominação

No passado o agente aglutinante utilizado nas misturas asfálticas era denominado de betume - rochas (gilsonita) impregnadas (naturalmente) com asfáltico daí a denominação de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ).

O alcatrão, devido às suas características cancerígenas, teve seu uso gradativamente abandonado em misturas asfálticas, assim, para a produção de misturas asfálticas passou-se somente a utilizar o cimento asfáltico oriundo da destilação do petróleo, sendo a mistura, com emprego desse tipo de ligante denominada de concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ).

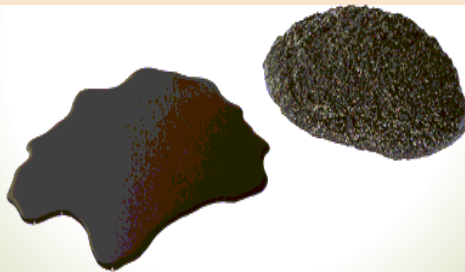
Entretanto, como o cimento asfáltico é um material termoplástico e só pode ser misturado aos agregados se estiver aquecido, o termo: usinado a quente torna-se redundante, assim, tem-se utilizado atualmente, somente a denominação de concreto asfáltico (CA).

19

Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

O asfalto utilizado em pavimentação tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoelástico, impermeável à água, pouco reativo e de coloração marrom a preta.

Ele proporciona forte união dos agregados, formando uma mistura flexível, de baixa permeabilidade, resistente à maioria dos ácidos, álcalis e sais.



A pouca reatividade química a muitos agentes não evita que este material possa sofrer um processo de envelhecimento por oxidação lenta pelo contato com o ar e a água.

20

Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Sua constituição: hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos não voláteis de elevada massa molecular e uma pequena quantidade de grupos funcionais formados por enxofre, nitrogênio e oxigênio.

- Carbono, 82 a 88%;
- Hidrogênio, 8 a 11%;
- Enxofre, 0 a 6%;
- Oxigênio, 0 a 1,5% e
- Nitrogênio, 0 a 1%.

Sua composição química varia principalmente em função da origem do petróleo e, em menor grau, do processo empregado em seu refino.

21

Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

De maneira simplificada, o asfalto pode ser representado por três componentes principais:

- uma componente maltênica (~78%),
- uma asfáltênica (~20%) e
- uma resina (~2%),

22

Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

No Brasil, utiliza-se a denominação cimento asfáltico de petróleo – CAP – para designar o asfalto empregado no setor rodoviário. Eles são caracterizados segundo as normas brasileiras ABNT e NBR e especificados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.

A Especificação ANP – Resolução número 19, de 11 de julho de 2005 e Regulamento Técnico número 3/2005 – classifica e caracteriza os CAPs empregados no Brasil. De acordo com esta resolução, os CAPs brasileiros são classificados pela penetração. Nessa classificação há atualmente quatro tipos de CAP, classificados por penetração:

23

CLASSIFICAÇÃO DOS CAP

Até 2005 a classificação dos CAPs no Brasil era feita através do ensaio de Viscosidade Absoluta a 60°C, em Poise.

➤ Atualmente os CAPs são classificados de acordo com sua Penetração em 0,1mm (25°C, 100g, 5s).

24

Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

- CAP 30/45,
- CAP 50/70,
- CAP 85/100 e
- CAP 150/200,

Constituindo-se em produtos básicos para a produção de outros materiais asfálticos, como, por exemplo:

- os asfaltos diluídos de petróleo,
- as emulsões,
- os asfaltos modificados por polímeros e
- os asfaltos modificados por borracha moída de pneus

25

A Especificação ANP – Resolução número 19, de 11 de julho de 2005 e Regulamento Técnico número 3/2005

Características	Unidade	Limites				Métodos	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100g, 5s, 25, °C)	0,1mm	30 a 45	50 a 70	85 a 100	150 a 200	NBR 6576	D 5
Ponto de Amolecimento	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol	s					NBR 14950	E 102
a 135°C		192	141	110	80		
a 150°C		90	50	43	36		
a 177°C		40 a 150	30 a 150	15 a 60	15 a 60		
Viscosidade Brookfield	cP					NBR 15184	D 4402
a 135°C, SP 21, 20rpm mín		374	274	214	155		
a 150°C, SP 21, mín		203	112	97	81		
a 177°C, SP 21 mín		76 a 285	57 a 285	28 a 114	28 a 114		
Índice de Susceptibilidade Térmica		(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	-	-
Ponto de Fulgor mín.	°C	235	235	235	235	NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25 °C, mín.	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113

26

A Especificação ANP – Resolução número 19, de 11 de julho de 2005 e Regulamento Técnico número 3/2005 (continuação)

Características	Unidade	Limites				Métodos	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Efeito calor e ar a 163 °C, 85 mín - RTFOT							D 2872
Varição em massa, máx	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5		
Ductilidade a 25 °C	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D113
Aumento do Ponto de Amolecimento	°C	8	8	8	8	NBR 6560	D 36
Penetração Retida (*)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5

(*) relação entre a penetração após o efeito do calor e do ar em estufa RTFOT e a penetração antes do ensaio.

27

Tipos de ligantes asfálticos para pavimentação



- Cimentos asfálticos de petróleo - CAP;
- Asfaltos diluídos de petróleo - ADP;
- Emulsões asfálticas - EAP;
- Agentes rejuvenescedores
- Asfaltos modificados; elastoméricos (SBS) não elastomérico (TLA, Asfaltita, etc)
- AMB - asfalto modificado por borracha de pneu moído

28

Asfaltos modificados

Por que modificar ligante asfáltico?

A necessidade de modificar ligantes asfálticos está no ganho das propriedades reológicas.

Aumentar o ponto de amolecimento para resistir a temperaturas mais elevadas de trabalho do pavimento e a maiores esforços das cargas.

Aumentar a viscosidade resultando em maior espessura de filme (resistência ao envelhecimento) sem risco de exsudação

Aumentar a recuperação elástica para resistir a mais repetição de cargas

Menor variação do módulo de resiliência com a temperatura, minimizando a formação de trilhas de roda para altas temperaturas e trincamento para baixas.

Propicia uma melhor adesividade ligante asfáltico/agregado.

Ligante asfáltico modificados por polímero apresentam melhor resistência ao envelhecimento

29

Asfaltos modificados

A ANP, através de sua Resolução ANP Nº 32, DE 21.9.2010 - DOU 22.9.2010, regulamenta os parâmetros que os ligantes asfálticos modificados por polímeros elastoméricos devem apresentar.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE			MÉTODO	
		Tipo			ABNT	ASTM
		55/75-E	60/85-E	65/90-E	NBR	
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	45 - 70	40 - 70		6576	D5
Ponto de amolecimento, min	°C	55	60	65	6560	D36
Viscosidade Brookfield					15184	D4402
a 135°C, spindle 21, 20 rpm, máx.	cP	3000				
a 150°C, spindle 21, 50 rpm, máx.		2000				
a 177°C, spindle 21, 100 rpm, máx.		1000				
Ponto de fulgor, min	°C	235			11341	D92
Ensaio de separação de fase, máx.	°C	5			15166	D7173
Recuperação elástica a 25°C, 20 cm, min	%	75	85	90	15086	D6084
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 minutos						
Variação em massa, máx (1)	% massa	1,0			15235	D2872
Variação do ponto de amolecimento, máx	°C	-5 a +7			6560	D36
Porcentagem de penetração original, min	%	60			6576	D5
Porcentagem de recuperação elástica original a 25°C, min.	%	80			15086	D6084

30

Asfaltos modificados

Tipos de polímeros empregados para modificação de ligante asfáltico para fins rodoviários. A classificação de Disnmem, (DNER 1998):

- a) **termorrígidos:** são aqueles que não se fundem, degradam numa temperatura limite e endurecem irreversivelmente quando aquecidos a uma temperatura dependente de sua estrutura química. Como por exemplo: resina epóxi, poliuretano, (garrafa pet) etc.
- b) **termoplásticos:** são aqueles que se fundem e se tornam maleáveis reversivelmente quando aquecidos. São incorporados aos asfaltos à alta temperatura (LEITE, 1999). Como por exemplo, tem-se o polietileno, polipropileno atático e o policloreto de vinila (EVA), metacrilato de glicidil.

31

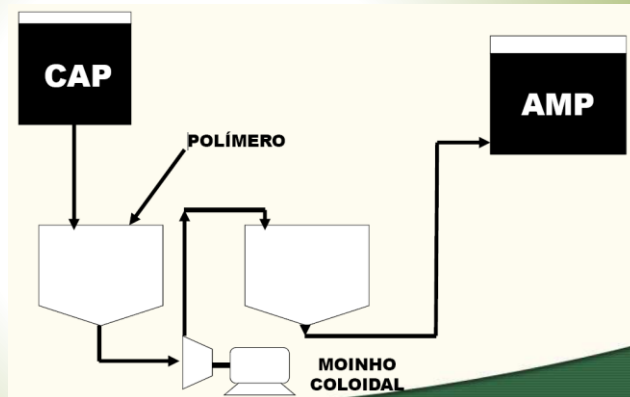
Asfaltos modificados

- c) **elastômeros:** são aqueles que quando aquecidos se decompõem antes de amolecer, e apresentam propriedades elásticas que lembram a **borracha**. Como por exemplo, tem-se *Stireno-butadieno-rubber* (SBR) (DNER, 1998). trata-se de um polímero que é apresentado em meio aquoso e devido às suas características é utilizado em menor escala em modificações de ligante asfáltico.
- d) **elastômero-termoplásticos:** são aqueles que ao serem aquecidos se comportam como termoplásticos, mas em temperaturas mais baixas apresentam propriedades elásticas. Como exemplos, tem-se o SBS e o RET (DNER, 1998). *Styrene-Butadiene-Styrene* (SBS) é o mais empregado em modificação de ligantes.

32

CAP MODIFICADO COM POLÍMERO

PRODUÇÃO



Fonte: BR Distribuidora

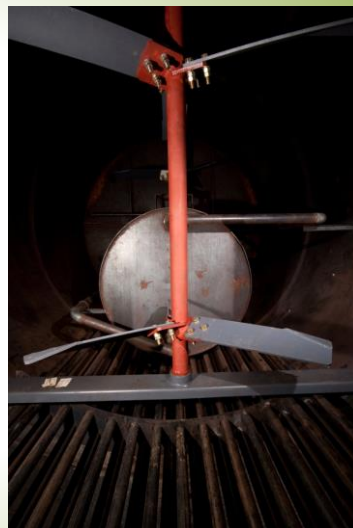
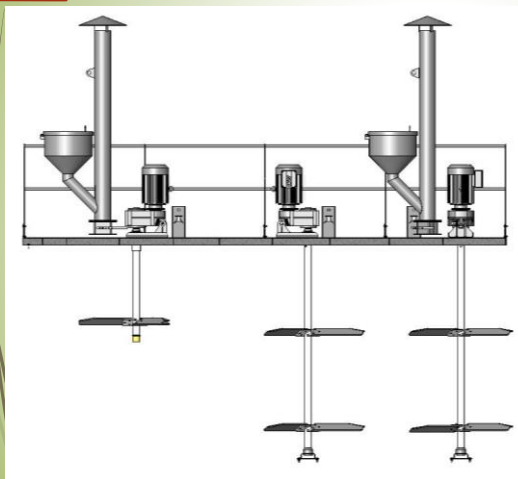
33

Tanque com agitador



34

Tanque com agitador



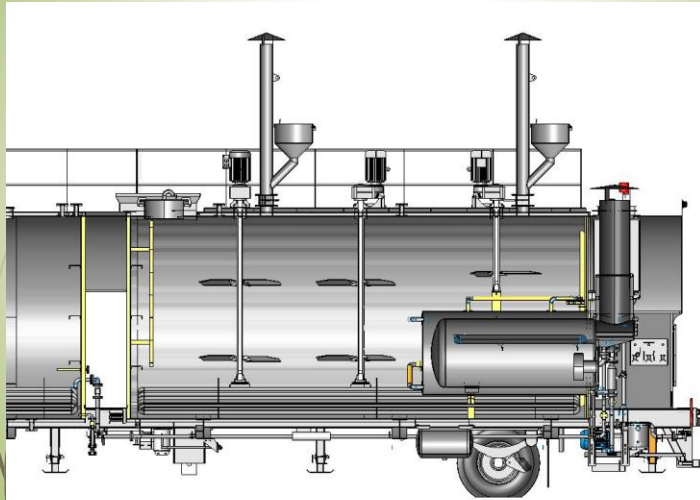
35

Interior do tanque com agitador e sistema de aquecimento (óleo térmico)



36

Tanque móvel com agitador



37

Asfaltos modificados

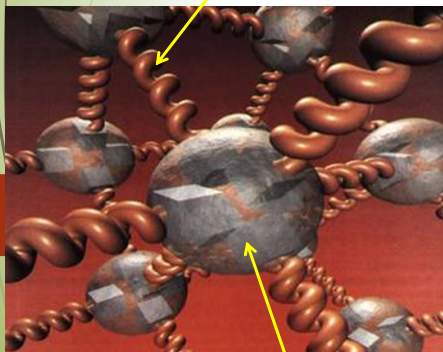
Com referência ao teor de polímero, tem-se praticado porcentagens na ordem de até 4%. Essa quantidade de polímero é função, principalmente, das características que se deseja atingir com o produto final e em menor escala ao tipo de ligante asfáltico matriz e também ao processo de incorporação do polímero.

Na denominação do ligante asfáltico modificado por polímero tem-se: 55/75E, 60/85E e 65/90E, a primeira dezena indica o ponto de amolecimento do ligante asfáltico modificado e a segunda dezena, indica a recuperação elástica e quanto maiores os valores numéricos, maior a porcentagem de polímero adicionado.

38

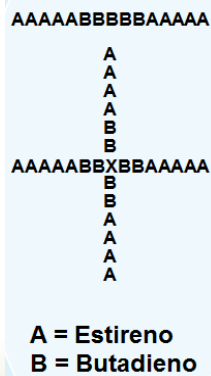
Asfaltos modificados

Conformação espacial do SBS
Domínio Butadiênico



Domínio Estirênico

Forma das ligações
entre o estireno e o
butadieno



39

Asfaltos modificados

Determinação do teor de polímero em ligantes asfálticos modificados

Para se determinar a porcentagem de polímero SBS adicionado a um dado ligante asfáltico modificado é uma tarefa relativamente difícil, no processo de incorporação, ocorre uma reação química e devido a essa reação o processo de determinação não é usual.

Também existem variações quanto ao tipo de ligante asfáltico matriz, podendo existir dois tipos de ligantes asfálticos modificados por polímero SBS com mesma classificação, por exemplo, 55/75E, mas com adição de porcentagens de polímeros distintas.

Na prática, tem-se atentado para a classe em que o ligante asfáltico modificado se enquadra e não a quantidade de polímero adicionado.

40

CAP MODIFICADO COM BORRACHA MOÍDA

- **FORMAS DE INCORPORAÇÃO:** via úmida e via seca
- **VIA ÚMIDA** – Estocável (Terminal Blending) e Não estocável (Just in time ou continuous Blending)
- **Terminal Blending** – Preparado em fábrica e transportado para a obra
- **Just in time** – Preparado na própria obra e aplicado imediatamente após a produção.

O DER/RJ possuiu uma unidade de produção do asfalto borraça do tipo Just in time

41

CAP MODIFICADO COM BORRACHA MOÍDA

➤ VIA SECA

A borraça entra como parte do agregado pétreo, produzindo um material conhecido como "agregado- borraça"

Esse processo é pouco utilizado no mundo e quase nada no Brasil

42

Ligante asfáltico modificado por BPM

Os ligantes asfálticos modificados por adição de BPM são denominados de fluidos pseudoplásticos quando acima de 100°C.

O processo de incorporação utiliza alta temperatura e alto cisalhamento que propicia a vulcanização de parte da borracha não vulcanizada no processo de industrialização do pneu, evidencia-se assim a preferência da utilização de borracha de pneus de caminhão em que, nesses pneus existem cerca de 70% de borracha em estado natural.

Diferentemente de pneus de veículos leves em que a porcentagem de borracha não vulcanizada é na ordem de apenas 30%.

43

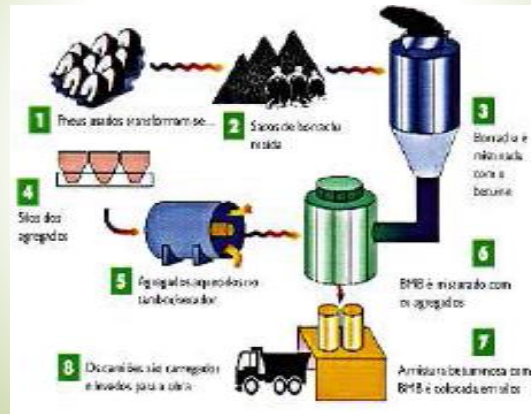
Especificação de ligante asfáltico modificado por BPM ANP Resolução n. 39 de 24.12.2008

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE		MÉTODO	
TIPO		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 RIFOT, máx	% massa	1,0		15235	D 2872
Ensaio no Resíduo RIFOT					
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

44

CAP MODIFICADO COM BORRACHA MOÍDA

► Método Terminal Blending (Fonte BR PETROBRAS)



Fonte: BR Distribuidora

45

CAP MODIFICADO COM BORRACHA MOÍDA

► Estágios de produção

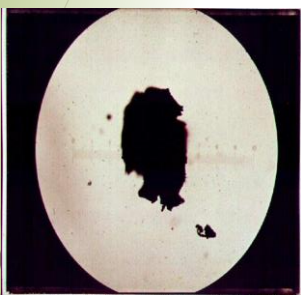


Fonte: BR Distribuidora

46

CAP MODIFICADO COM BORRACHA MOÍDA

■ INCHAMENTO DA BORRACHA



Fonte: BR Distribuidora

47

Ensaio brasileiro de
caracterização de CAP

48

Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

- Penetração
 - Ponto de amolecimento
 - Índice de consistência térmica
 - Viscosidade - Saybolt Furol (CAPs)
 - Viscosidade Rotacional (Brookfield)
(ligantes modificados)
 - Ductilidade
- } Ensaio de consistência
- Ponto de Fulgor (segurança)
 - Solubilidade (qualidade – pureza)

49

Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Penetração

50

Ensaio de Consistência

Penetração

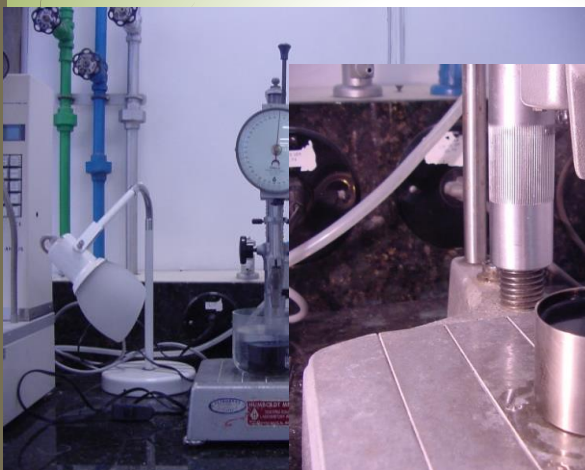
- Ensaio de classificação de cimentos asfálticos.
- Medida de consistência.
- Ensaio a 25°C, 100 g, 5s NBR 6576.
- Presente em especificações ASTM e européias.



51

Ensaio de Consistência

Penetração



Equipamento

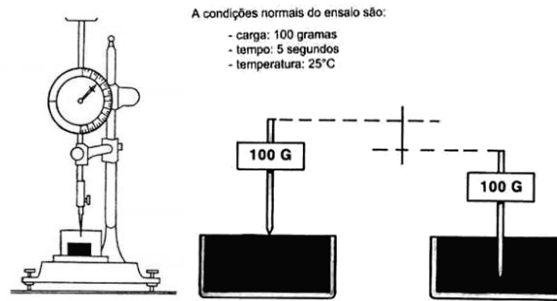


52

Ensaio de Consistência

Penetração (ASTM D5-94 e NBR 6576)

- Profundidade, em décimo de milímetro, que uma agulha de massa padronizada (100 g) penetra numa amostra de cimento asfáltico (por 5 segundos) à temperatura de 25 °C.



Dureza do CAP é inversamente proporcional ao valor da penetração, por exemplo, o CAP-30/45 é mais duro do que o CAP-85/100.

53

Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Ponto de amolecimento - PA

54

PONTO DE AMOLECIMENTO

Definição:

Mais baixa temperatura na qual uma esfera metálica padronizada, atravessando um anel também padronizado e cheio com o material asfáltico, percorre uma distância padronizada, sob condições especificadas

55

Ensaio de Consistência

Ponto de Amolecimento

- Ensaio classificatório de especificações européia
- Especificação NBR 6560
- Empregado para estimativa de susceptibilidade térmica.
- Presente em especificações de asfaltos modificados e asfaltos soprados.

PA corresponde a primeira dezena da denominação de ligante asfáltico modificados por polímero.



56

Ensaio de Consistência

Ponto de Amolecimento - Anel Bola

- Uma bola de aço de dimensões e peso padronizados é colocada no centro de uma amostra de asfalto em banho. O banho é aquecido a uma taxa controlada de $5^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$. Quando o asfalto amolece, a bola e o asfalto deslocam-se em direção ao fundo.

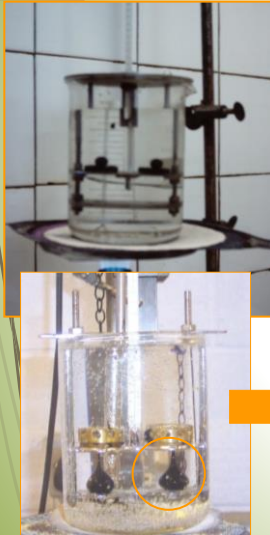


57

Ponto de Amolecimento - Anel Bola

Início do ensaio

Final do ensaio



58

PONTO DE AMOLECIMENTO



59

PONTO DE AMOLECIMENTO

- Não possui ponto de fusão definido
- Amolece gradativamente com aumento da temperatura
- Ponto de amolecimento é uma medida arbitrária determinada sob condições pré-estabelecidas.

60

Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE TÉRMICA Índice de *pfeiffer*

61

Índice de consistência

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

Índice de Susceptibilidade Térmica

A atual especificação brasileira admite uma variação do IST entre -1,5 a +0,7, também conhecido como índice de *pfeiffer*.

Valores de IST levemente positivos indicam um asfalto mais resistente a altas temperaturas, indicado para aplicação em regiões mais quentes. Entretanto, valores maiores que +0,7 indicam CAPs oxidados ou que sofreram um processo de envelhecimento no seu manuseio.

São CAPs muito duros, que tenderão a produzir misturas asfálticas de pouca flexibilidade, com desempenho comprometido quanto ao comportamento à fadiga (trincamento).

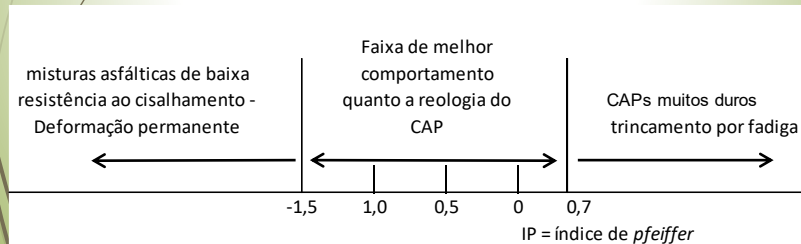
62

Índice de consistência

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

Índice de Susceptibilidade Térmica

Por outro lado, valores levemente negativos indicam um asfalto muito sensível a altas temperaturas, indicado para aplicação em regiões de temperaturas mais amenas e frias. Valores de IST abaixo de $-1,5$ tenderão a produzir misturas asfálticas de baixa resistência ao cisalhamento, com desempenho comprometido quando à deformação permanente (trilha de roda).

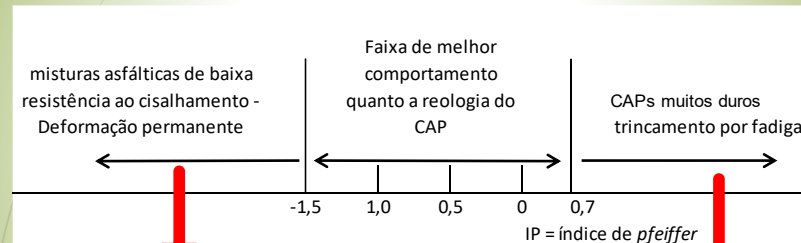


63

Índice de consistência

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

Índice de Susceptibilidade Térmica



IST < -1,5 – Indicam que o asfalto é muito sensível a alta temperatura possibilitando a ocorrência de deformações nas trilhas de roda e escorregamento do revestimento asfáltico

IST > +0,7 – Indicam que o asfalto está oxidado (quebradiço a baixa temperatura e pouco sensível a alta temperatura)

64

**Ensaio brasileiro de caracterização
Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP**

Viscosidade

65

**Ensaio brasileiro de caracterização
Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP**

Viscosidade = Trabalhabilidade

66

Ensaio de Consistência - Viscosidade

Determinando-se os valores da viscosidade para as temperaturas de 135 °C, 150 °C e 177 °C, é possível definir, através da curva viscosidade x temperatura do CAP, quais as temperatura que associadas á viscosidade do CAP oferece a melhor trabalhabilidade

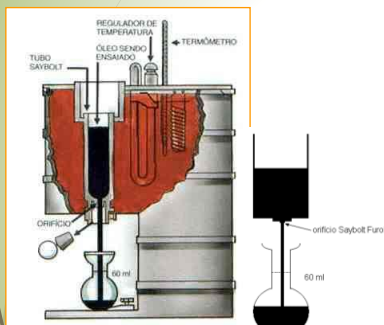
Deseja-se saber qual a melhor viscosidade que o CAP deve apresentar para bombeamento entre reservatórios. Qual a viscosidade que o CAP deve apresentar para o recobrimento do agregado na usinagem e por fim, qual a viscosidade para que ocorra o entrosamento dos agregados, de forma estável na compactação.

Ocorre que não é possível a determinação da viscosidade durante a execução das atividades de bombeamento, usinagem e/ou compactação. Entretanto, pode-se medir a temperatura do CAP e inferir a viscosidade correspondente desejável.

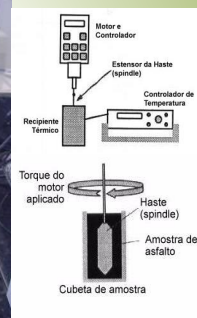
67

VISCOSIDADE

Dois métodos:



Saybolt Furol: Empírico



► **Brookfield:** Embasamento teórico – Tensão de cisalhamento

Dependendo da consistência do CAP, os valores das temperaturas x viscosidade poderão variar significativamente.

68

VISCOSIDADE

Finalidade Saybolt Furol:

Determinar as temperaturas para produção da mistura asfáltica e para compactação dos CAPs

- Produção- 85 ± 10 s (75 a 95)
- Compactação – 140 ± 15 s (125 a 155)

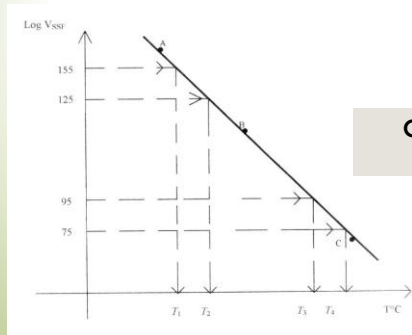


Gráfico Viscosidade x Temperatura

69

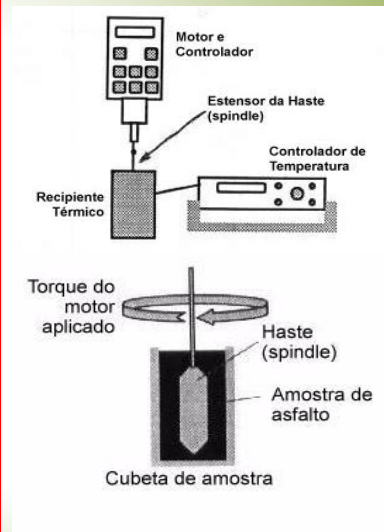
VISCOSIDADE BROOKFIELD



70

Viscosímetro Rotacional (Brookfield)

- **MEDIDAS:** propriedades relacionadas ao bombeamento, estocagem, usinagem e compactação
- ABNT 15184 (2004)
- ASTM D 4402 (2002)
- **RESULTADOS:**
 - ✓ comportamento do fluido
 - taxa de cisalhamento x tensão de cisalhamento;
 - ✓ viscosidade dinâmica (cP);
 - ✓ gráfico temperatura-viscosidade para projeto de mistura.



71

Viscosidade do ligante asfáltico está intimamente relacionada a espessura do filme de ligante que envolve os agregados.

O teor de ligante asfáltico de projeto foi obtido para um ligante com uma determinada viscosidade

Caso, durante a produção da mistura asfáltica ocorram variações na viscosidade do ligante asfáltico fornecido, certamente, ocorrerá alterações na qualidade da mistura asfáltica produzida.

Mantendo o teor de projeto na usinagem

Ligante com viscosidade menor

implica em espessura menores do filme de ligante

A mistura apresentará excesso de ligante asfáltico

Ligante com viscosidade maior

implica em espessura maiores do filme de ligante

A mistura apresentará falta de ligante asfáltico

72

Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Dutibilidade

73

DUTILIDADE

► Alta dutibilidade dos CAPs podem indicar:

- Grandes deformações sem ruptura
- Maior flexibilidade do material
- Maior poder aglutinante

Possibilita ainda a identificação de possível contaminação do CAP com óleo combustível.

74

Ensaio de Consistência

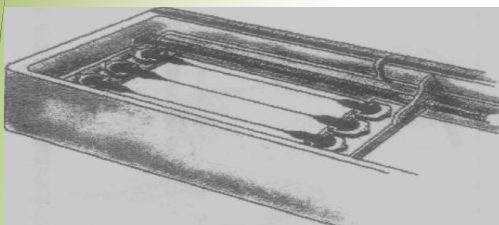
Ductilidade

A ductilidade é dada pelo alongamento em centímetros obtido antes da ruptura de uma amostra de CAP, em banho de água a 25 °C, submetida pelos dois extremos à tração de 5 cm/minuto.



75

DUTILIDADE



CAP - 30/45 - 60 cm
CAP - 50/70 - 100 cm



Molde utilizado para o ensaio ductilidade

Molde utilizado para o ensaio recuperação elástica

76

Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Ponto de Fulgor

77

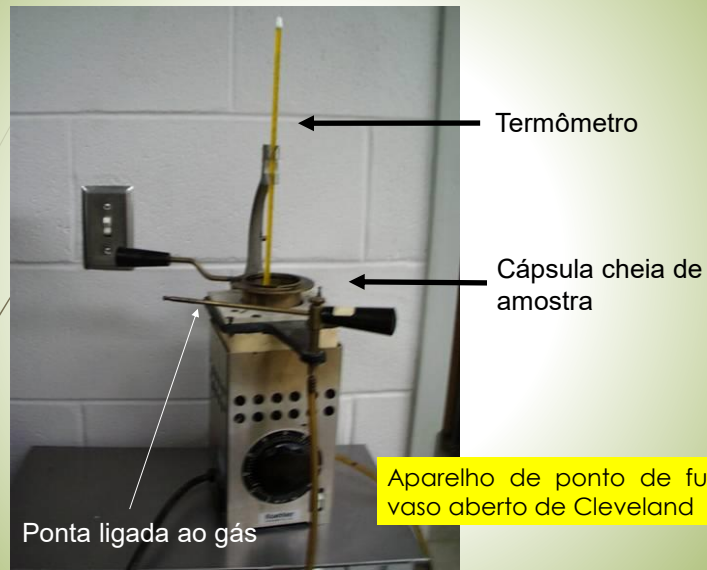
Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Ponto de Fulgor - Segurança

Ensaio adicional - Espumação

78

Ponto de Fulgor (Segurança)

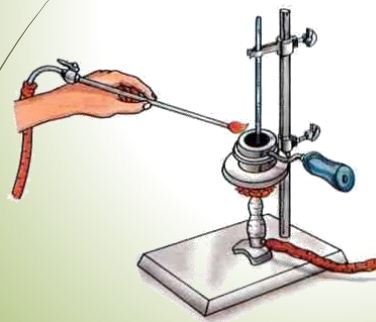


79

Ensaio de Segurança

Ponto de Fulgor

- Menor temperatura, na qual os vapores emanados durante o aquecimento do material asfáltico se inflamam quando expostos a uma fonte de ignição.



80

PONTO DE FULGOR



81

ESPUMA

- CAP não devem conter água
- CAP contendo água à temperaturas elevadas produzem espumas que aumentam o seu volume da ordem de 30 vezes

82

Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Solubilidade

83

Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Solubilidade - Pureza

84

Solubilidade (Pureza)



(1) Materiais e equipamentos



(2) Cadinho com papel filtro (esq)
Amostra antes da filtragem (dir)



(3) Amostra dissolvida em tricloroetileno



Foto:PBS

(4) Filtragem com auxílio de vácuo
Em tricloroetileno NBR 14855

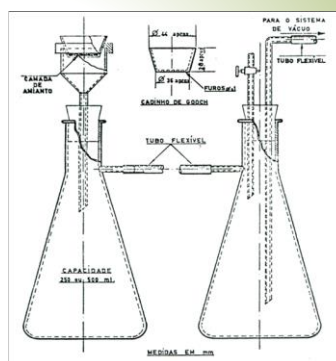
85

SOLUBILIDADE

FINALIDADE:

Determinar o grau de pureza do CAP

- Quanto maior for o teor de material solúvel maior será o poder aglutinante do CAP
- Valores abaixo de 99,5% indicam presença de impurezas ou craqueamento do CAP na produção na refinaria.



86

Ensaio brasileiro de caracterização de ligante asfáltico modificados

87

Ensaio brasileiro de caracterização Ligante asfáltico modificados

- Penetração
 - Ponto de amolecimento
 - Separação de fase
 - Viscosidade Rotacional (Brookfield)
(ligantes modificados)
 - Recuperação elástica
- } Ensaio de consistência
- Ponto de Fulgor (segurança)

88

Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Separação de fase

89

Separação de fase - Estabilidade

- Ligante asfáltico modificados

O ensaio de separação de fases (ABNT NBR 15166/2004) é empregado para quantificar a estabilidade à estocagem de ligante asfáltico modificados.

Consiste em se colocar o asfalto-polímero em um tubo metálico padronizado, na vertical, em repouso, durante **5 dias** dentro de uma estufa a **163°C** e ao final desse período colher uma amostra em dois pontos distintos: um no topo e outro no fundo do tubo.



Tubo alumínio utilizado no ensaio de separação de fase

90

Separação de fase - Estabilidade

▪ Ligante asfáltico modificados

Nessas amostras são realizados os ensaios: ponto de amolecimento e recuperação elástica.

As diferenças entre os resultados das amostras do topo e da base não podem ser superior:

- 5°C para o ponto de amolecimento

91

Ensaio de Consistência

Recuperação elástica

A Recuperação Elástica é um ensaio empregado para caracterizar e distinguir materiais modificados por polímeros elastoméricos (AMP) ou por borracha de pneus (AB) em relação ao CAP convencional

O ensaio é realizado a 25°C e a velocidade de estiramento é de 5 cm/min. Interrompe-se o ensaio após atingir-se 100 ou 200 mm de estiramento, para AB ou AMP, respectivamente, e secciona-se, imediatamente o fio de ligante, em seu ponto médio, observando-se ao final de 60 minutos, o quanto houve de retorno das partes ao tamanho original



molde para recuperação elástica

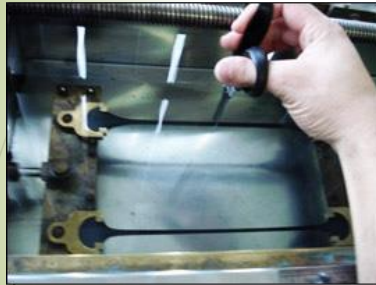


amostra no início da solitação

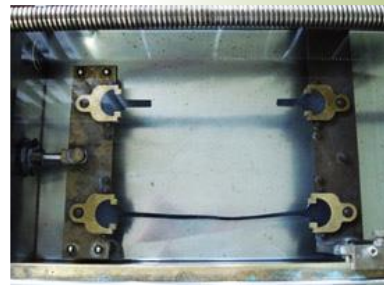
92

Ensaio de Consistência

Recuperação elástica



Amostras sendo cortada após ser esticada por 20 cm



Amostras após recuperação elástica, uma com elevada recuperação e outra sem recuperação.

93

Moldes para recuperação elástica



94

Recuperação elástica



Fonte: BR Distribuidora

95

Recuperação elástica



Fonte: BR Distribuidora

96

RECUPERAÇÃO ELÁSTICA

Torciômetro (AMB) não especificado nas normas brasileiras



97

Ensaio em laboratório que simulam o envelhecimento do ligante asfáltico

RTFOT simula o ligante após a usinagem

TFOT – ECA – semelhante ao RTFOT

PAV simula um período de 5 a 10 anos de vida de serviço

98

Estufa de Película Fina Rotativa - RTFOT

Estufa de Filme Fino Rotativo (Rolling Thin Film Oven Test - RTFOT) - ABNT 15235 e ASTM 2872 – desenvolvido pelo Superpave

- Neste ensaio, uma fina película de asfalto no interior de uma jarra de vidro é submetida à uma injeção de ar à 163 °C por 85 minutos, com duração de 3 a 4 segundos por ciclo.



Cilindro para colocar a amostra de ligante



99

RTFOT

Recipiente para ligante na RTFOT



Antes do preenchimento



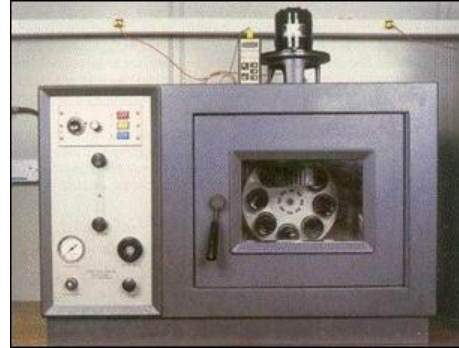
após do preenchimento com ligante



Recipiente coberto após ensaio RTFOT

100

RTFOT



101

TFOT - ECA

Simula a degradação do CAP durante a usinagem

Limitação – espessura do filme considerado



- O ensaio TFOT apresentava deficiência na simulação da usinagem devido a espessura da camada de CAP considerada ser da ordem de 3 mm, o que não ocorre na prática em mistura asfáltica
- RTFOT espessuras mais delgadas

102

PAV

Vaso de envelhecimento sob pressão, denominado de PAV foi desenvolvido pelo Superpave para simular o envelhecimento do ligante asfáltico que ocorre entre 5 a 10 anos da vida de serviço da mistura asfáltica



103

PAV PRESSURE AGING VESSEL

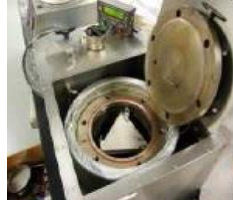
- Simula o envelhecimento do CAP por oxidação ao longo de sua vida de serviço por 5 a 10 anos
- O ensaio é conduzido por 20 horas em temperaturas de 90°C (para ligantes usados em temperaturas baixas de pavimento)
- 100°C (para ligantes usados em temperaturas intermediárias de pavimento)
- 110°C (para ligantes usados em temperaturas altas de pavimento)

O ligante utilizado no ensaio é o ligante que foi submetido ao envelhecimento no RTFOT, e a pressão de ensaio: 305 psi (2.10 MPa ou 20.7 atmosferas).

104

PAV - Pressure Aging Vessel

Equipamento

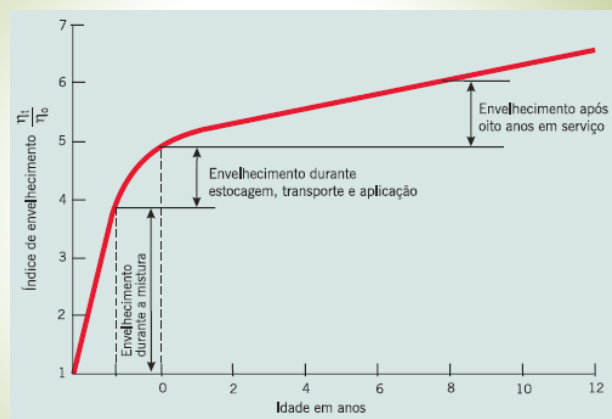


Os ensaios que são realizados na amostra de ligante após as simulações de RTFOT também são utilizados para avaliar a perda de voláteis.

105

Envelhecimento do CAP

ETAPAS



Fonte: Pavimentação asfáltica para engenheiros – Petrobras - Abeda

106

Ensaio complementares

107

Ensaio de massa específica do ligante

ABNT 6296**ETAPAS:**

- Picnômetro com asfalto e água
- Determinação da massa do picnômetro totalmente preenchido com água a 25°C
- Determinação da massa do picnômetro preenchido até a metade com asfalto a 25°C
- Determinação da massa do picnômetro preenchido metade com água e metade com asfalto, a 25°C

108

Etapas do ensaio de massa específica do ligante



(1) Picnômetros com asfalto e com água



(2) Massa do picnômetro com água a 25°C



(3) Massa do picnômetro com asfalto até a metade



(4) Massa do picnômetro com metade asfalto e metade água

Fotos: Patrícia B. Silva

109

DENSIDADE RELATIVA

Finalidade:

Transformar as unidades gravimétricas em volumétricas para o cálculo do índice de vazios.

110

DENSIDADE RELATIVA

ESQUEMA DO ENSAIO



111

IP 87 - Ponto de Ruptura Fraass - Especificação Alemã

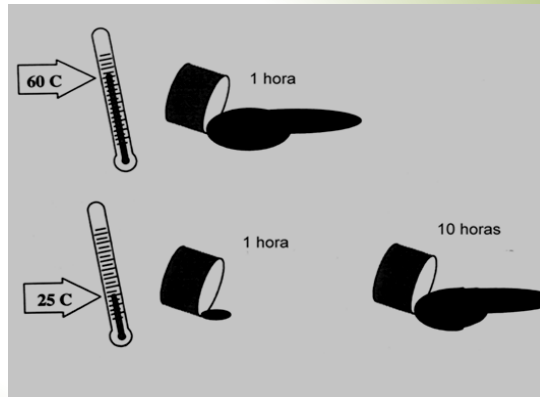
- Depende da consistência da matéria-prima – CAP.
- Adição de SBS, SBR e BMP reduz no máximo 7°C do Fraass do CAP original.
- Ensaio que apresenta correlação com resultados do BBR e T_g .



112

Comportamento do Asfalto

- Comportamento Viscoelástico
- Correlação entre tempo/temperatura



113

Obrigado pela
atenção

114