

**Departamento de Eng. de Transportes da Escola Politécnica da USP**  
**PTR3322 – Pavimentação Rodoviária**  
**Exercício Aula 4: Ligantes asfálticos, Agregados e Misturas asfálticas**  
**Profa. Dra. Kamilla Vasconcelos**  
**Profa. Dra. Liedi Bernucci**

**Parte I. Noções preliminares sobre asfaltos:**

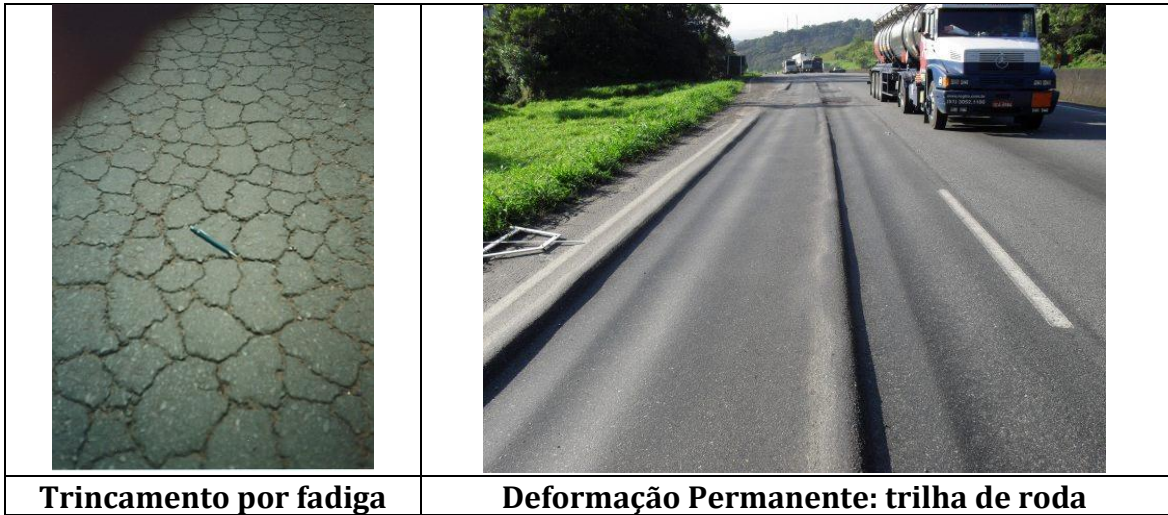
Existem diferentes tipos de ligantes asfálticos utilizados em pavimentação, entre eles:

- ✓ ligante asfáltico convencional, ou cimento asfáltico de petróleo (CAP),
- ✓ asfalto modificado por polímero,
- ✓ asfalto modificado por borracha moída de pneu,
- ✓ emulsão asfáltica (com ou sem modificação por polímero),
- ✓ asfalto diluído de petróleo,
- ✓ agentes rejuvenescedores,
- ✓ espuma de asfalto.

1. Como funciona a classificação dos ligantes asfálticos (convencional e modificado por polímero) de acordo com as especificações da ANP?
2. A especificação dos ligantes asfálticos brasileiros contempla uma análise/verificação da temperatura do local em que esse ligante vai ser aplicado em campo?

**Parte II. Dosagem de misturas asfálticas**

- Uma mistura de agregados minerais de vários tamanhos e ligantes asfálticos (convencionais ou modificados por polímeros ou borracha), filer e, em algumas circunstâncias aditivos (Aditivo químico melhorador de adesividade, fibras, etc).
  - Esta mistura deve ter seus componentes adequadamente proporcionados (DOSAGEM) e processada (USINADA OU EM PISTA) e deve garantir ao pavimento executado os requisitos de:
    - ✓ impermeabilidade,
    - ✓ flexibilidade,
    - ✓ estabilidade,
    - ✓ durabilidade,
    - ✓ resistência à derrapagem,
    - ✓ resistência à fadiga e
    - ✓ resistência à fratura na tração térmica.
  - Esta mistura asfáltica (tipo e espessura) deve ser escolhida e calculada de acordo com o clima e o tráfego previstos para o local.
3. Abaixo constam os principais defeitos que devem ser considerados para a **dosagem** de misturas asfálticas que comporão um revestimento asfáltico: Trincamento por fadiga (e também desagregação) e deformação permanente em trilha de roda. Nos países frios, com inverno cuja temperatura chega a ser negativa, há ainda trincamento térmico.



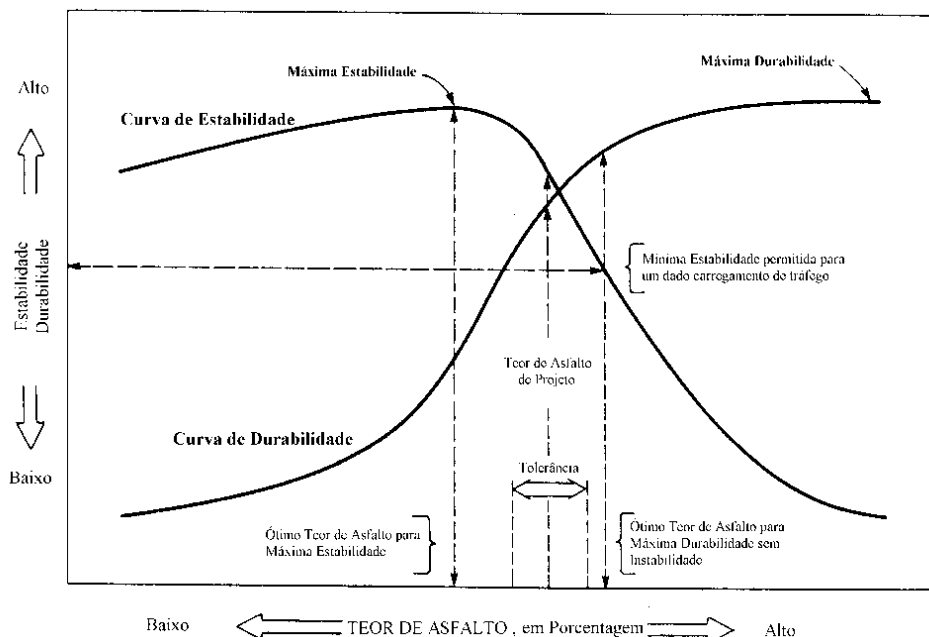
Uma das etapas mais difíceis de uma dosagem de mistura asfáltica é promover um material que tenha resistência à deformação permanente e alta durabilidade, pois estes dois requisitos seguem tendências opostas dependendo do teor de asfalto adicionado (**FIGURA 1**).

Analise, sucintamente, com base no gráfico abaixo, que riscos há na construção de uma camada de mistura asfáltica de CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente) ou CA (concreto asfáltico) – CBUQ ou CA são sinônimos.

- a) muito rico (com excesso) em teor de ligante asfáltico.
- b) muito pobre em teor de ligante asfáltico.

- 3.1. Comente quanto à deformação permanente (estabilidade: Melhora ou piora? Por quê? O que acontece fisicamente?)
- 3.2. Comente quanto à fadiga e à desagregação (durabilidade: É melhor ou pior? Por quê? O que ocorre? Como é a espessura do filme asfáltico sobre o agregado?). Explique fisicamente o que ocorre com o material.

*OBS: Não dizer o óbvio. Não reproduzir em palavras o que pode ser visto no gráfico!! Descreva fisicamente o que acontece no material e quais as consequências e por quê.*



**Figura 1:** Variação de propriedades de misturas asfálticas com o teor de ligante

4. Foram fornecidas as seguintes informações para a dosagem de uma mistura asfáltica a ser projetada dentro da Faixa Granulométrica **SPV 19mm**:
- granulometria dos agregados disponíveis (Tabela 1);
  - massa específica aparente e massa específica máxima teórica dos corpos de prova em diferentes teores de CAP (Tabela 2);
  - massa específica aparente da combinação de agregados:  $G_{sb} = 2,715$ ;
  - Especificações do órgão rodoviário para enquadramentos dos parâmetros de dosagem (Tabela 3).

**Tabela 1:** Granulometria dos agregados e Faixa SPV 19mm

Peneiras		<b>BRITA 1</b>	<b>PEDRISCO</b>	<b>PÓ DE PEDRA</b>	<b>Cal CH "I"</b>	Projeto de dosagem CBUQ 19	Faixa Especificada	
ASTM	mm						Lim. Inf. SPV 19	Lim. Sup SPV 19
1"	25,0	100,0	100,0	100,0	100,0		100	100
3/4"	19,0	99,4	100,0	100,0	100,0		90	100
1/2"	12,5	41,7	100,0	100,0	100,0		68	88
3/8"	9,5	6,0	94,8	100,0	100,0		57	77
Nº 4	4,8	1,3	18,3	78,6	100,0		36	51
Nº 10	2,0	1,1	1,6	57,8	100,0		21	30
Nº 40	0,42	1,1	1,2	29,3	94,0		8	15
Nº 80	0,18	1,0	1,2	17,3	88,0		4	11
Nº 200	0,075	0,8	1,0	9,3	84,0		2	8

**Tabela 2:** Massa específica aparente e massa específica máxima teórica

% CAP	Massa Específica Aparente da Mistura Compactada (G <sub>mb</sub> ou D <sub>a</sub> )	Massa Específica Máxima Teórica (%VV=0) (G <sub>mm</sub> ou D <sub>MT</sub> )	Porcentagem de Vazios (%VV)	Vazios do Agreg. Mineral (%VAM)	Relação Betume Vazios (%RBV)
3,5%	2,385	2,586			
4,0%	2,427	2,565			
4,5%	2,455	2,545			
5,0%	2,472	2,525			
5,5%	2,471	2,505			

**Tabela 3:** Limites dos parâmetros volumétricos especificado pelo órgão rodoviário

% CAP	Porcentagem de Vazios (%VV)	Vazios do Agreg. Mineral (%VAM)	Relação Betume Vazios (%RBV)
<b>Mínimo</b>	<b>3,0%</b>	<b>13,0%</b>	<b>65,0%</b>
<b>Máximo</b>	<b>5,0%</b>	<b>15,0%</b>	<b>75,0%</b>

De posse das informações acima, determine a **granulometria e teor de projeto** para essa mistura asfáltica.

A resposta deve conter:

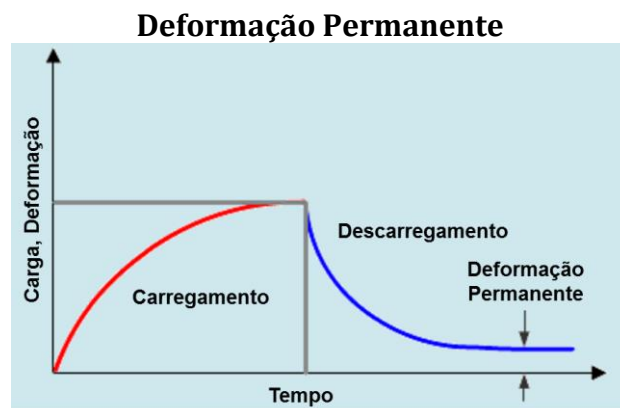
- o percentual de cada agregado e a granulometria final da combinação de agregados (plotado juntamente aos limites da faixa especificada);
- o cálculo dos parâmetros volumétricos para todos os teores de CAP testados e o gráfico resumo do VV, VAM e RBV;
- a explicação de como foi encontrado o teor de projeto de asfalto.

### Parte III. Propriedades mecânicas

Os principais problemas de um revestimento asfálticos (os principais danos que se acumulam e levam à camada à deterioração e sua remoção, substituição ou reciclagem) são:

- DEFORMAÇÃO PERMANENTE (TRILHAS DE RODA)
- FADIGA (TRINCAMENTO DA CAMADA E QUEDA DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA OU DINÂMICO EQUIVALENTE DA CAMADA)

São realizados ensaios em laboratório para a determinação de propriedades, após sua dosagem e verificação de resistência ao dano por umidade induzida (verificar na bibliografia o que é o dano por umidade induzida).



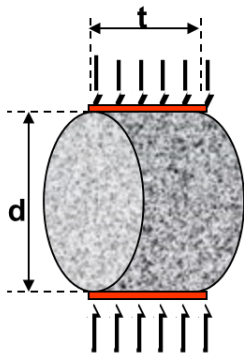
### Módulo de resiliência e Resistência à tração por compressão diametral

O **módulo de resiliência** é uma medida de deformabilidade recuperável ou capacidade de deformar-se elasticamente frente a ação de cargas repetidas.

Os ensaios são realizados sob carregamento repetido de modo a determinar a **deformação elástica** frente à tensão aplicada.

A **resistência à tração** das misturas asfálticas é o quanto ela resiste à tensão de tração aplicada até sua ruptura. Seria interessante medir a resistência à tração por flexão (pois é a forma que mais representa o que ocorre em campo), porém, por facilidade laboratorial, determina-se a **Resistência à Tração por Compressão Diametral**.

$$RT = \frac{2 F}{\pi d H}$$



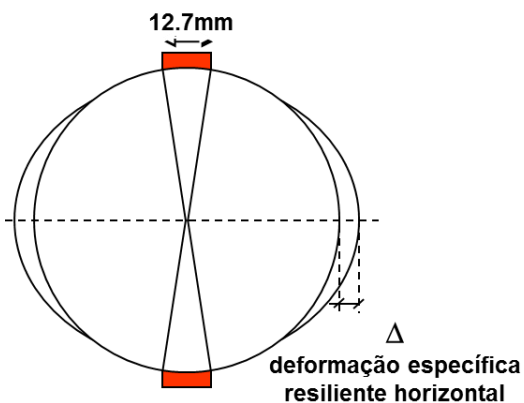
$$RT = \frac{2F}{\pi td}$$

Normalmente  $d = 10 \text{ cm (4")}$

$$RT = 0.064 \frac{F}{t}$$

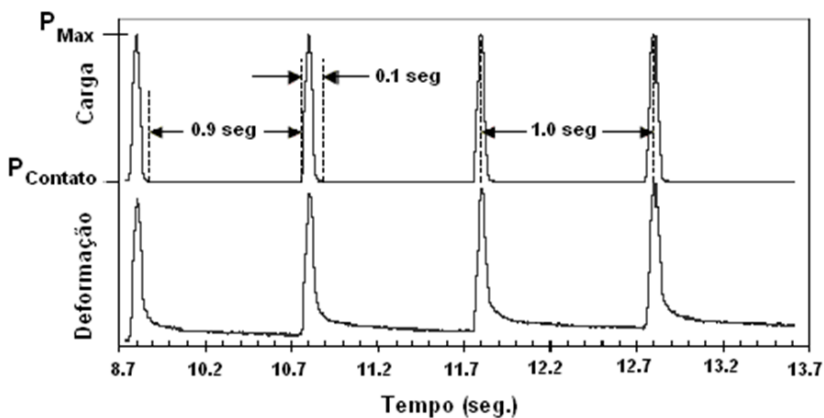
Para friso de carga de 1,27 cm de largura

$$M_R = \frac{\sigma_t}{\epsilon_t} = \frac{F}{t\Delta} (0.9976\mu + 0.2692)$$



Admitindo  $\mu = 0.35$

$$M_R = \frac{F}{t(\Delta)} 0.6184$$



**Questão 3:** Como medir ou determinar em campo as propriedades de deformação permanente de revestimentos asfálticos e o trincamento das camadas?