



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
TRANSPORTES



PTR 3322 – PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

LIGANTES ASFÁLTICOS, AGREGADOS E MISTURAS ASFÁLTICAS

Profa. Dra. Kamilla Vasconcelos
Profa. Dra. Liedi Bernucci

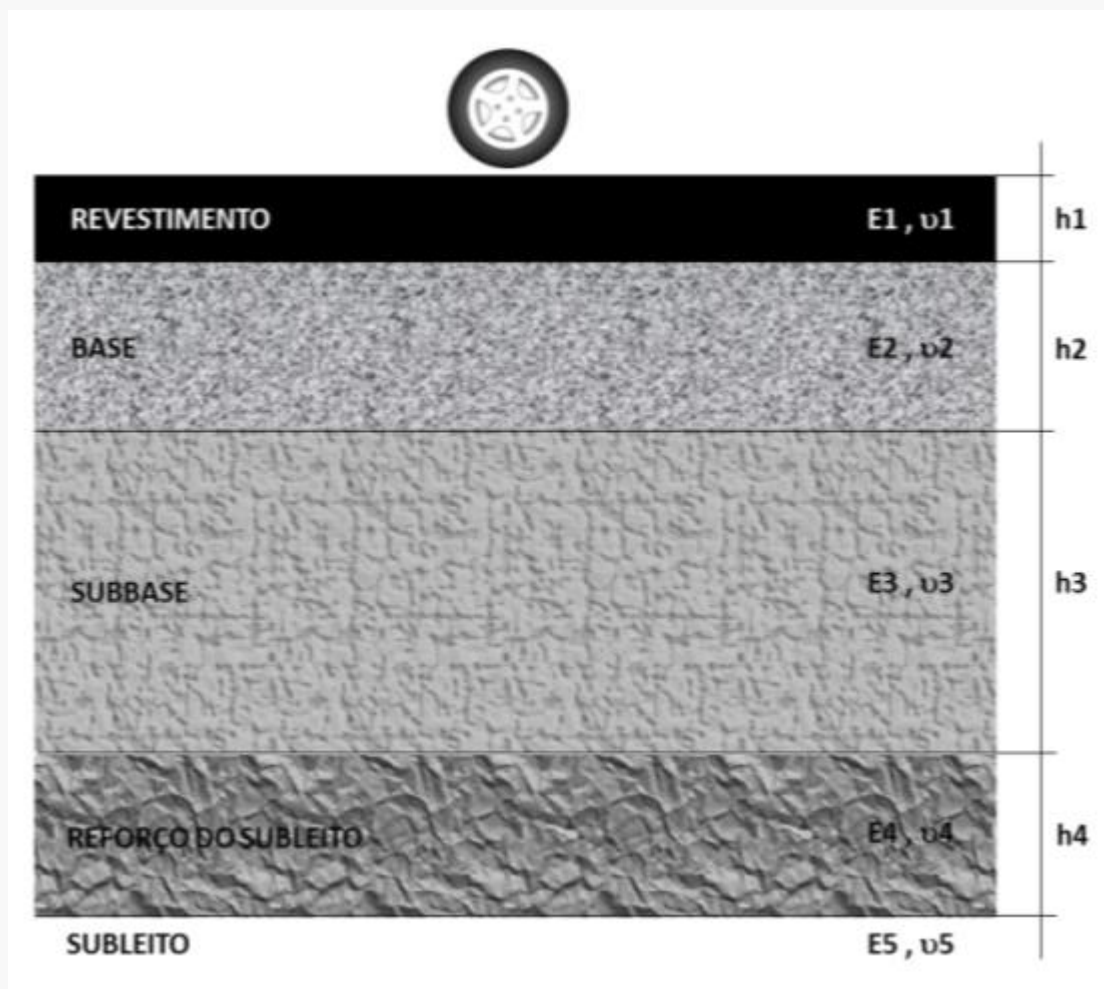


INTRODUÇÃO





PAVIMENTO ASFÁLTICO





INTRODUÇÃO

INPUTS

MATERIAIS

- REVESTIMENTO
- BASE
- SUBBASE
- REFORÇO DO SUBLEITO
- SUBLEITO

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

- TEMPERATURA
- CHUVA / UMIDADE

TRÁFEGO

- EIXO PADRÃO
- TRÁFEGO MISTO



MÉTODO DO CBR

ÁBACOS

MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO

ANÁLISE ESTRUTURAL

MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO



LIGANTES ASFÁLTICOS



INTRODUÇÃO

- **BRASIL:** CERCA DE **95% DAS ESTRADAS PAVIMENTADAS** SÃO DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO
- **CAP:** CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO
- ASFALTOS **NATURAIS** x PROVENIENTES DE **DESTILAÇÃO**



- Petróleo Bruto ou Cru

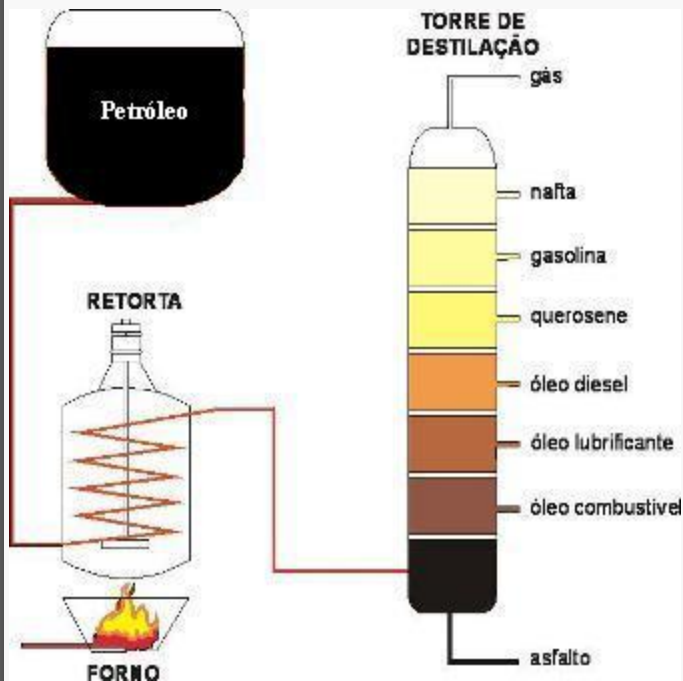
- Quase todo o asfalto em uso hoje em dia é obtido do processamento de petróleo bruto (ou cru). Muitas refinarias são localizadas próximas a locais com transporte por água, ou supridos por dutos a partir de terminais marítimos.
- A composição dos petróleos varia de acordo com a fonte. Cada petróleo leva a diferentes quantidades de resíduos de cimentos asfálticos (CAP) e outras frações destiláveis.



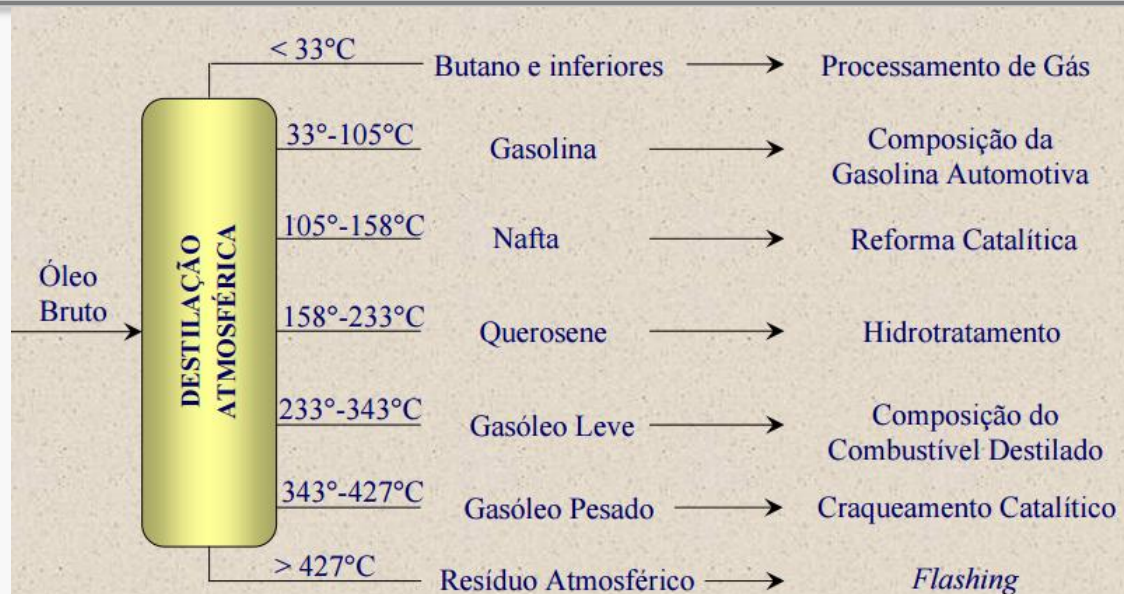
Bernucci, Motta, Ceratti e Soares, 2007



INTRODUÇÃO



IME

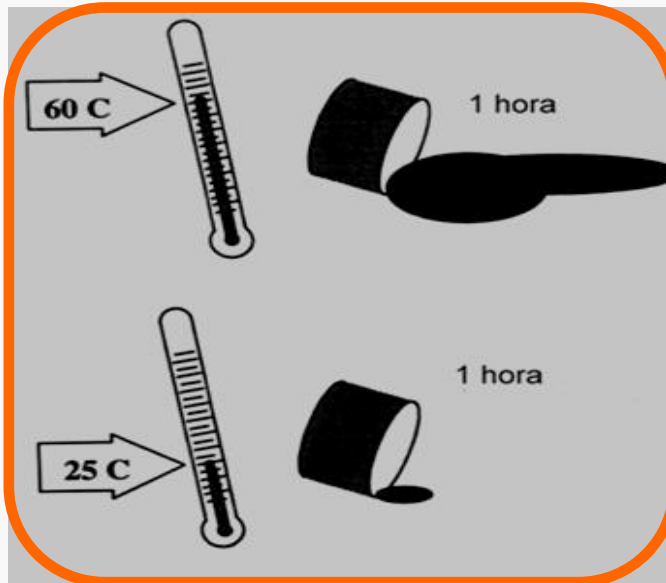


UFRN

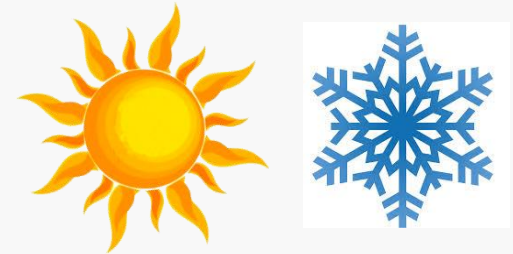
Derivado	Uso Principal
Combustível	
Gasolina	Combustível Automotivo
Óleo Diesel	Combustível Automotivo
Óleo Combustível	Industrial, Naval, Geração de eletricidade
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	Cocção
Querosene de Aviação	Combustível Aeronáutico
Querosene Iluminante	Iluminação
Insumo Petroquímico	
Parafina	Velas, Indústria Alimentícia
Nafta	Matéria-prima Petroquímica
Propeno	Matéria-prima para plásticos e tintas
Outros	
Óleos Lubrificantes	Lubrificação de Óleos e Motores
Asfalto	Pavimentação



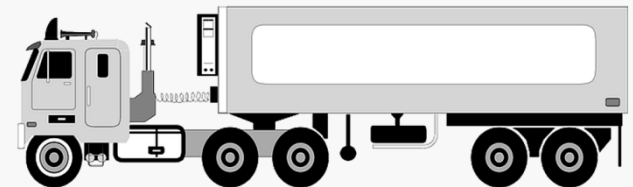
INTRODUÇÃO



EFEITO DA TEMPERATURA



EFEITO DO TEMPO/ FREQUENCIA





INTRODUÇÃO

EFEITO DO TEMPO E DA TEMPERATURA



MATERIAL VISCOELÁSTICO





MATERIAL VISCOELÁSTICO

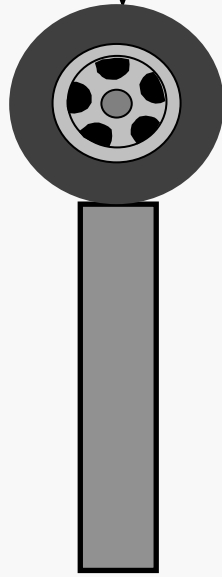
ELÁSTICO



Carga
Pneu



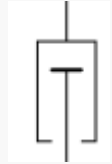
Deformação
Recuperável



Antes Durante Depois



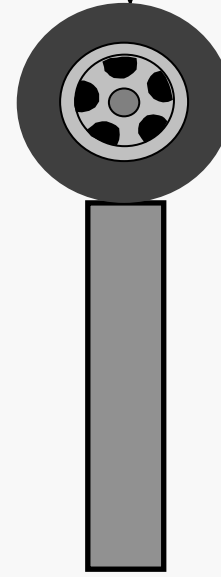
VISCOSO



Carga
Pneu



Deformação
Não-Recuperável



Antes Durante Depois



LIGANTE ASFÁLTICO

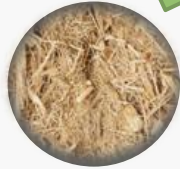
Checar no Livro
**Pavimentação
Asfáltica** as
principais
características de
cada tipo de ligante
asfáltico

- ASFALTO
- ASFALTO MODIFICADO POR POLIMERO
- ASFALTO-BORRACHA
- EMULSÃO ASFÁLTICA
- ASFALTO DILUÍDO
- ASFALTO-ESPUMA
- AGENTES REJUVENESCEDORES



LIGANTES ALTERNATIVOS

**Fontes renováveis;
Biomassa Agrícola**



**Bagaço de
cana-de-açúcar**

Processos
termoquímicos



Bio-óleo

Métodos Up-
grading



Bio-ligante



Agregados



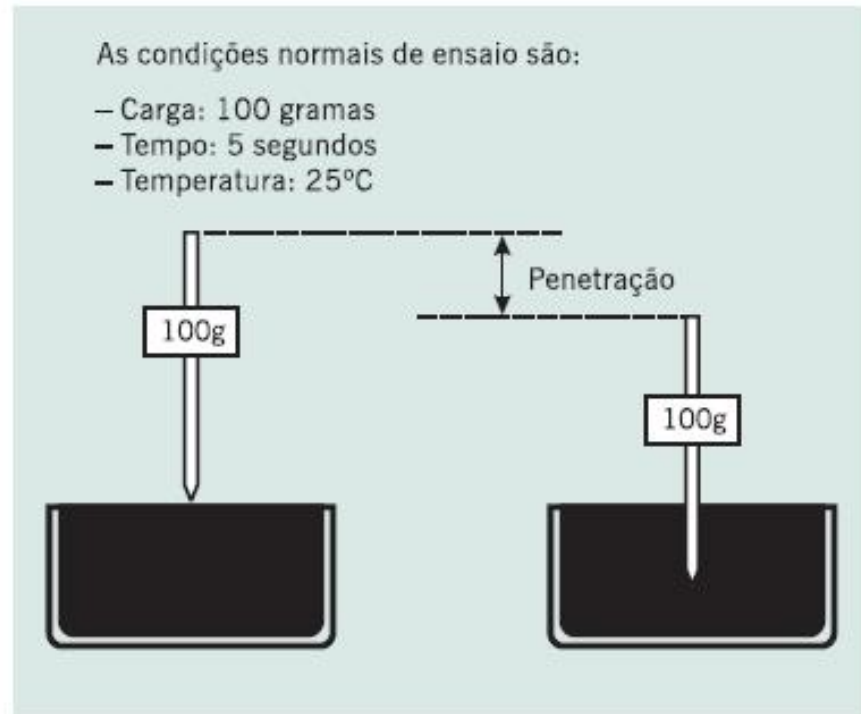
Bioasfalto



ENSAIO DE PENETRAÇÃO



(a) Equipamento manual



(b) Esquema básico do ensaio

Exemplo de equipamento manual de medida de penetração e esquema de ensaio



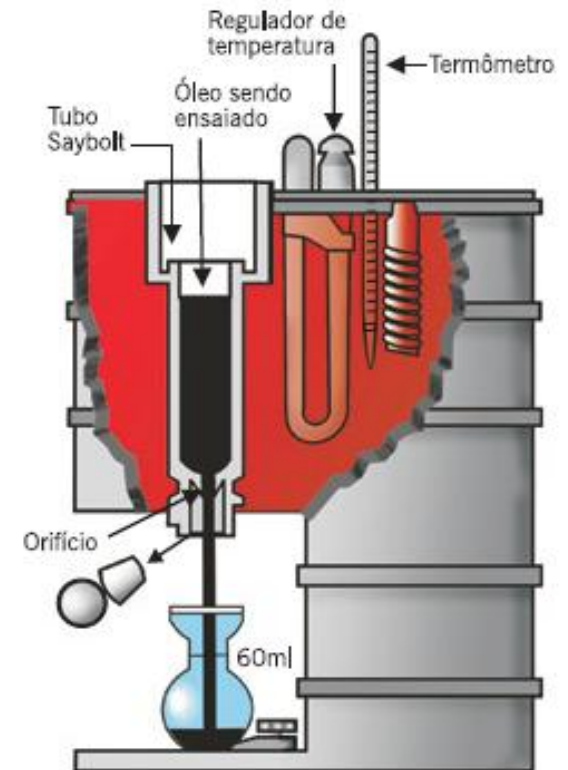
ENSAIO DE VISCOSIDADE

VISCOSIDADE SAYBOLT-FUROL

- Muito utilizado no Brasil
- Medida empírica
- Sem especificação fora do país
- 135°C
- Segundo Saybolt Furol (SSF)



(a) Equipamento completo



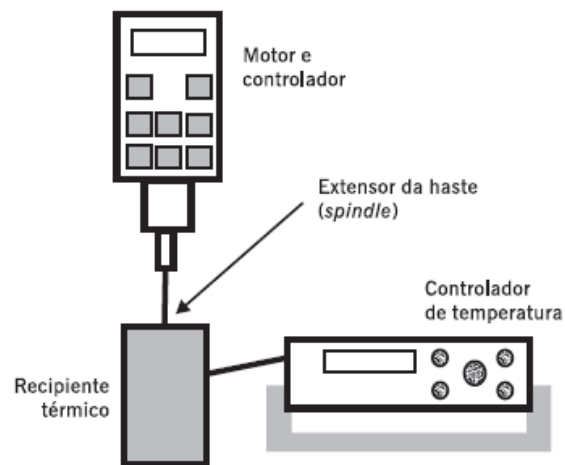
(b) Interior do equipamento

Equipamento Saybolt-Furol de ensaio de viscosidade e esquema do interior do equipamento

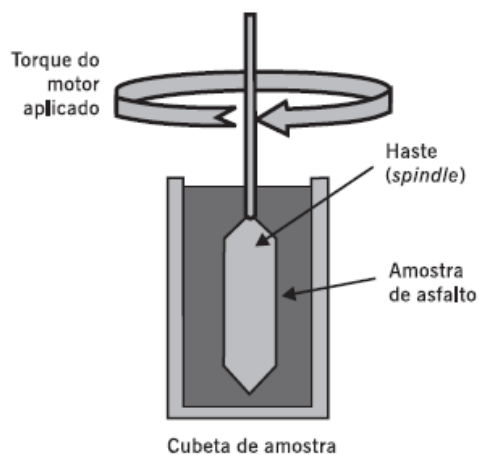


ENSAIO DE VISCOSIDADE

VISCOSÍMETRO BROOKFIELD



(a) Esquema do equipamento



(b) Esquema do *spindle* na amostra de asfalto



(c) Exemplo de equipamento

Equipamento Brookfield para medida de viscosidade de ligantes asfálticos

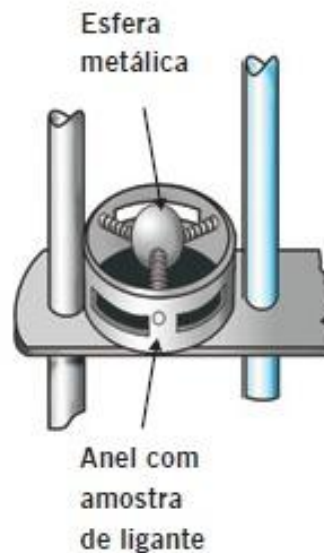


ENSAIO DE PONTO DE AMOLECIMENTO

Estimativa de suscetibilidade térmica



(a) Equipamento automático



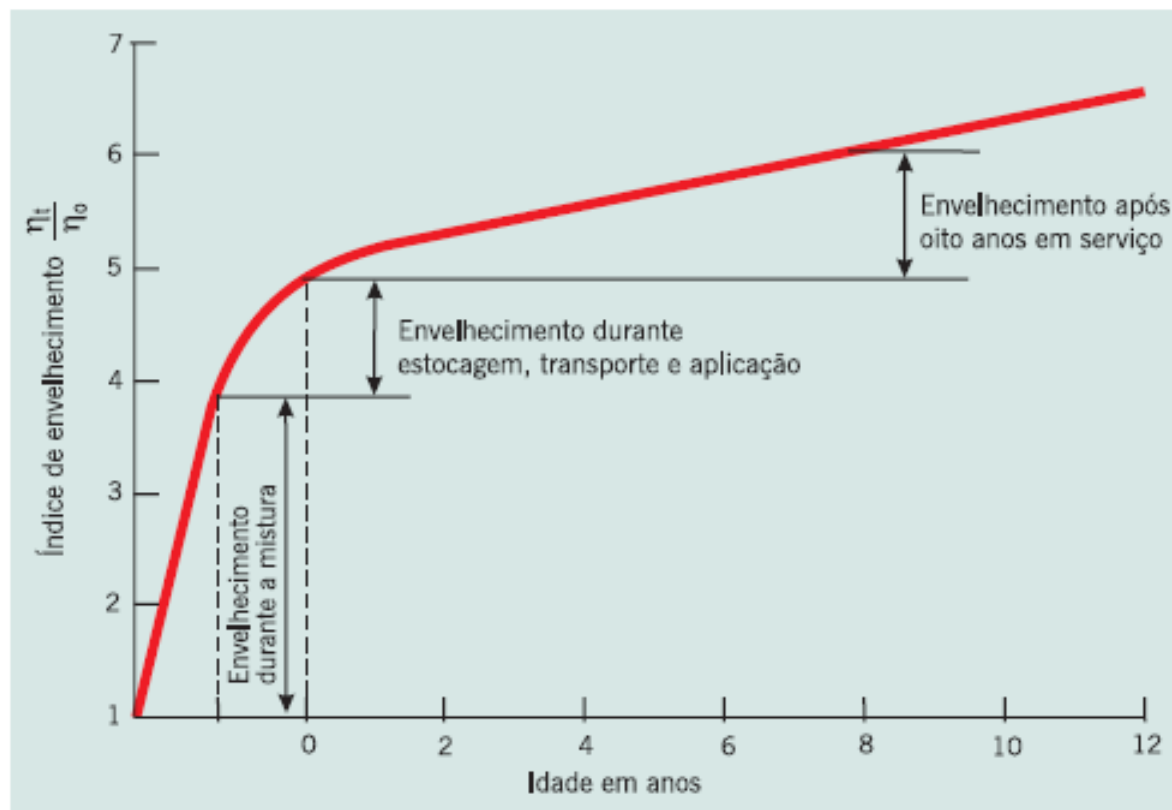
(b) Detalhe esquemático do anel e bola e equipamento manual



Equipamento automático e manual para medida do ponto de amolecimento do ligante asfáltico



ENSAIO DE DURABILIDADE



Envelhecimento do ligante durante a mistura com o agregado em usina, estocagem, transporte, aplicação em campo e durante vida de serviço (Whiteoak, 1980 apud Shell, 2003)



Exercício 1. Como funciona a classificação dos ligantes asfálticos (**convencional** e modificado por polímero) de acordo com as especificações da ANP?



ESPECIFICAÇÃO BRASILEIRA

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	ssf					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



Exercício 2. A especificação dos ligantes asfálticos brasileiros contempla uma análise/verificação da temperatura do local em que esse ligante vai ser aplicado em campo?



LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO



RAZÕES PARA O USO DO ASFALTO MODIFICADO

- **RODOVIAS COM ALTO VOLUME DE TRÁFEGO (EX.:CORREDORES DE ÔNIBUS).**
- **MELHORIA DA RESISTÊNCIA À FORMAÇÃO DE TRILHAS DE RODA E AO TRINCAMENTO POR FADIGA.**
- **AUMENTO DA COESIVIDADE E ADESIVIDADE.**
- **CRIAÇÃO DE MEMBRANAS DE PROTEÇÃO DAS CAMADAS SUPERFICIAIS DE REFLEXÃO DE TRINCAS.**
- **REVESTIMENTO DE PONTES PARA DIMINUIR SUSCEPTIBILIDADE TÉRMICA E AUMENTAR RESISTÊNCIA À FLEXÃO.**



Exercício 1. Como funciona a classificação dos ligantes asfálticos (convencional e **modificado** por polímero) de acordo com as especificações da ANP?



ESPECIFICAÇÕES BRASILEIRAS PARA ASFALTO MODIFICADO

ANP, 2007

Tipo					
Grau (Ponto de amolecimento mín./ Recuperação elástica a 25°C mín.) (°C/%)	Método ABNT	50/65	55/75	60/85	65/90
Ensaio na amostra virgem					
Penetração 25°C, 5s, 100g, 0,1mm	NBR 6576	45-70	45-70	40-70	40-70
Ponto de amolecimento, mín., °C	NBR 6560	50	55	60	65
Viscosidade Brookfield a 135°C, <i>spindle</i> 21, 20 RPM, máx., cP	NBR 15184	1.500	3.000	3.000	3.000
Viscosidade Brookfield a 150°C, <i>spindle</i> 21, 50 RPM, máx., cP	NBR 15184	1.000	2.000	2.000	2.000
Viscosidade Brookfield a 177°C, <i>spindle</i> 21, 100 RPM, máx., cP	NBR 15184	500	1.000	1.000	1.000
Ponto de fulgor, mín., °C	NBR 11341	235	235	235	235
Ensaio de separação de fase, máx., °C	NBR 15166	5	5	5	5
Recuperação elástica a 25°C, 20cm, mín., %	NBR 15086	65	75	85	90
Recuperação elástica a 4°C, 10cm, %	NBR 15086	anotar	anotar	anotar	anotar
Ensaio no resíduo após RTFOT					
Varição de massa, máx., %	NBR 15235	1	1	1	1
Aumento do ponto de amolecimento, °C, máx.	NBR 6560	6	7	7	7
Redução do ponto de amolecimento, °C, máx.	NBR 6560	3	5	5	5
Porcentagem de penetração original, mín.	NBR 6576	60	60	60	60
Porcentagem de recuperação elástica original a 25°C, mín.	NBR 15086	80	80	80	80



RECUPERAÇÃO ELÁSTICA OU RETORNO ELÁSTICO

ASTM D 6084

ABNT NBR 14756/2004



(a) Equipamento com ensaio em andamento e detalhe do molde

25 ou 4°C

5cm/min

**200mm de estiramento e
secciona-se o fio de ligante**

Retorno após 60min



(b) Progressão do ensaio com alongamento do ligante asfáltico



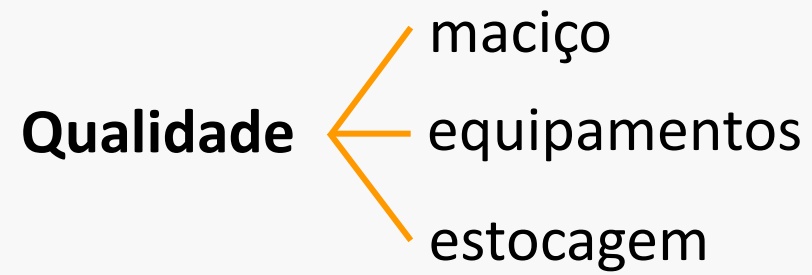
(c) Ruptura do ligante asfáltico



AGREGADOS



AGREGADOS





FRACIONAMENTO





ESTOCAGEM





ESTOCAGEM





PORCENTAGEM DE FACES FRATURADAS

0% fraturado



**100% com 2 ou mais
faces fraturadas**

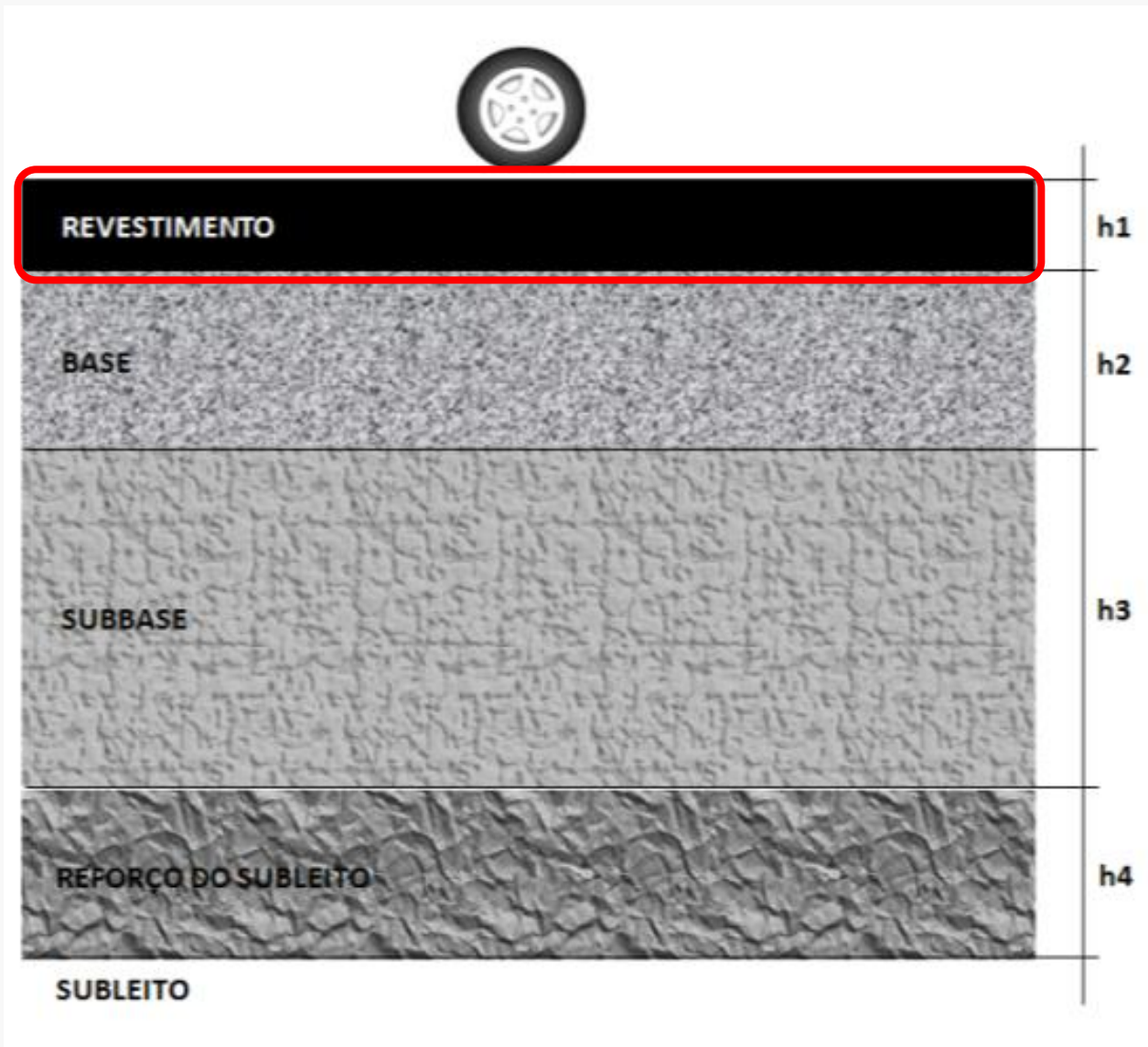




DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS



MISTURAS ASFÁLTICAS





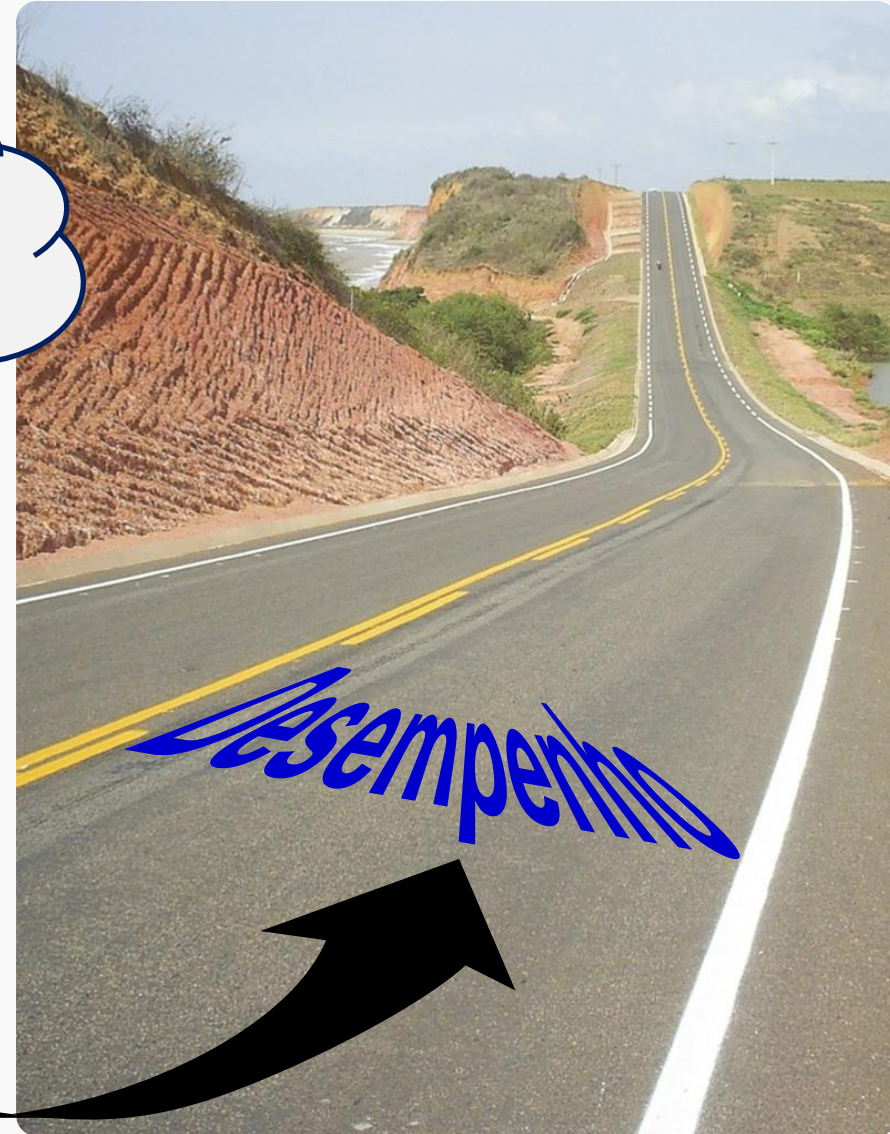
MISTURAS ASFÁLTICAS

Qual proporção?



Ligante

Agregado





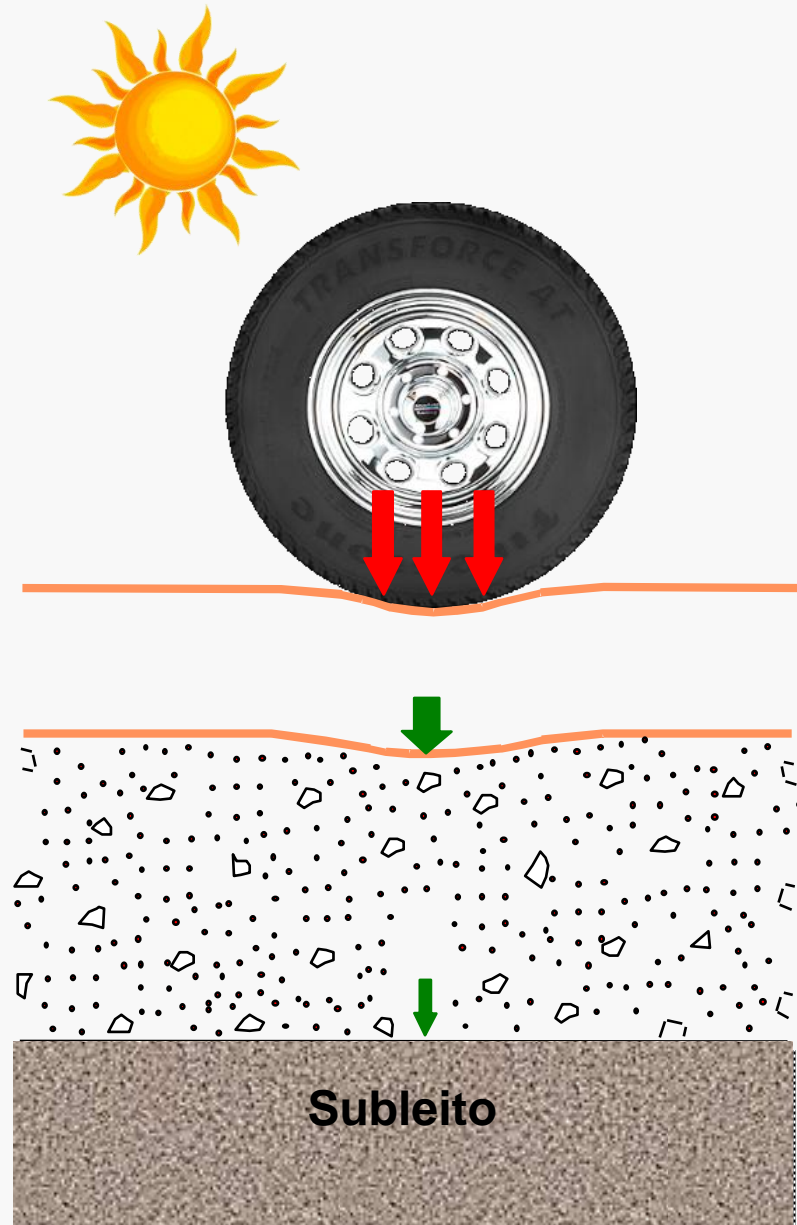
Exercício 3. Analise sucintamente, com base no gráfico abaixo, que riscos há na construção de uma camada de mistura asfáltica de CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente) ou CA (concreto asfáltico).

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

b) muito pobre em teor de ligante asfáltico.

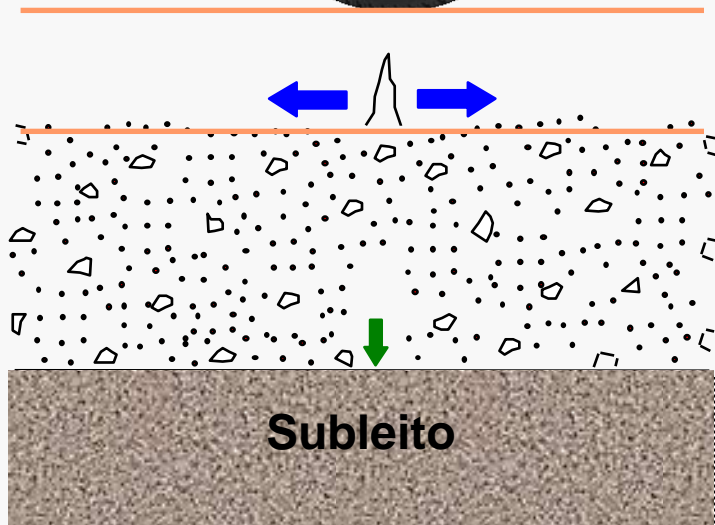


MISTURAS ASFÁLTICAS



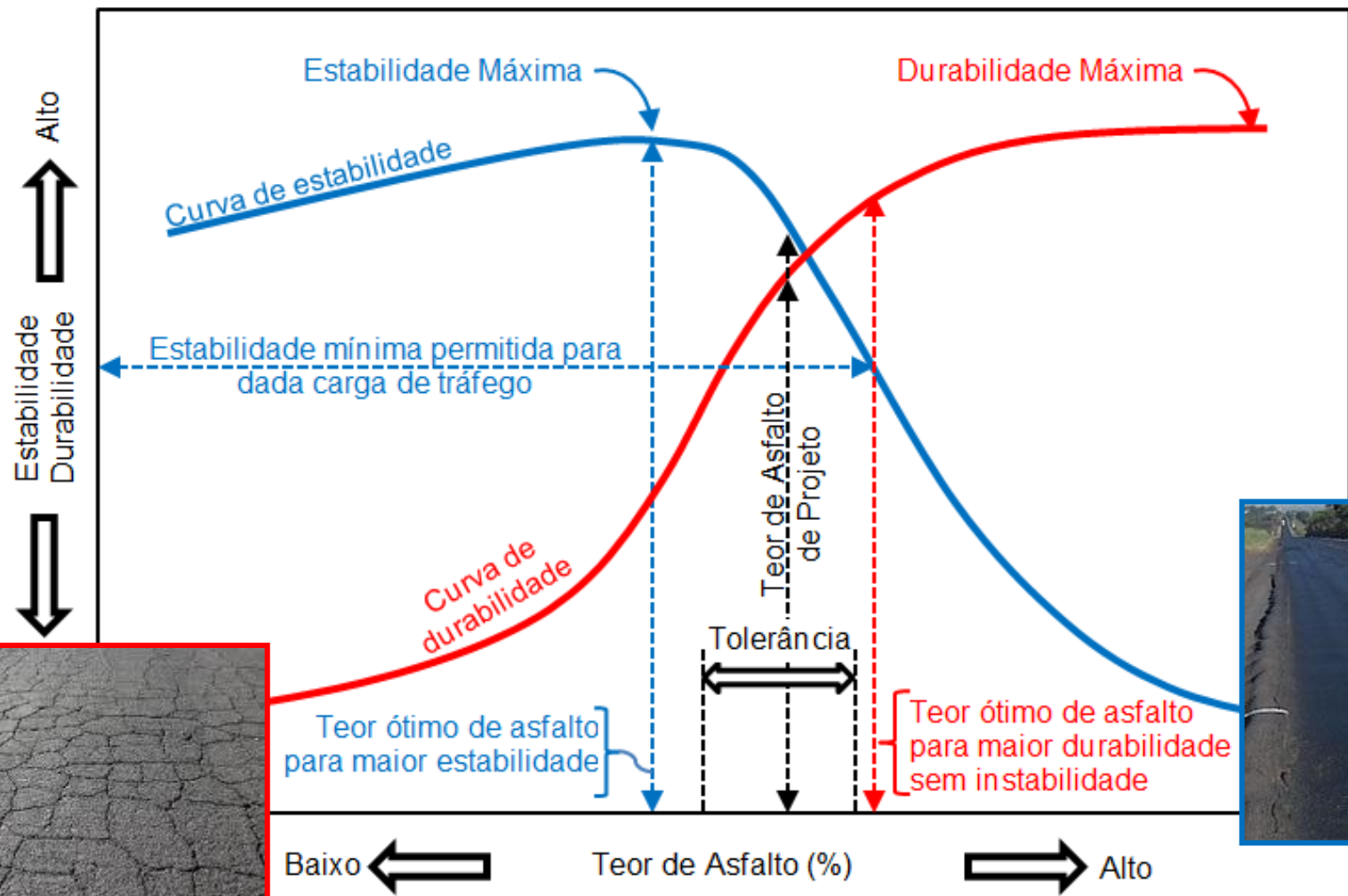


MISTURAS ASFÁLTICAS





DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS

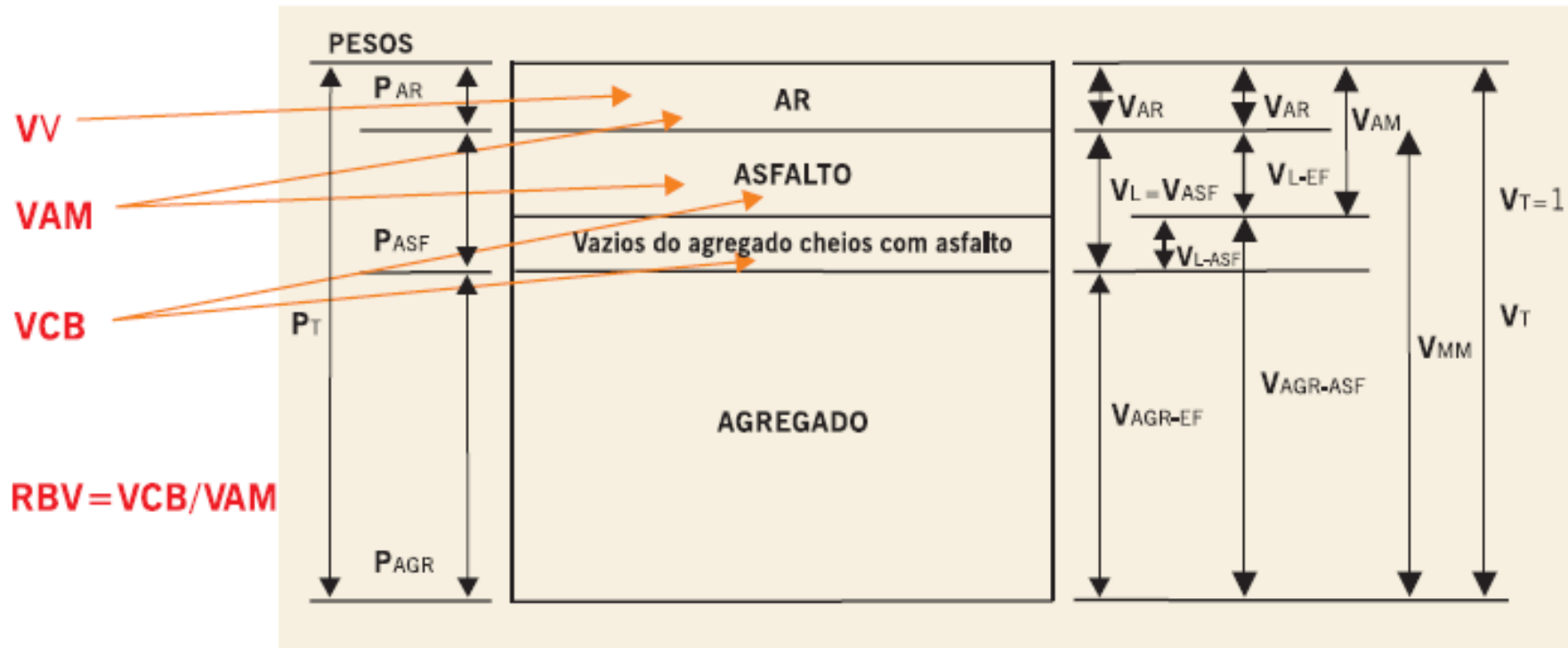




DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS



É NECESSÁRIO ENTENDER A VOLUMETRIA PARA DEFINIR O 'TEOR ÓTIMO' DE ASFALTO – VER NO LIVRO!!!!





PROCEDIMENTO MARSHALL

T - 1,0%



T - 0,5%



T%



T + 0,5%_c

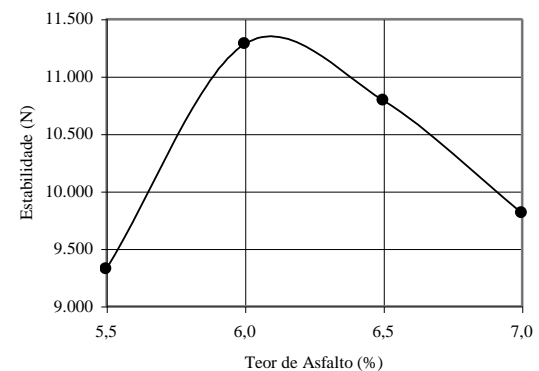
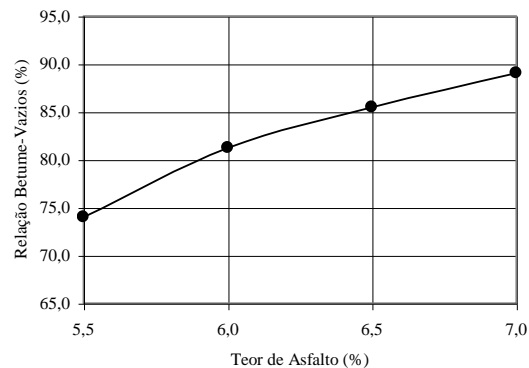
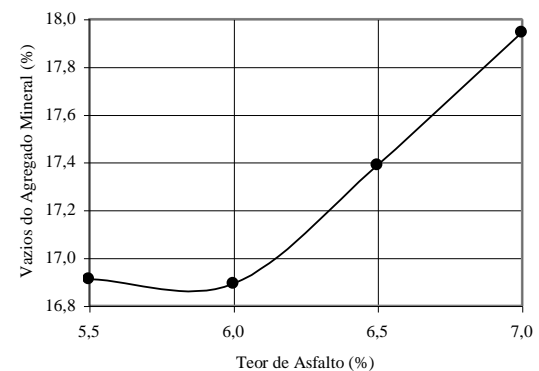
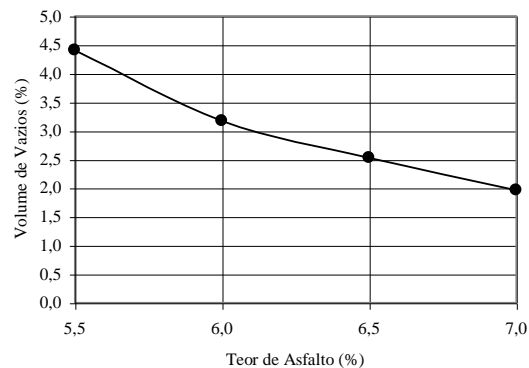
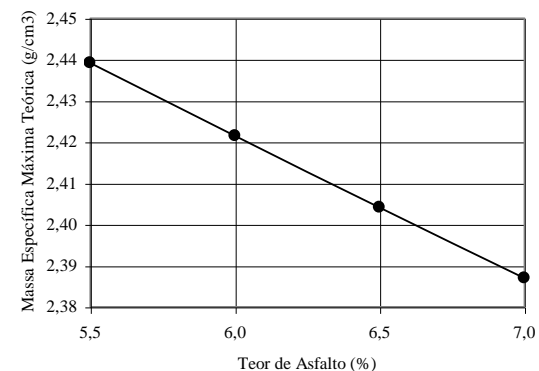
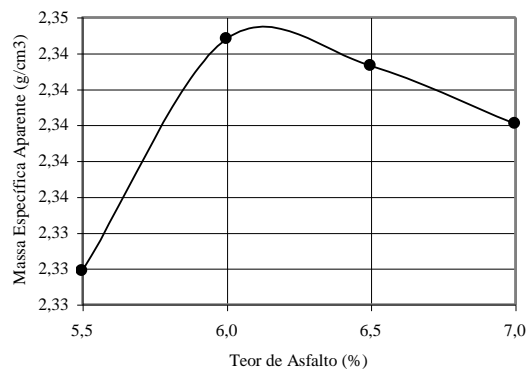


T + 1,0%





Com todos os valores dos parâmetros volumétricos e mecânicos determinados, são plotadas 6 curvas em função do teor de asfalto, que podem ser usadas na definição do teor de projeto





EXERCÍCIO 4

i) o percentual de cada agregado e a granulometria final da combinação de agregados

Peneiras		BRITA 1	PEDRIS CO	PÓ DE PEDRA	Cal CH "I"	Projeto de dosagem CBUQ 19	Faixa Especificada	
ASTM	mm					0	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	0,4	1,1	1,2	29,3	94,0		8	15
Nº 80	0,2	1,0	1,2	17,3	88,0		4	11
Nº 200	0,1	0,8	1,0	9,3	84,0		2	8



EXERCÍCIO 4

i) o percentual de cada agregado e a granulometria final da combinação de agregados

Peneiras		BRITA 1	PEDRIS CO	PÓ DE PEDRA	Cal CH "I"	Projeto de dosagem CBUQ 19	Faixa Especificada	
ASTM	mm	30	29	40	1	100	Lim. Inf. SPV 19	Lim. Sup SPV 19
1"	25,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100
3/4"	19,0	99,4	100,0	100,0	100,0	99,8	90	100
1/2"	12,5	41,7	100,0	100,0	100,0	82,5	68	88
3/8"	9,5	6,0	94,8	100,0	100,0	70,3	57	77
Nº 4	4,8	1,3	18,3	78,6	100,0	38,1	36	51
Nº 10	2,0	1,1	1,6	57,8	100,0	24,9	21	30
Nº 40	0,4	1,1	1,2	29,3	94,0	13,3	8	15
Nº 80	0,2	1,0	1,2	17,3	88,0	8,4	4	11
Nº 200	0,1	0,8	1,0	9,3	84,0	5,1	2	8

Não há somente 1 solução!!!!!!



EXERCÍCIO 4

ii) o cálculo dos parâmetros volumétricos para todos os teores de CAP testados e o gráfico resumo do VV, VAM e RBV

% CAP	Massa Específica Aparente da Mistura Compactada	Massa Específica Máxima Teórica (%VV=0)	Porcentagem de Vazios (%VV)	Vazios do Agreg. Mineral	Relação Betume Vazios (%RBV)
	(Gmb ou Da)	(Gmm ou DMT)		(%VAM)	
3,50	2,385	2,586			
4,00	2,427	2,565			
4,50	2,455	2,545			
5,00	2,472	2,525			
5,50	2,471	2,505			

% CAP	Massa Específica Aparente da Mistura Compactada	Massa Específica Máxima Teórica (%VV=0)	Porcentagem de Vazios (%VV)	Vazios do Agreg. Mineral	Relação Betume Vazios (%RBV)
	(Gmb ou Da)	(Gmm ou DMT)		(%VAM)	
3,50	2,385	2,586	7,8	15,2	49,0
4,00	2,427	2,565	5,4	14,2	62,1
4,50	2,455	2,545	3,5	13,6	74,1
5,00	2,472	2,525	2,1	13,5	84,5
5,50	2,471	2,505	1,4	14,0	90,3



EXERCÍCIO 4

ii) o cálculo dos parâmetros volumétricos para todos os teores de CAP testados e o gráfico resumo do VV, VAM e RBV

% CAP	Massa Específica Aparente da Mistura Compactada	Massa Específica Máxima Teórica (%VV=0)	Porcentagem de Vazios (%VV)	Vazios do Agreg. Mineral	Relação Betume Vazios (%RBV)
	(Gmb ou Da)	(Gmm ou DMT)		(%VAM)	
3,50	2,385	2,586	7,8	15,2	49,0
4,00	2,427	2,565	5,4	14,2	62,1
4,50	2,455	2,545	3,5	13,6	74,1
5,00	2,472	2,525	2,1	13,5	84,5
5,50	2,471	2,505	1,4	14,0	90,3

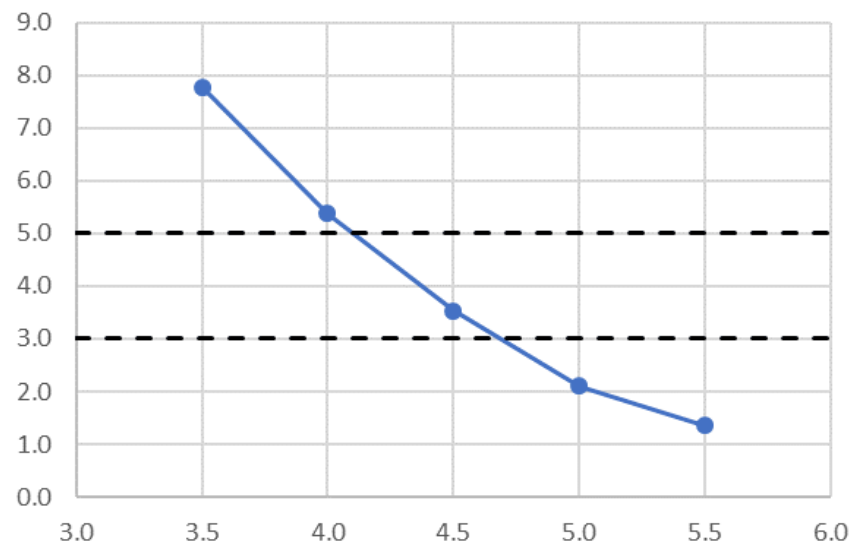
% CAP	Porcentagem de Vazios (%VV)	Vazios do Agreg. Mineral (%VAM)	Relação Betume Vazios (%RBV)
Mínimo	3,0%	13,0%	65,0%
Máximo	5,0%	15,0%	75,0%



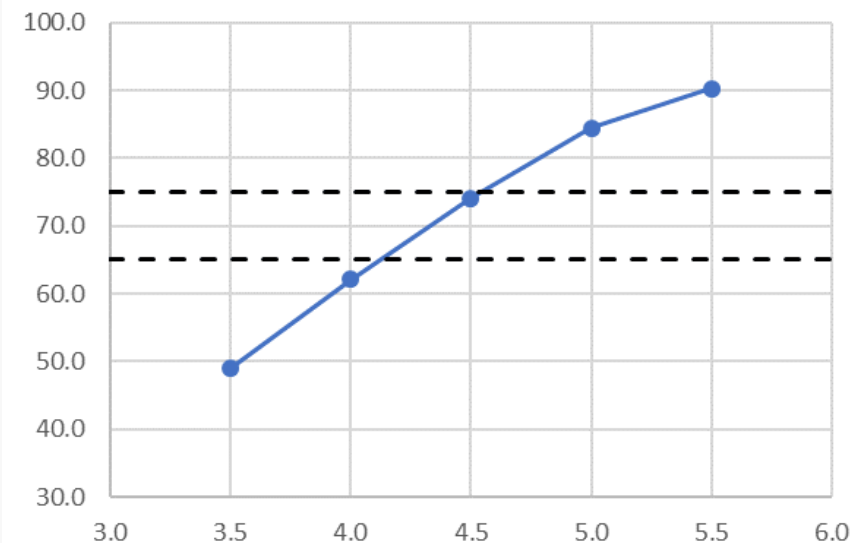
EXERCÍCIO 4

iii) a explicação de como foi encontrado o teor de projeto de asfalto

Volume de vazios



RBV



Teor de projeto de CAP ~ 4,5%