



# MISTURAS ASFÁLTICAS

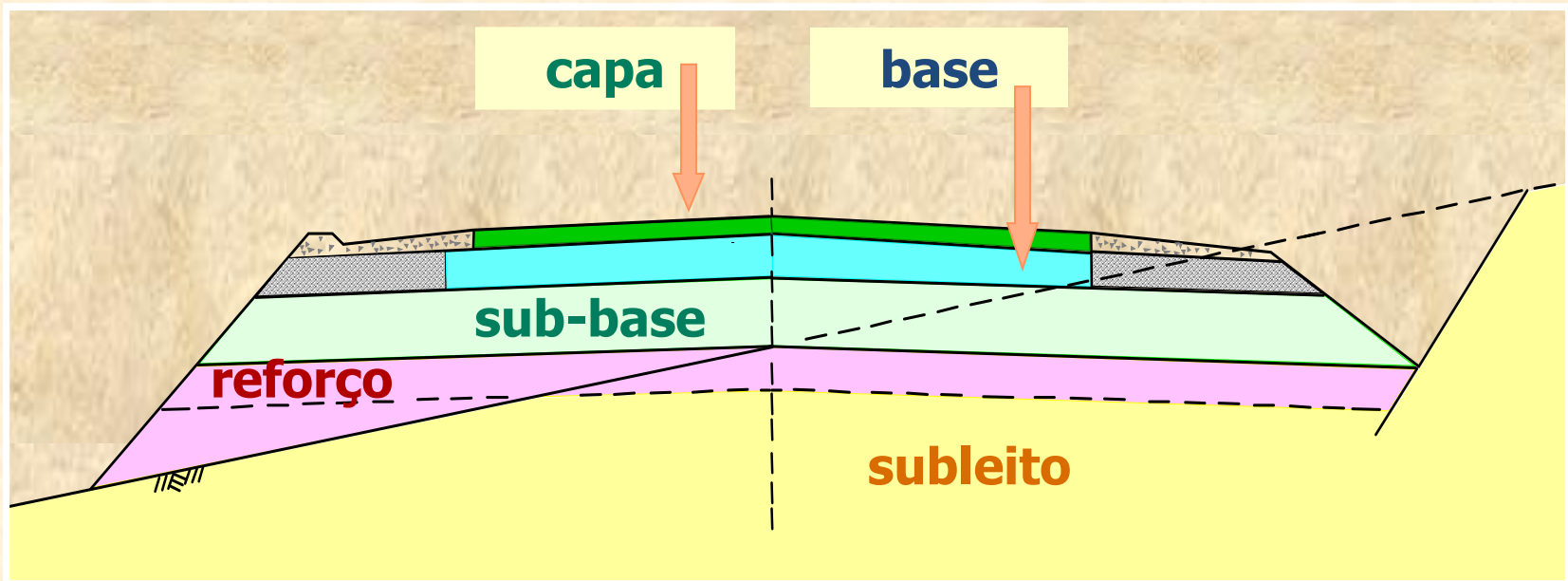
ESTRADAS II

São Carlos, 2020

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



# MISTURAS ASFÁLTICAS



O **pavimento** é uma estrutura destinada a resistir aos esforços gerados pelo tráfego, garantindo **durabilidade** à superfície de rolamento e proporcionando **conforto** e **segurança** ao usuário.



# MISTURAS ASFÁLTICAS



## DEFINIÇÃO

Produtos obtidos em usina ou no campo, a quente ou a frio, compostos de agregados e ligante asfáltico.

Destinadas a melhorar a superfície de rodagem quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste.

Devem apresentar características como: estabilidade, durabilidade, flexibilidade, resistência à fadiga, aderência, impermeabilidade, trabalhabilidade para o clima e o tráfego previstos para o local.



# Características gerais das misturas asfálticas

**Estabilidade:** capacidade das misturas asfálticas resistirem à deformação imposta pelas cargas do tráfego. A estabilidade depende tanto do atrito interno como da coesão. O atrito interno depende da textura superficial e graduação do agregado, forma das partículas, densidade da mistura, quantidade e tipo de ligante asfáltico. A coesão depende do tipo e quantidade de asfalto e da “compatibilidade” eletroquímica entre agregados e asfalto.

**Durabilidade:** destina-se a caracterizar a resistência à desintegração causada pelas solicitações climáticas e pelo tráfego. O ligante asfáltico sofre perda de componentes por volatilização (na fase de construção) e oxidação (ao longo da vida útil do pavimento) e o agregado pode se degradar granulometricamente por falta de resistência ou forma inadequada.



# Características gerais das misturas asfálticas

**Flexibilidade:** capacidade de uma mistura asfáltica em fletir levemente, sem trincar, e de se conformar à consolidação gradual e a movimentos das camadas do pavimento (base, sub-base, etc.) e do subleito.

**Resistência à fadiga:** capacidade de suportar flexões repetidas causadas pela passagem das cargas de rodas. A quantidade e o tipo de asfalto são fatores importantes para a resistência à fadiga.

**Aderência:** as superfícies dos pavimentos devem apresentar boas características de aderência. Para tal, é conveniente não utilizar asfalto em excesso, para que não ocorra exsudação, e escolher agregados com textura superficial rugosa e que tenham boa resistência ao desgaste, de modo a manter a rugosidade.



# Características gerais das misturas asfálticas

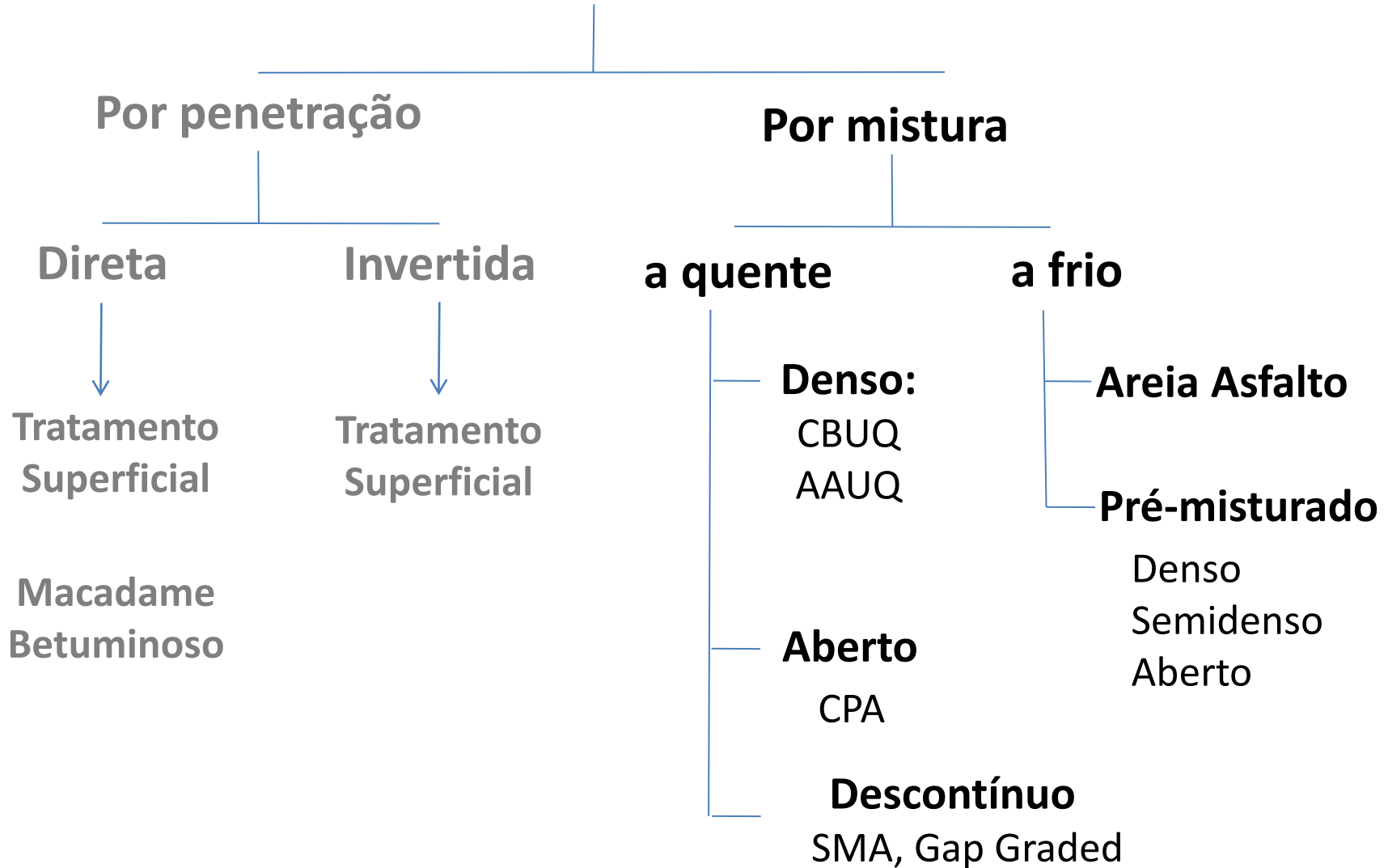
**Impermeabilidade:** deve existir uma boa resistência à passagem da água e do ar através das camadas do pavimento. Normalmente, a quantidade de vazios é uma boa indicação da impermeabilidade, embora a interligação dos vazios e o seu contacto com a superfície do pavimento tenham maior importância nessa propriedade.

**Trabalhabilidade:** é a facilidade da mistura para ser espalhada e compactada.

# TIPOS DE MISTURAS ASFÁLTICAS



## Tipos de Revestimento Asfáltico





# Misturas asfálticas usinadas a quente

## **Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ ou CBUQ)**

é a mistura asfáltica densa mais utilizada, com vazios de 3 a 5% (camada de rolamento) e de 4 a 6% (camada de ligação) e teor de asfalto variando de 4,5 a 6,0%

## **Misturas asfálticas tipo *gap graded***

mistura com graduação em intervalo (gap) que resulta em macrotextura superficial aberta ou rugosa mas não em teor de vazios elevado (ex. 5,7%); usualmente emprega asfalto-borracha\*

## **Misturas asfálticas tipo CPA (Camada Porosa de Atrito)**

utilizam ligantes asfáltico modificado com polímero elastomérico e destinam-se especialmente a drenar as águas superficiais, evitando a formação da lâmina d'água e a hidroplanagem

não são camadas estruturais e devem sempre ser aplicadas sobre uma camada asfáltica densa e impermeável (para evitar a penetração de água no pavimento)

vazios entre 18 e 25% e teor de asfalto entre 3,5 e 4,5%

camadas sujeitas a colmatação (preenchimento dos vazios), exigindo manutenção rotineira

\*[acréscimo] devido a alguns insucessos no país, passou-se a empregar asfalto modificado por polímero elastomérico na produção destas misturas





# Misturas asfálticas usinadas a quente - CPA

trecho em CA seguido por trecho em CPA



**textura superficial**

Pista de pouso e decolagem do aeroporto  
Santos Dumont





# Misturas asfálticas usinadas a quente - SMA

## Misturas asfálticas tipo SMA (Stone Mastic/Matrix Asphalt)

mistura com elevada porcentagem de agregados graúdos (70-80% retidos na #10) o que gera um grande volume de vazios entre os agregados graúdos

esses vazios são preenchidos por um mástique asfáltico, constituído pela mistura da fração de areia (material britado), fíler, ligante asfáltico (modificado com polímero elastomérico) e fibras de celulose (para evitar escorrimento)



os teores de asfalto entre 6,0 e 7,5% e vazios de 4 a 6%

**Aplicação mais conhecida:  
autódromo de Interlagos**



# Misturas asfálticas usinadas a quente

## **Misturas asfálticas tipo SAMI (stress absorbing membrane interlayer)**

têm função antirreflexão de trincas

são compostas por grande parcela de agregado miúdo (inferior a 4,75mm) e ligante modificado por polímeros elastoméricos (ou asfalto-borracha)

## **Misturas asfálticas mornas**

misturas que utilizam procedimentos e/ou produtos que reduzem as temperaturas de usinagem e de compactação

técnicas utilizadas: (i) asfalto espuma, (ii) aditivos orgânicos (ceras) ou (iii) aditivos surfactantes, que são introduzidos no ligante asfáltico ou durante o processo de mistura do ligante asfáltico com os agregados

seu emprego vem crescendo por razões relativas a SMS\*

são produzidas em temperaturas entre 110°C e 140°C, levando a uma economia de combustível necessário para sua fabricação entre 15% a 30%



# Misturas asfálticas usinadas a frio e recicladas

## **Misturas asfálticas usinadas a frio (PMF)**

misturas usinadas e compactadas a temperatura ambiente, com uso de emulsões asfálticas é necessário pouco ou nenhum aquecimento dos materiais e podem ser produzidas in situ sem a necessidade de usina (betoneiras, p. ex.)

o PMF pode ser empregado como revestimento, base, regularização ou reforço do subleito aberto (vazios de 22 a 34%), semiaberto (vazios de 15 a 22%) e denso (vazios de 9 a 15%)

## **Misturas asfálticas recicladas**

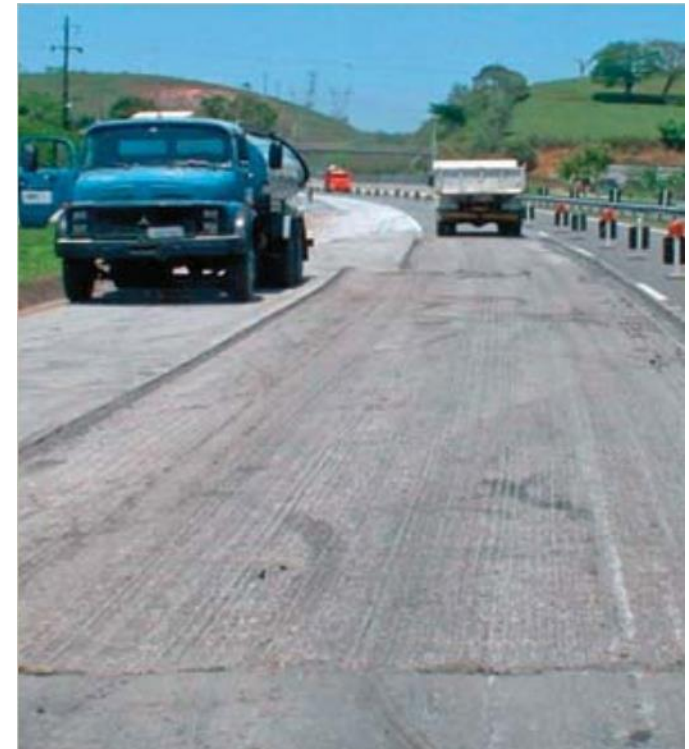
misturas derivadas da reutilização (entre 10 e 30%) de misturas asfálticas envelhecidas e deterioradas, aproveitando os agregados e o ligante asfáltico provenientes do processo de fresagem, com acréscimo de novos insumos: agregados e asfaltos novos, agente de reciclagem (ou agentes rejuvenescedores), asfalto-espuma e/ou aglomerantes hidráulicos

a reciclagem também pode incluir a camada de base, além do revestimento, que pode ser misturada e ter acrescida outros insumos para a produção de uma nova base de melhor qualidade e sobre a qual é construída uma camada de rolamento

a técnica de misturas mornas também se aplica a misturas asfálticas recicladas



# Fresagem e reciclagem de misturas asfálticas





# 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

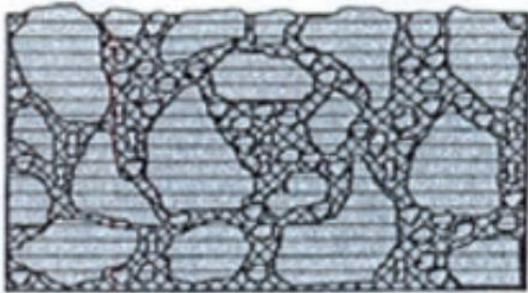


# Tipos de mistura asfáltica – quanto à graduação

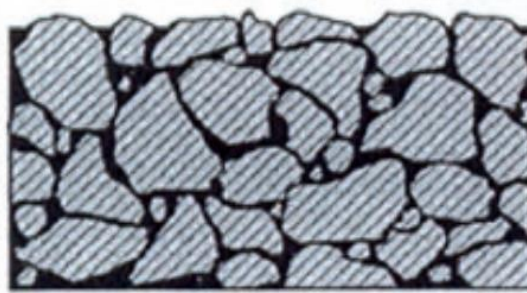
**Misturas asfálticas de graduação densa e bem-graduada**

**Misturas asfálticas de graduação descontínua**

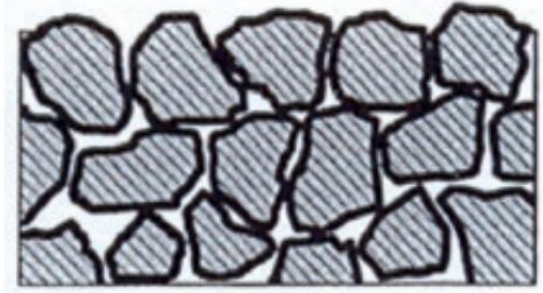
**Misturas asfálticas de graduação aberta**



Mistura asfáltica de granulometria densa



Mistura asfáltica de granulometria descontínua e densa



Mistura asfáltica de granulometria aberta

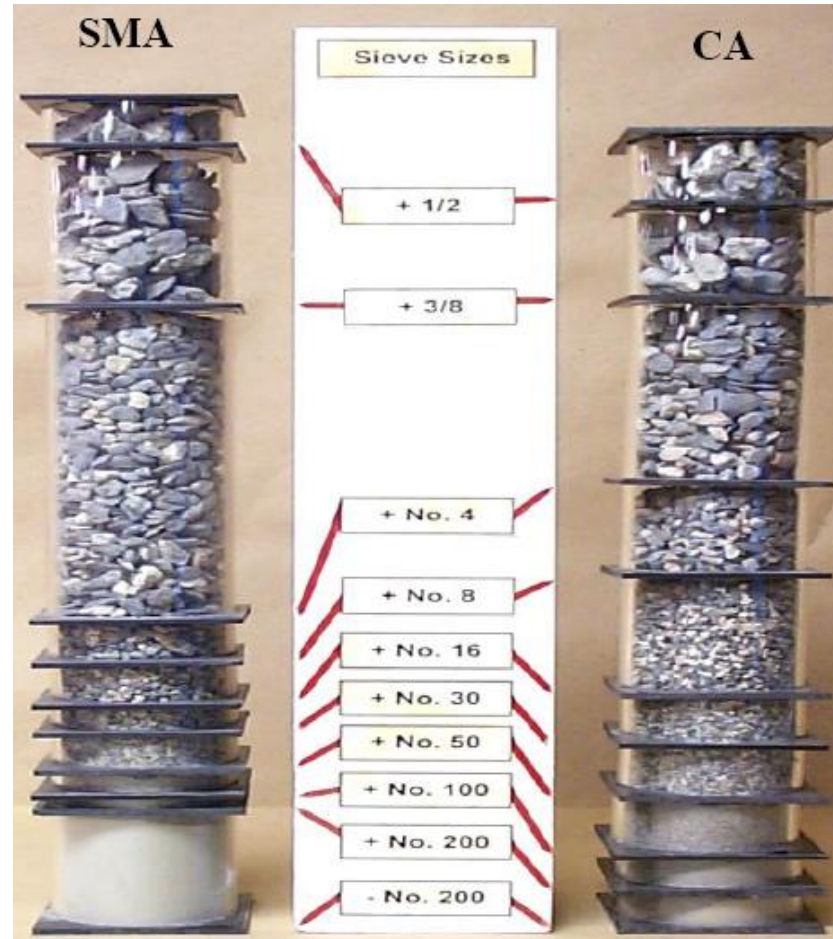


# Exemplo de misturas contínuas e descontínuas

**Agregado  
Graúdo**

**Material  
Intermediário**

**Fíler**



**Escolha:**  
Agregados bons  
quanto à forma  
e à resistência





# Tipos de mistura asfáltica – quanto à graduação

corpo de prova extraído de pista mostrando misturas asfálticas de diferentes graduações



Mistura asfáltica usinada a quente aberta que serve como revestimento drenante

Concreto asfáltico denso

Concreto asfáltico aberto como *binder* ou camada de ligação



# Misturas asfálticas

Emprego das misturas asfálticas:

- camada de rolamento/revestimento (capa);
- camada de ligação ou intermediária (binder);
- camada de regularização ou nivelamento (reperfilagem);
- camada de base (pouco usadas por conta do alto custo).

O material de revestimento pode ser fabricado em:

- usina específica (misturas usinadas), fixa ou móvel;
- preparado na própria pista (mais raramente).



# Misturas asfálticas

Os requisitos técnicos e de qualidade de um revestimento asfáltico serão atendidos com:

- projeto adequado da estrutura do pavimento;
- projeto da mistura asfáltica (dosagem) compatível com as outras camadas.

→ A dosagem passa pela escolha adequada de materiais que proporcionem resistência às solicitações previstas advindas do tráfego e do clima.



# Dosagem

## Objetivos da dosagem:

- Mistura trabalhável (lançamento e compactação);
- Mistura estável sob ação de cargas estáticas e móveis;
- Durabilidade;
- Consumo adequado de ligante asfáltico;
- Baixa deformação permanente;
- Bom comportamento à fadiga;
- Volume de vazios adequado.

## Crítérios de dosagem:

- Função do tipo de mistura, disponibilidade de materiais e equipamentos;
- Almeja-se, por meio de ensaios laboratoriais, dosar misturas que apresentem desempenho satisfatório.

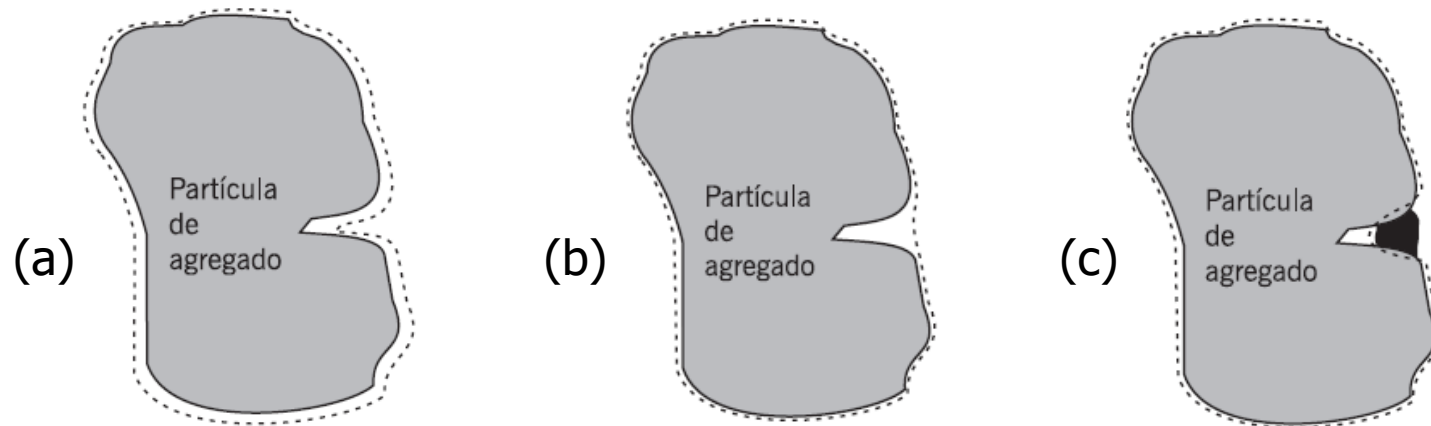


# Conceitos básicos

**MASSA ESPECÍFICA REAL:** relação entre a massa seca e o volume real (volume sólido) - Figura (a).

**MASSA ESPECÍFICA APARENTE:** determinada quando se considera o material como um todo, sem descontar os vazios – Figura (b).

**MASSA ESPECÍFICA EFETIVA:** relação entre a massa seca da amostra e o volume efetivo do agregado (volume da parte sólida + volume dos vazios preenchidos por asfalto) - Figura (c).





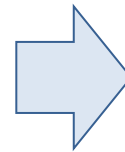
## Conceitos básicos

**DENSIDADE MÁXIMA TEÓRICA (DMT ou Gmm):** é calculada pela ponderação entre as massas específicas reais dos materiais que compõem a mistura asfáltica, ou seja,

Faz-se uma ponderação para determinação da DMT para as diferentes porcentagens de ligantes e agregados.

$$DMT = \frac{100}{\frac{\% ag}{d_{ag}} + \frac{\% af}{d_{af}} + \frac{\% f}{d_f} + \frac{\% b}{d_b}}$$

Agrupados: Agregados, Ligante



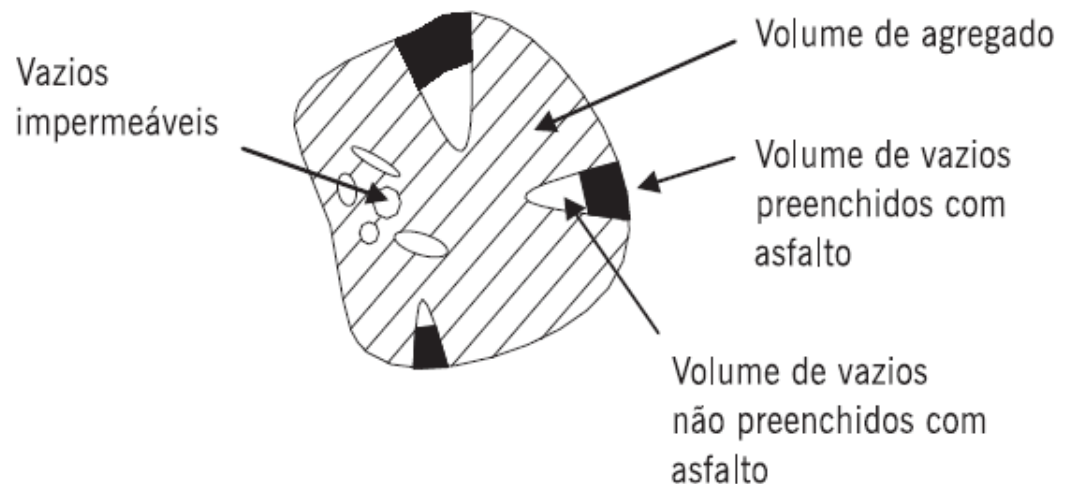
$$DMT = \frac{100}{\frac{\% a}{d_a} + \frac{\% b}{d_b}}$$

Agrupados: Agregados, Ligante



# Conceitos básicos

**DENSIDADE MÁXIMA TEÓRICA** determinada pelo **processo RICE (DMT ou Gmm)**: a razão entre a massa do agregado mais ligante asfáltico e a soma dos volumes dos agregados, vazios impermeáveis, vazios permeáveis não preenchidos com asfalto e total de asfalto.





# Principais métodos de dosagem

1. **MARSHALL**
2. **SUPERPAVE**
3. Hubbard Field
4. Hveen





# Dosagem pelo método Marshall

**FINALIDADE:** determinar o teor de asfalto de projeto



Foi concebida no decorrer da 2ª guerra Mundial como um procedimento para definir a proporção de agregado e ligante asfáltico capaz de resistir às cargas de roda e pressão de pneus das aeronaves militares.

<b>Parâmetros</b>	<b>Defeitos relacionados</b>
Vv e RBV	Desagregação/exsudação - oxidação
Densidade	Consolidação
Fluência	Corrugação
Estabilidade	Ruptura



# Dosagem Marshall - ETAPAS

1. Determinação das massas específicas reais do ligante asfáltico e dos agregados;
2. Seleção da faixa granulométrica a ser utilizada;

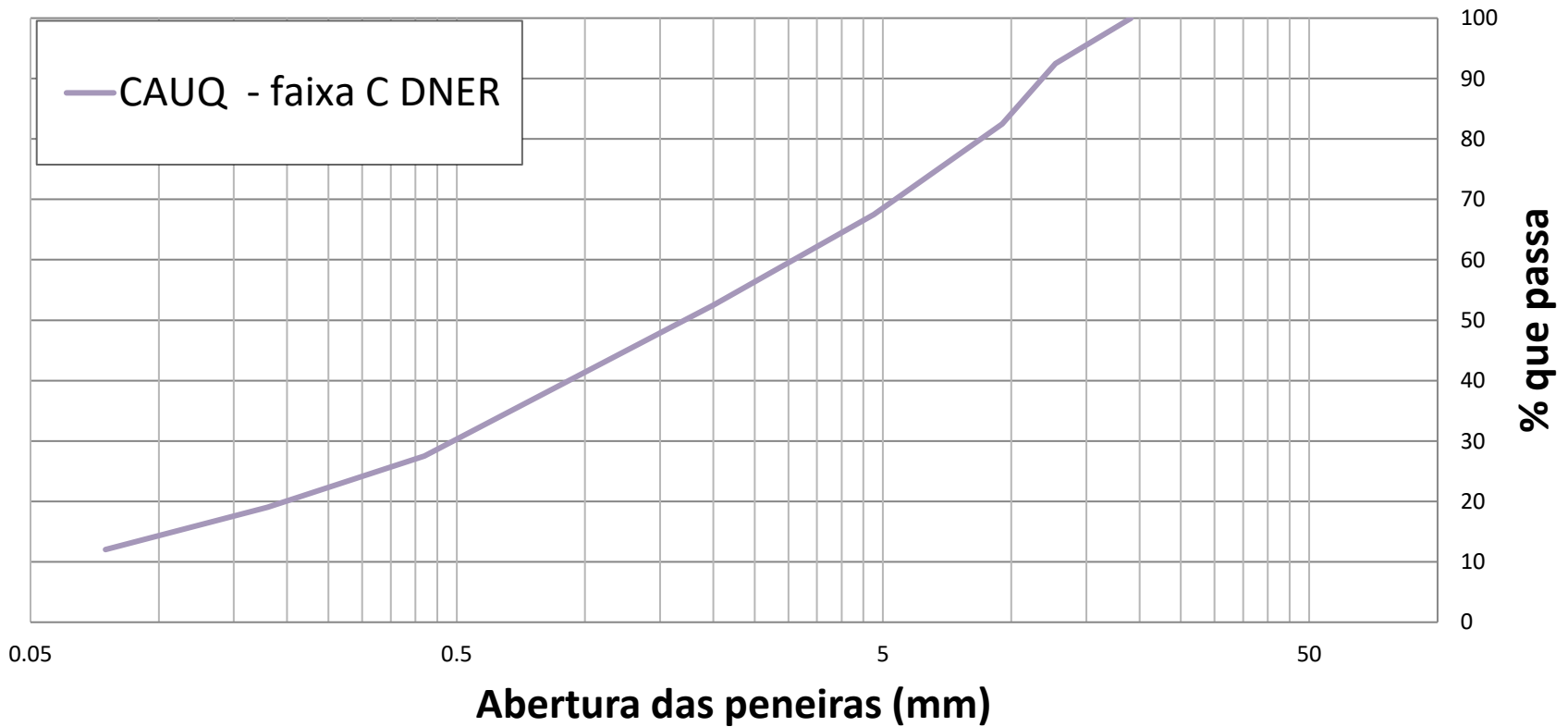
## Exemplo

Peneira	Brita 3/4"	Brita 3/8"	Pó-de-pedra	Areia de campo	Fíler	Faixa de projeto			Faixa C	
	25%	36%	20%	18%	1%	%mín.	%alvo	%máx.	%mín.	%máx.
3/4"	100	100	100	100	100		100,0			100
1/2"	72	100	100	100	100	86	93,1	100	80	100
3/8"	33	98	100	100	100	76	82,6	90	70	90
Nº 4	5	30	98	100	100	46	50,6	56	44	72
Nº 10	3	6	82	99	100	33	38,0	43	22	50
Nº 40	2	2	39	68	100	17	22,2	27	8	26
Nº 80	1	1	21	41	100	10	13,1	16	4	16
Nº 200	0	1	10	21	95	5	7,1	10	2	10



# Dosagem Marshall - ETAPAS

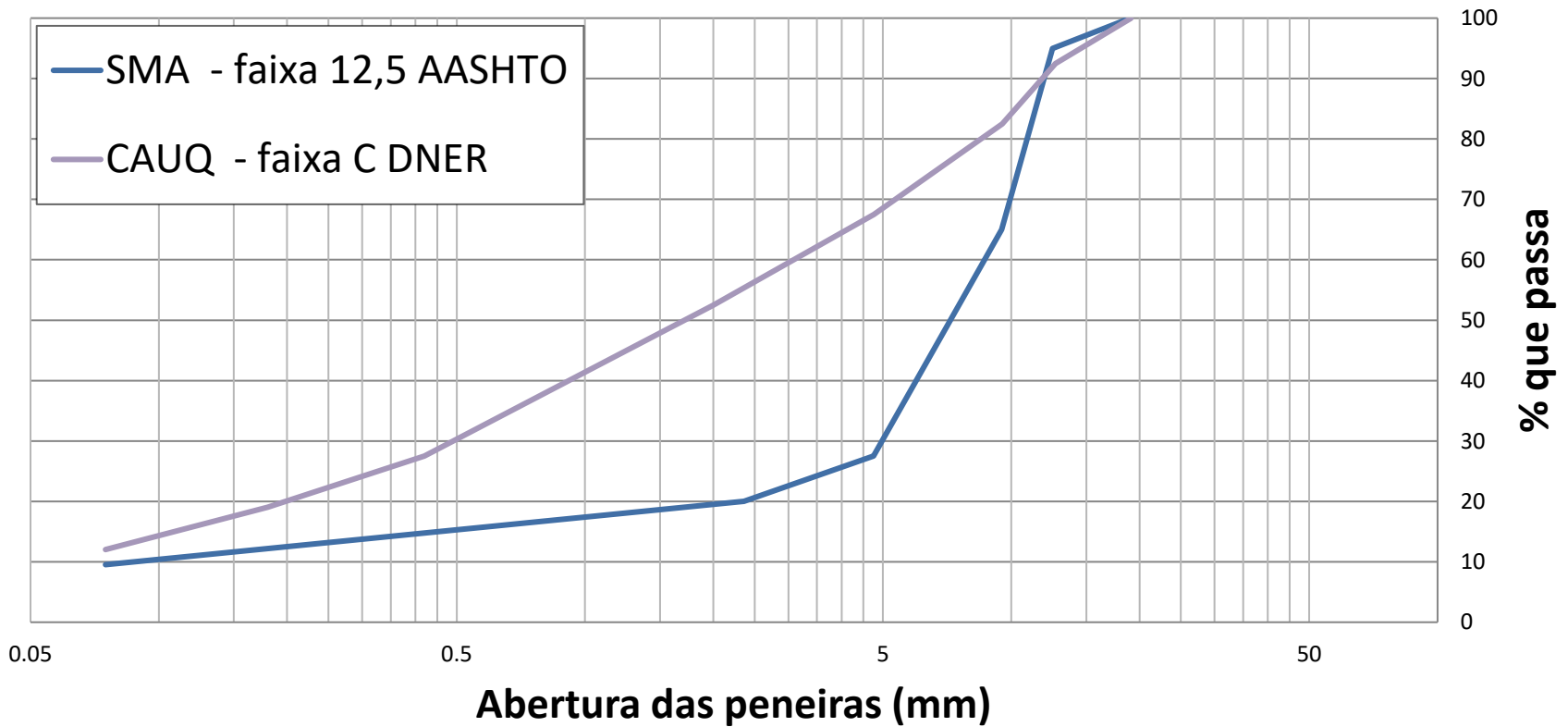
## Comparação das Faixas Granulométricas





# Dosagem Marshall - ETAPAS

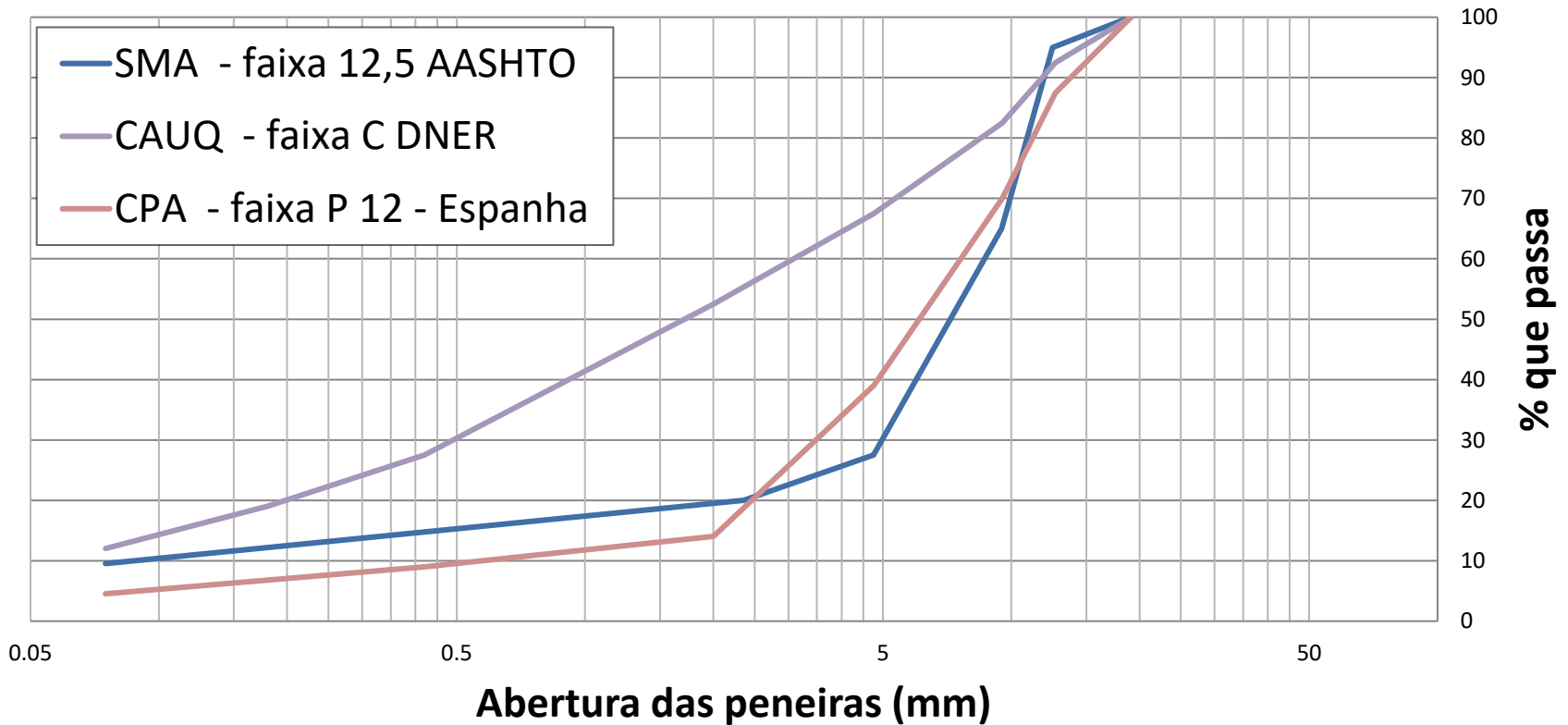
## Comparação das Faixas Granulométricas





# Dosagem Marshall - ETAPAS

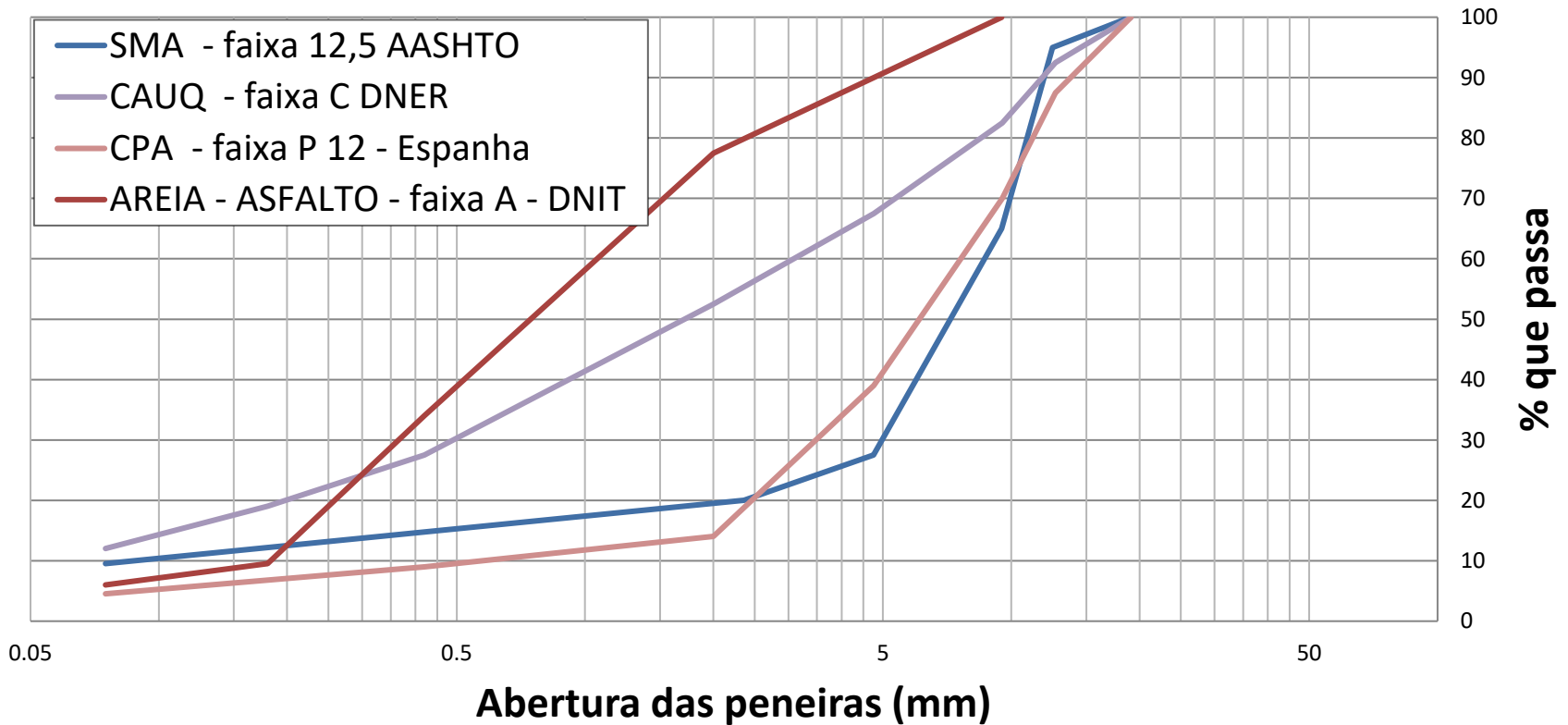
## Comparação das Faixas Granulométricas





# Dosagem Marshall - ETAPAS

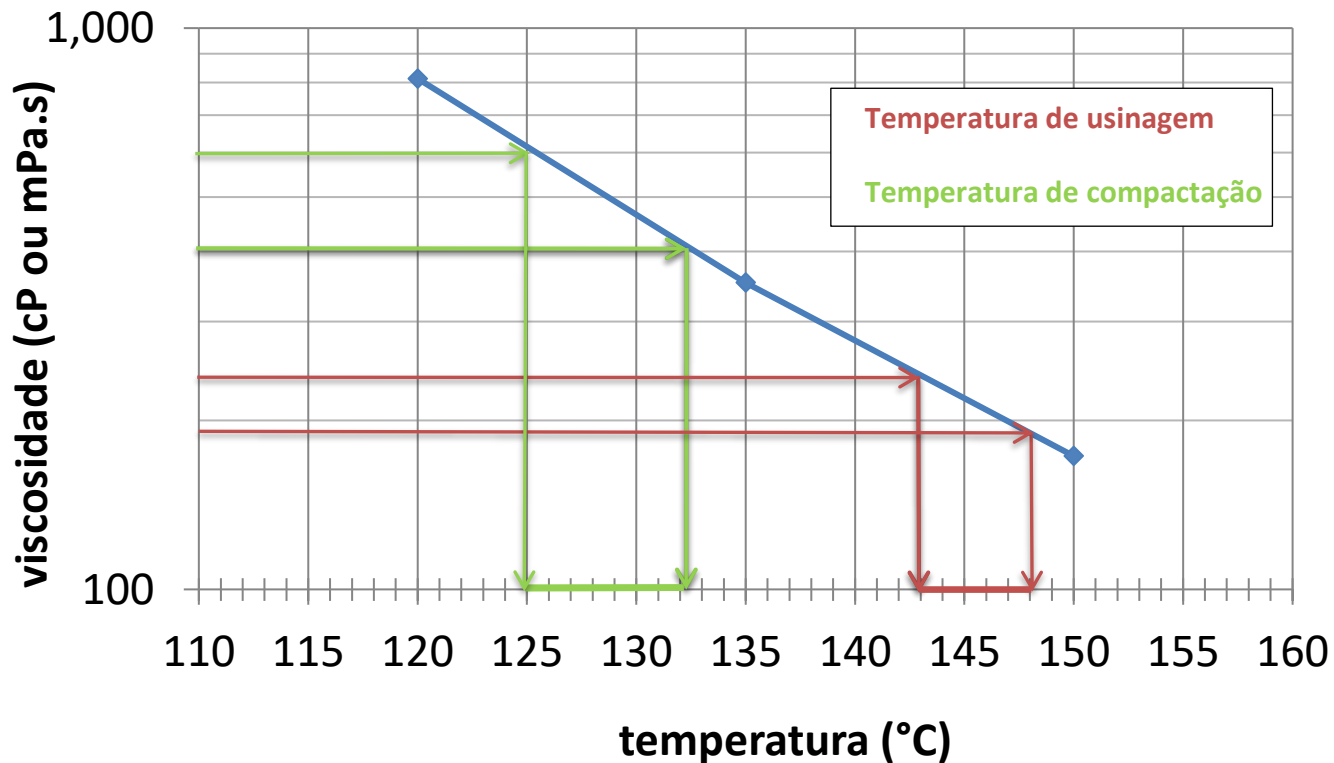
## Comparação das Faixas Granulométricas





# Dosagem Marshall

- Escolha da temperatura de mistura e compactação (curva viscosidade x temperatura do ligante escolhido);





## Dosagem Marshall - ETAPAS

5. Adoção de teores de asfalto para os diferentes grupos de corpos-de-prova a serem moldados (cada grupo com mínimo de 3 CPs);
6. Compactação dos corpos-de-prova



**tráfego leve** - 50  
golpes do soquete  
por face do CP

**tráfego pesado** -  
75 golpes do  
soquete por face  
do CP





# Dosagem Marshall - ETAPAS

## 7. Resfriamento e desmoldagem dos corpos-de-prova





## Dosagem Marshall - ETAPAS

8. Obter as dimensões dos corpos-de-prova (diâmetro e altura). Determinar as massas seca ( $M_s$ ) e submersa ( $M_{sub}$ ), massa específica aparente e calcular as relações volumétricas.

Volume dos CPs:  $V = M_s - M_{sub}$

Massa específica aparente da mistura:  $G_{mb} = M_s/V$

Volume de Vazios ( $V_v$ ):  $V_v = 100 \times (G_{mm} - G_{mb})/G_{mm}$

Vazios e agregado mineral (VAM):  $VAM = V_v + \frac{(G_{mb} \times \%b)}{d_b}$

Relação betume vazios (RBV):  $RBV = \frac{100 \times V_b}{VAM}$





## Dosagem Marshall - ETAPAS

9. Determinar os parâmetros mecânicos: estabilidade (kgf) e fluência (mm).

Os CPS ficam submersos em banho-maria a 60°C por 30 a 40 min., depois são submetidos ao ensaio de ruptura por compressão.

**Estabilidade:** carga máxima a qual o CP resiste quando da ruptura, em kgf

**Fluência:** deslocamento na vertical apresentado pelo CP correspondente à carga máxima, em mm





# Dosagem Marshall - ETAPAS





# Dosagem Marshall - ETAPAS

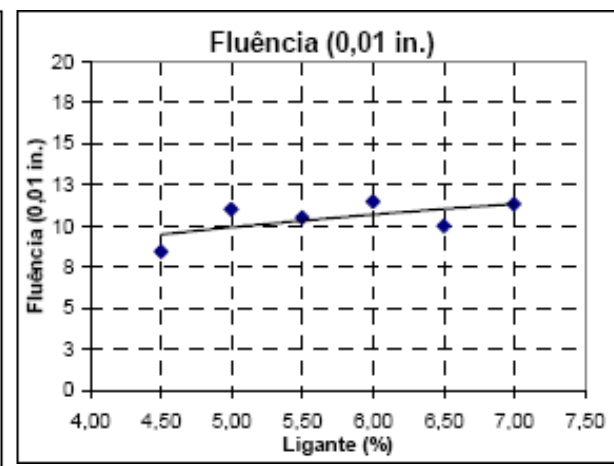
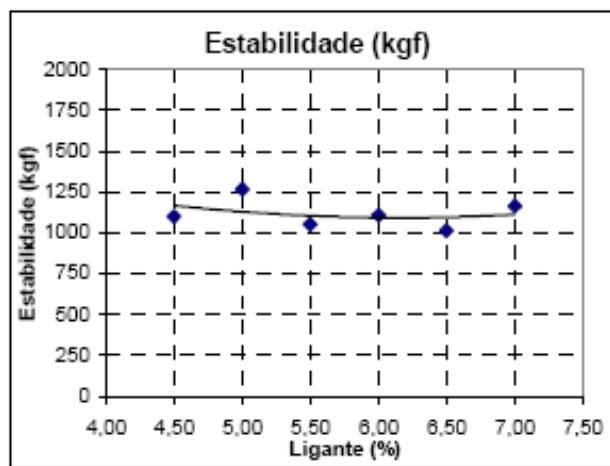
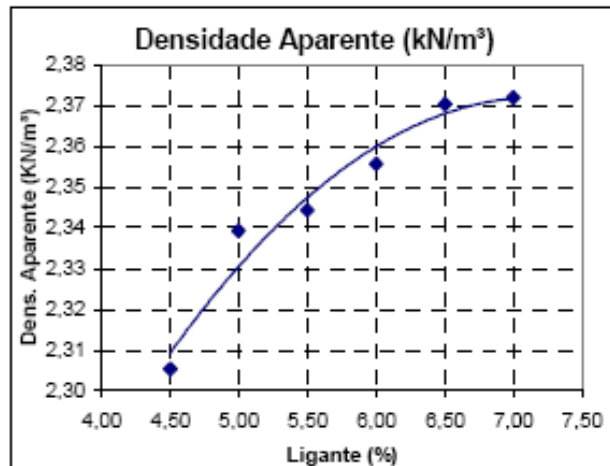
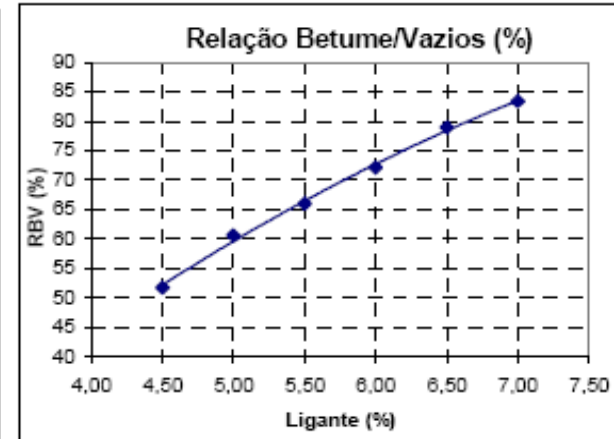
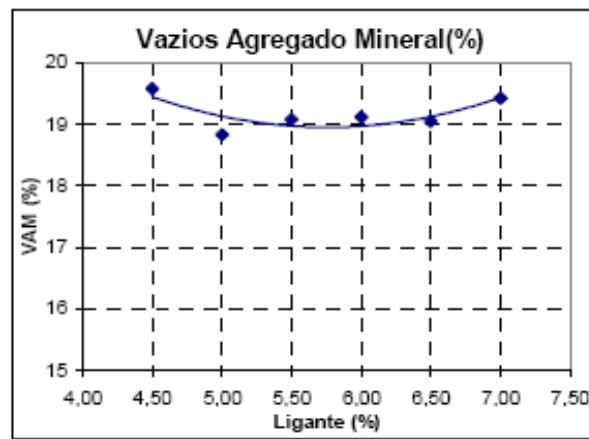
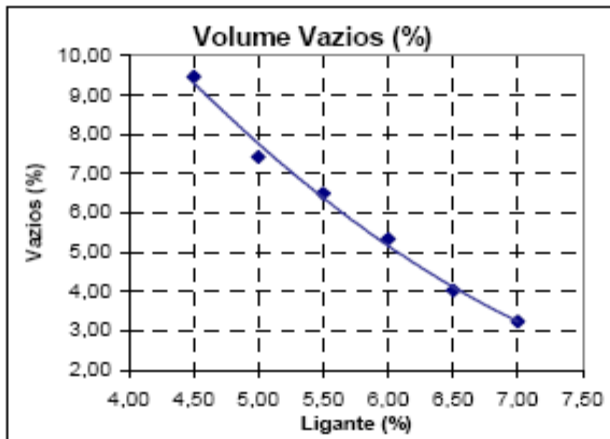


Medidor de Fluência



# Dosagem Marshall - ETAPAS

10. Plotar as curvas (6) em função do teor de asfalto (exemplo)





# Dosagem Marshall – REQUISITOS – DNIT

<b>Características</b>	<b>Camada de rolamento</b>	<b>Camada de ligação</b>
VV (%)	3-5	4-6
RBV (%)	75-82	65-72
Estabilidade, min (Kgf)	500	500
RT (25°C), mim (MPa)	0,65	0,65

Fonte: **DNIT- ES 031/2006**



# Dosagem Marshall – REQUISITOS – DER/SP

<b>Características</b>	<b>Camada de rolamento</b>	<b>Camada de ligação</b>
VV (%)	4	4-8
RBV (%)	65-80	65-75
Estabilidade, min (kN)	8	8
RT (25°C), mim (MPa)	0,80	0,65
Resistência ao dano à umidade induzida (%)	70	-

Fonte: DER-SP- ET P00/027 - 2005



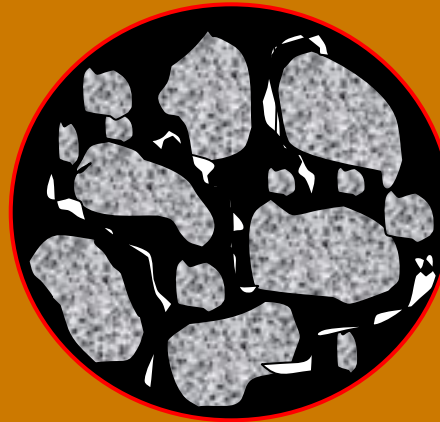
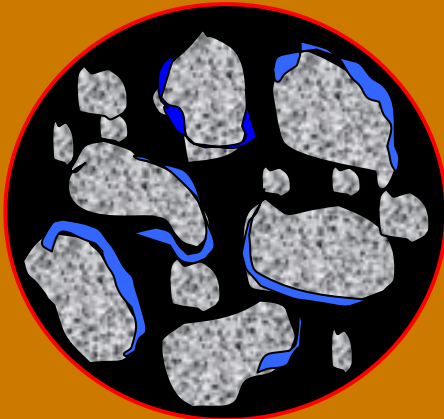


# Suscetibilidade à umidade induzida - ADESÃO E COESÃO

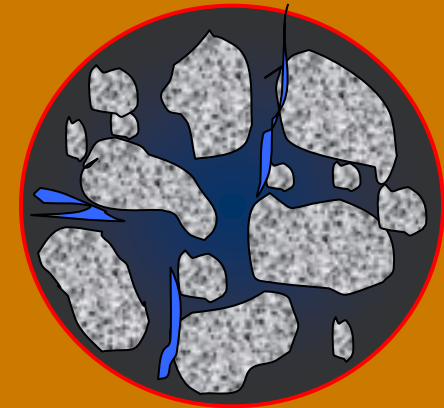
Mistura asfáltica  
agregado+asfalto+vazios



Perda de adesão:  
água na interface  
agregado-asfalto



Perda de coesão:  
água no asfalto,  
amolecimento da  
mistura



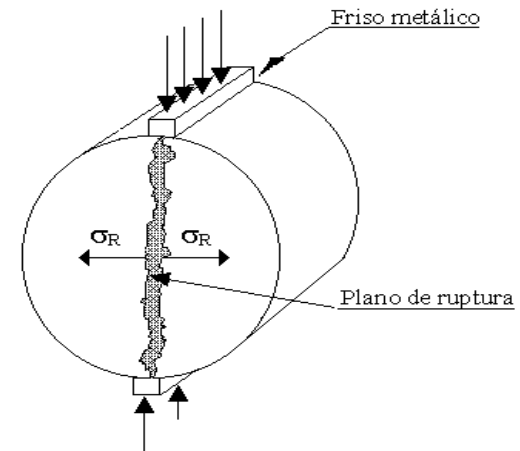


## Suscetibilidade à umidade induzida - ADESÃO E COESÃO

- Deslocamento: a água desloca a película de asfalto do agregado;
- Desprendimento: a umidade do agregado separa-o do asfalto;
- Emulsificação; a água incorpora-se ao asfalto;
- Lavagem hidráulica: a água aprisionada nos vazios lava o asfalto da mistura.



# Suscetibilidade à umidade induzida - ADESÃO E COESÃO

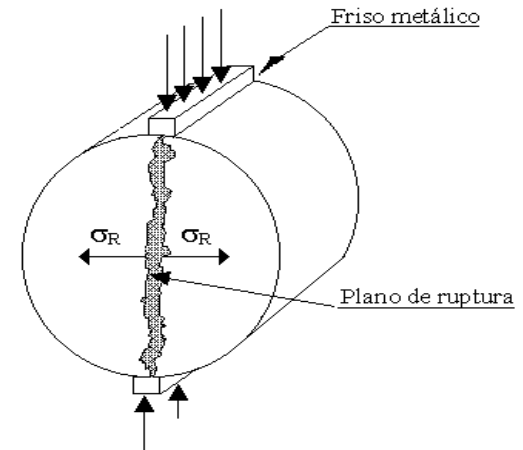




# Suscetibilidade à umidade induzida - ADESÃO E COESÃO

## DER-SP (ET-DE-P00/027A)

A mistura asfáltica é considerada satisfatória quanto à **suscetibilidade à umidade induzida** quando a relação entre a resistência à tração média do **grupo de CPs condicionados** (AASHTO T-283) e a resistência à tração do **grupo de CPs virgens** for maior ou igual **70%**.





# Aditivos promotores de adesividade

empregados para reduzir ou eliminar o dano causado por ação da umidade às misturas asfálticas e melhorar a afinidade química entre ligante asfáltico e agregado mineral é comum o emprego de cal hidratada ou de aditivos líquidos promotores de adesão (comumente conhecidos como Dopes)

os aditivos líquidos são adicionados em pequenas quantidades (0,07% a 0,5% em relação ao peso de ligante) diretamente ao ligante asfáltico

no caso da cal, pode ser utilizado um sistema dosador com silo externo de forma que a cal pode ser adicionada diretamente aos agregados virgens



(a) Não satisfatória

(b) Satisfatória

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



# Dosagem SUPERPAVE

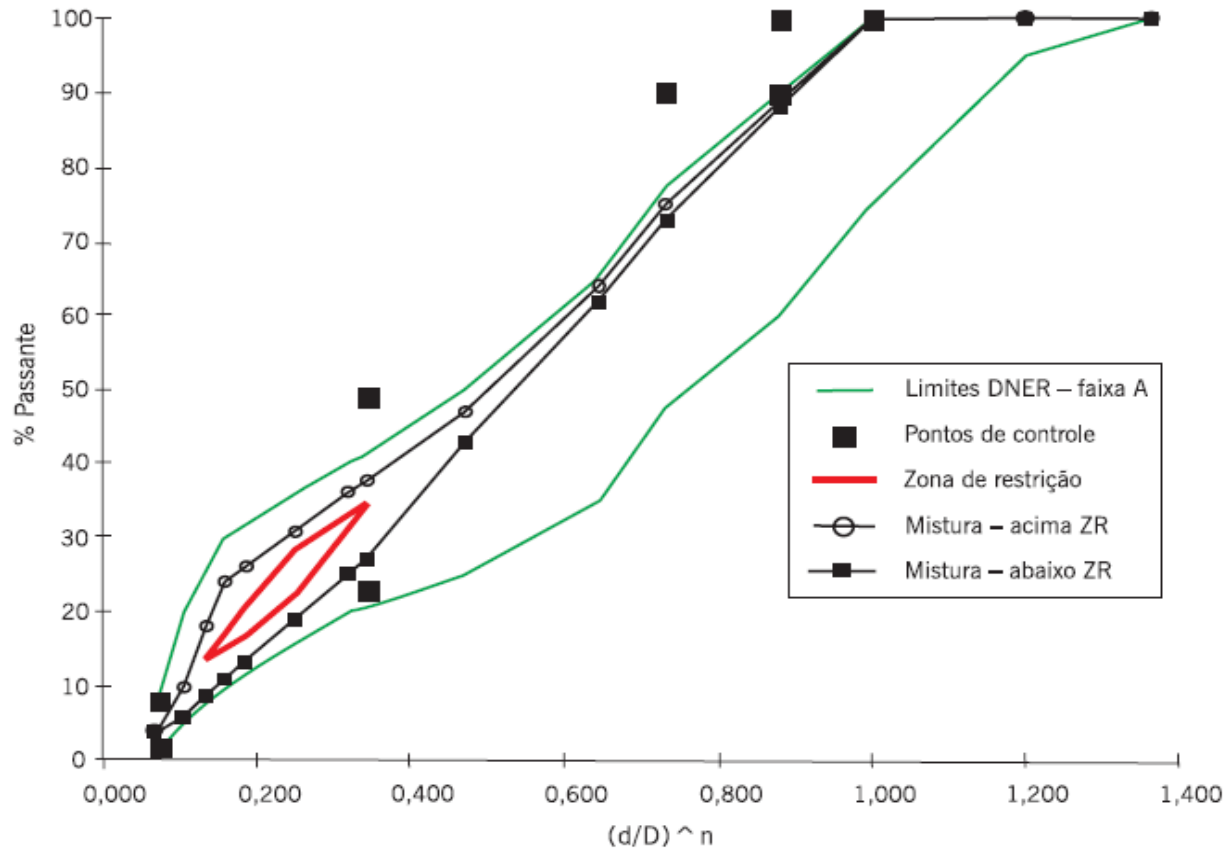
## Superior Performing Asphalt Pavements - SUPERPAVE

O Método **Superpave** resultou do Programa de Pesquisa SHRP (Strategic Highway Research Program), que desenvolveu métodos de análise de materiais betuminosos e de misturas asfálticas com base em propriedades fundamentais, diretamente relacionadas ao desempenho dos pavimentos quando em serviço.



# Dosagem SUPERPAVE

1. Escolha da granulometria: o método Superpave inclui o conceito de pontos de controle e zona de restrição.





# Dosagem SUPERPAVE

1. Maior diferença para o procedimento Marshall é a forma de compactação.
  - **MARSHALL:** compactação por impacto (golpes)
  - **SUPERPAVE:** amassamento (giros)

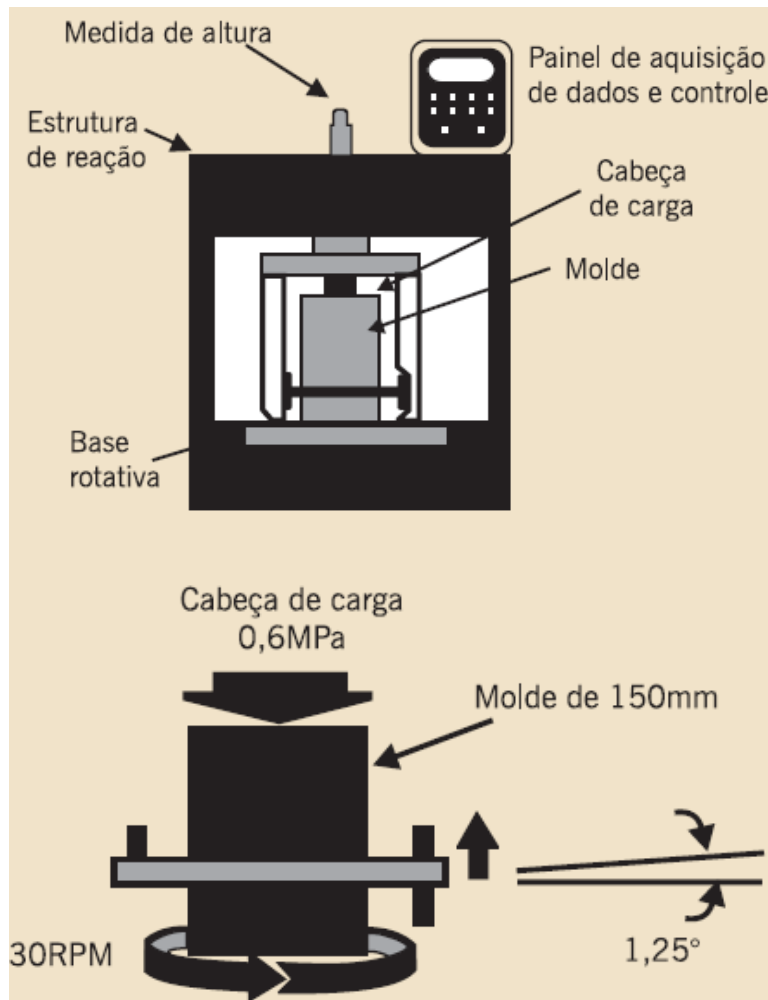
O compactador giratório SUPERPAVE (CGS) padronizado tem as seguintes características:

- ângulo de rotação de  $1,25 \pm 0,02^\circ$ ;
- taxa de 30 rotações por minuto;
- tensão de compressão vertical durante a rotação de 600kPa;
- capacidade de produzir corpos-de-prova com diâmetros de 100 e 150mm.





# Dosagem SUPERPAVE





# Dosagem SUPERPAVE

## REQUISITOS DA MISTURA ASFÁLTICA

PREPARAR 3 COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DIFERENTES

- graúda / miúda / intermediária
- moldar 2 corpos-de-prova por mistura (com 5% de ligante)
- compactar no CGS (até  $N_{projeto}$ )
- se necessário, repetir para novo teor de ligante

REQUISITOS VOLUMÉTRICOS

$V_v = 4\%$   
VAM  $f(d \text{ máx})$   $VAM > 11\%$   
RBV  $f(\text{tráfego})$   $65\% < RBV < 75\% \text{ do VAM}$

PROPORÇÃO PÓ/ASFALTO (P/A)

0,6 a 1,2 (% passante N° 200 / % asfalto)

SELEÇÃO DO TEOR DE LIGANTE DE PROJETO

- moldagem de 8 corpos-de-prova
  - 2 corpos-de-prova: teor estimado - 0,5%
  - 2 corpos-de-prova: teor estimado
  - 2 corpos-de-prova: teor estimado + 0,5%
  - 2 corpos-de-prova: teor estimado + 1,0%
- compactar no CGS até  $N_{projeto}$
- determinar propriedades volumétricas
- teor de projeto: teor de vazios 4% a  $N_{projeto}$



# Dosagem SUPERPAVE

Número de giros especificados pelo SUPERPAVE

Parâmetros de compactação			Tráfego
N inicial	N projeto	N máximo	
	50	75	Muito leve (locais)
7	75	115	Médio (rodovias coletoras)
8	100	160	Médio a alto (rodovias rurais)
9	125	205	Alto (interestaduais)

Critérios volumétricos para escolha do teor de projeto

Número de Giros	Relação entre Massa específica aparente e DMT	Vv (%)
N inicial	<89%	>11
N projeto	96%	4
N máximo	<98%	>2



# Dosagem SUPERPAVE

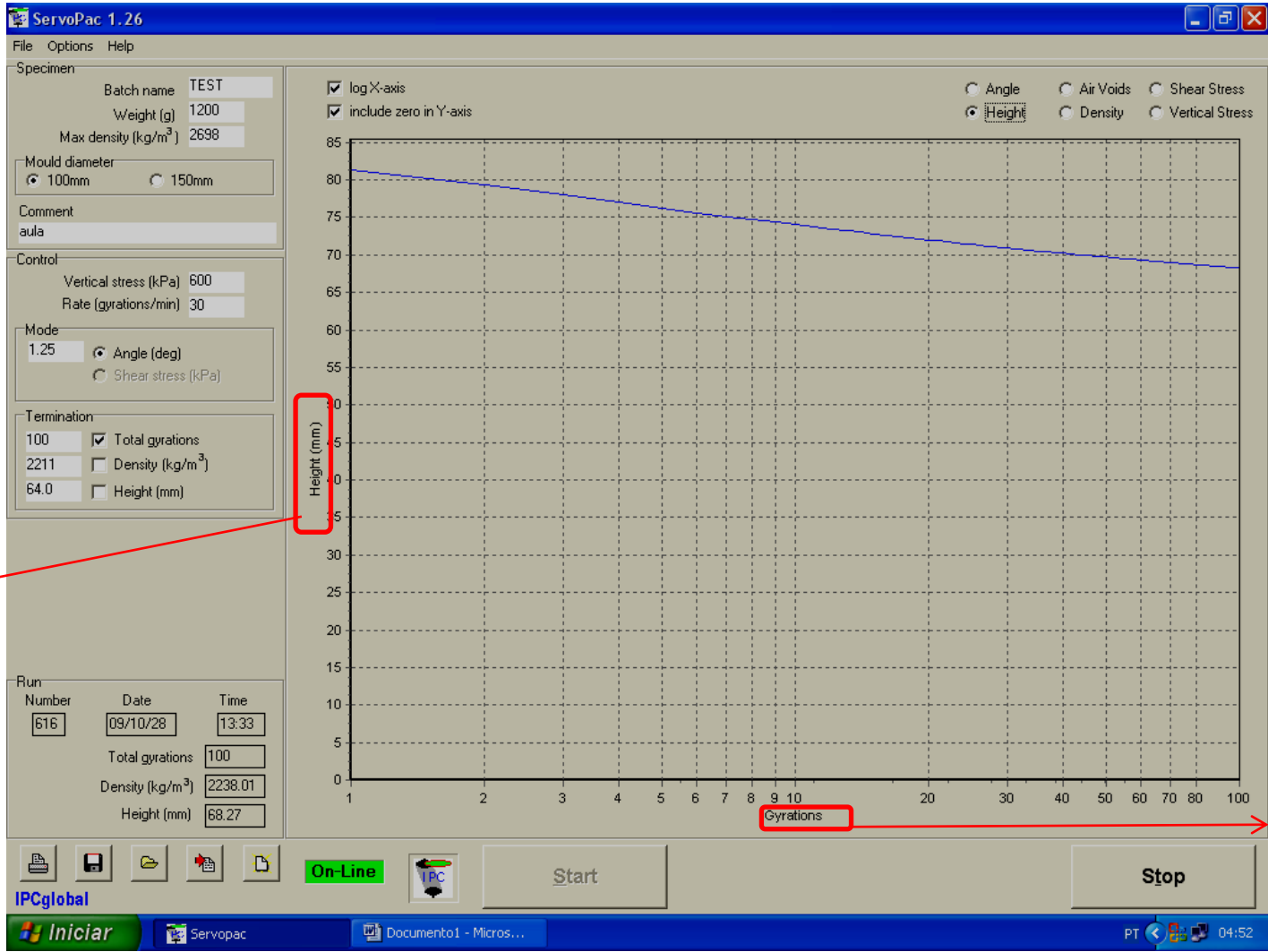
## Compactador giratório SUPERPAVE





# Dosagem SUPERPAVE

Altura C.P. (mm)

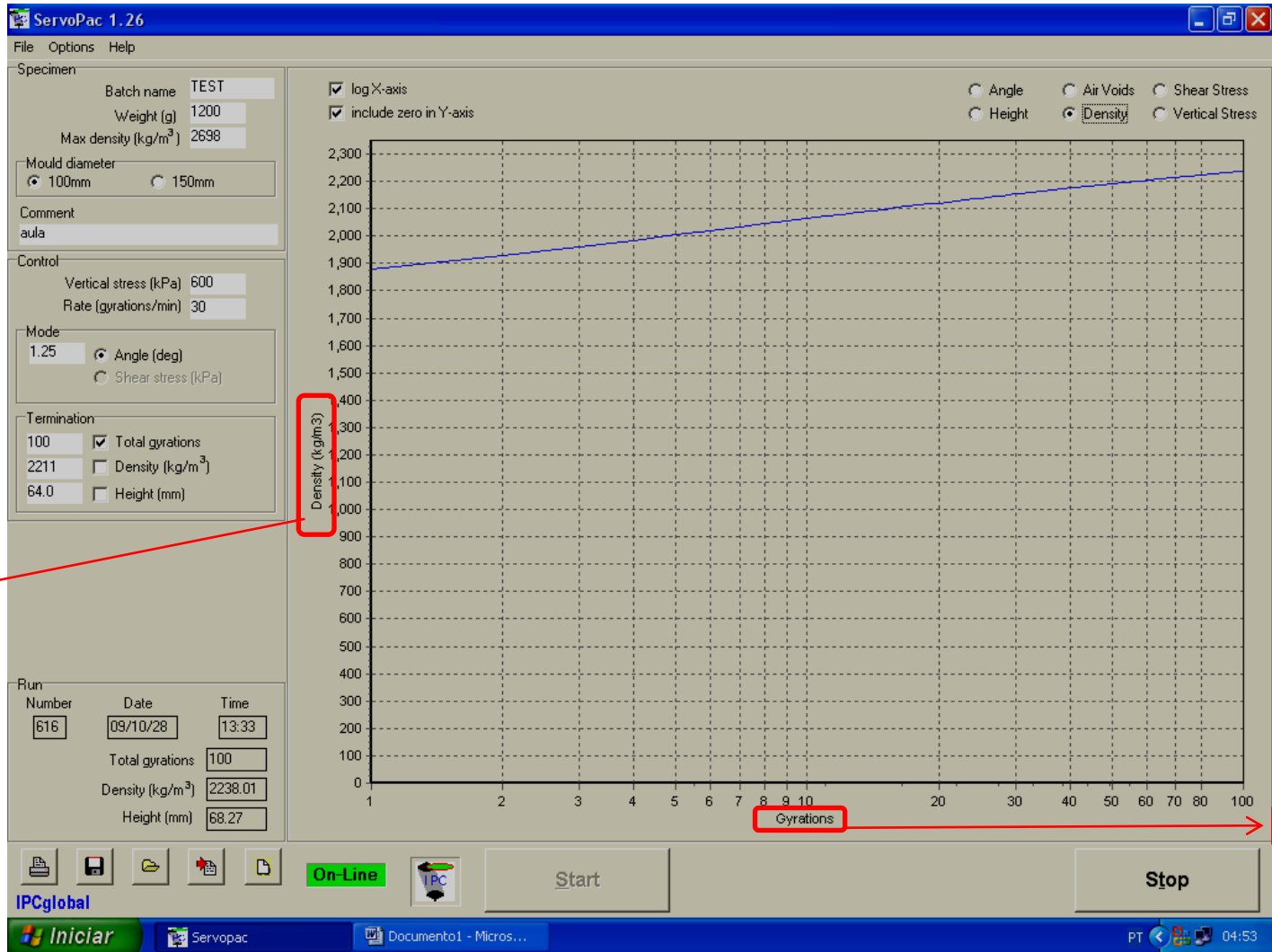


N de giros



# Dosagem SUPERPAVE

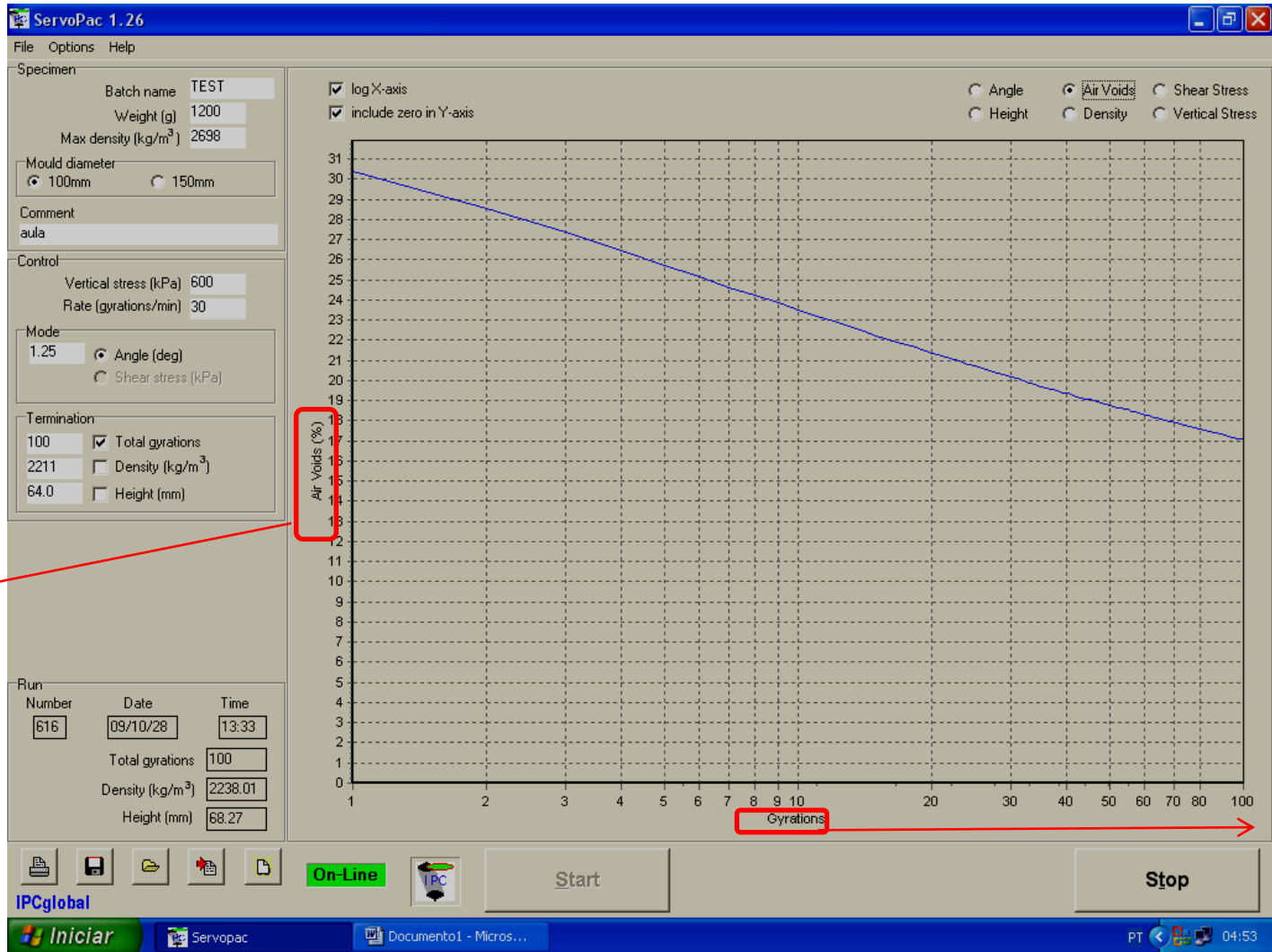
Massa específica (Kg/m<sup>3</sup>)



N de giros



# Dosagem SUPERPAVE



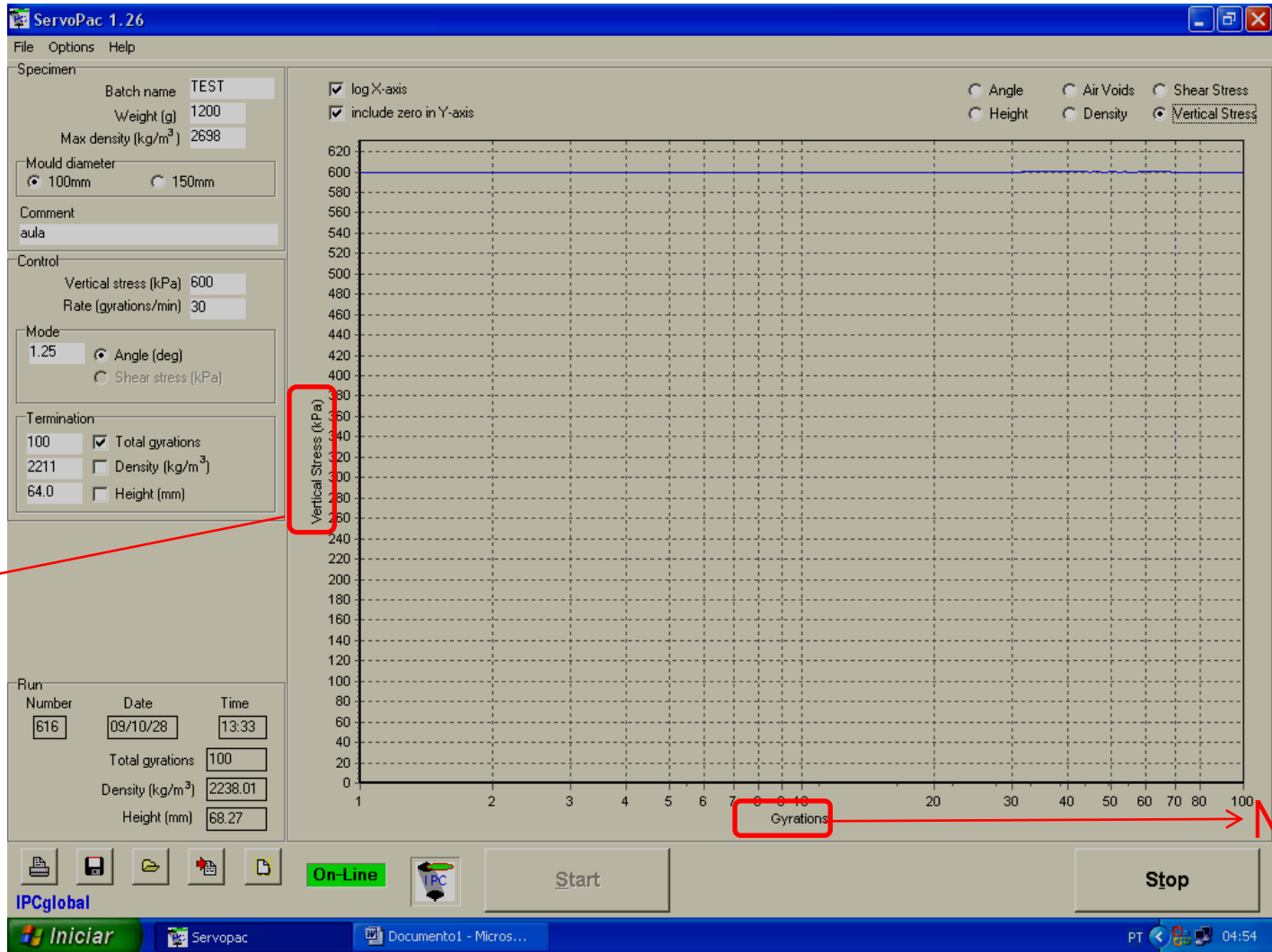
% de Vazios

N de giros



# Dosagem SUPERPAVE

Tensão de compressão Vertical (kPa)



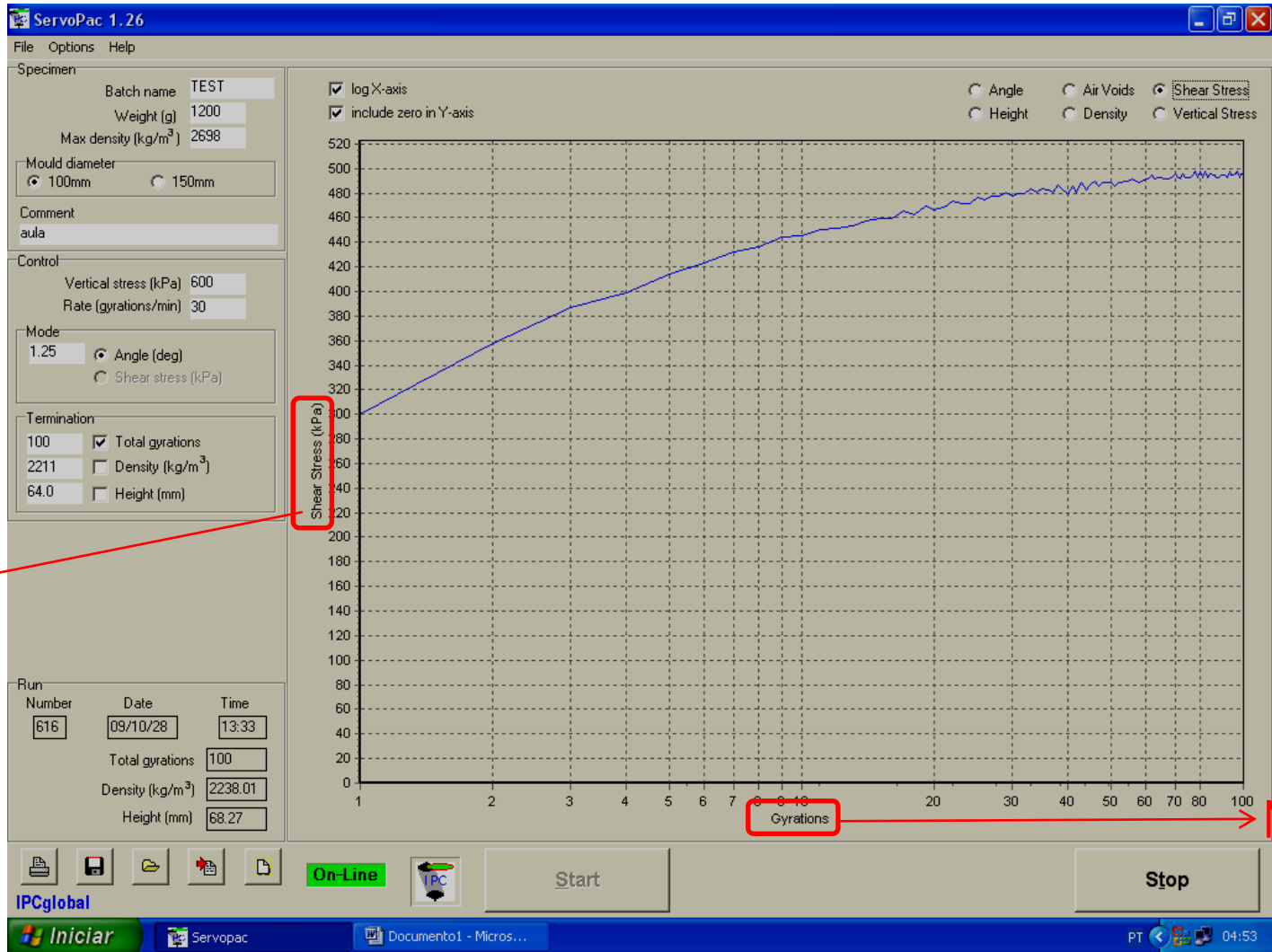
N de giros





# Dosagem SUPERPAVE

Tensão cisalhante (kPa)

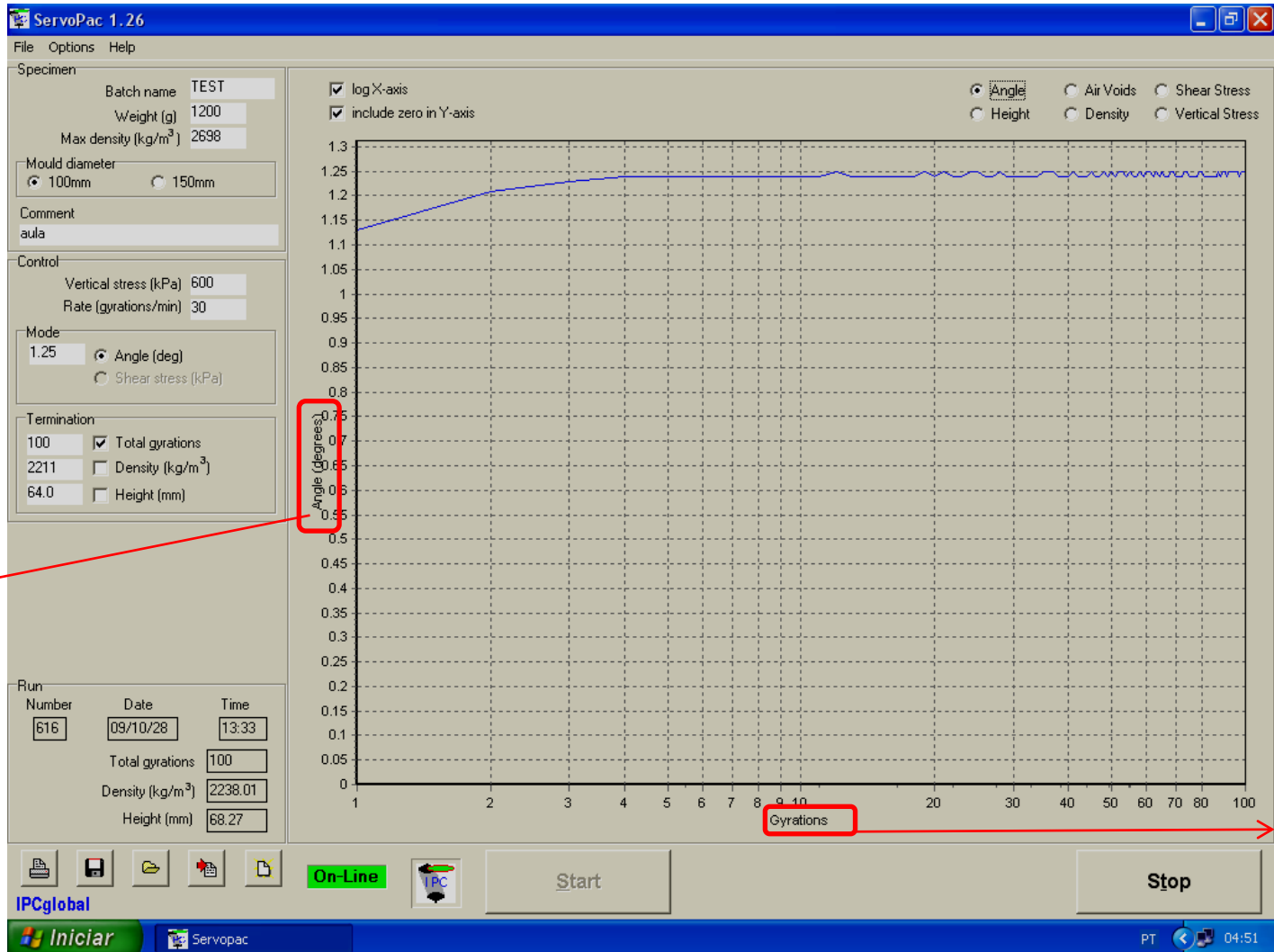


N de giros



# Dosagem SUPERPAVE

Ângulo de giro



N de giros



# Produção em usinas

Objetivo: proporcionar a mistura dos agregados de forma adequada; aquecer os agregados e o ligante asfáltico e misturá-los, produzindo misturas asfálticas com as características especificadas.

Tipos de Usinas:

1. Usina de produção por batelada ou gravimétrica
2. Usina contínua ou *drum-mixer*





# Produção em usinas

Operações envolvidas na produção de misturas asfálticas:

- Estocagem e manuseio dos materiais
- Proporcionamento e alimentação dos agregados frios no secador
- Secagem e aquecimento dos agregados
- Controle e coleta de pó no secador
- Alimentação e mistura do ligante asfáltico com o agregado aquecido
- Estocagem, distribuição, pesagem e manuseio das misturas produzidas



# Produção em usinas

## 1. Estocagem e manuseio dos materiais

**agregados:** devem ser manuseados e estocados de maneira a evitar contaminação e minimizar sua degradação e segregação

**ligante asfáltico:** deve ser estocado em quantidade suficiente para manter a operação da usina de forma regular

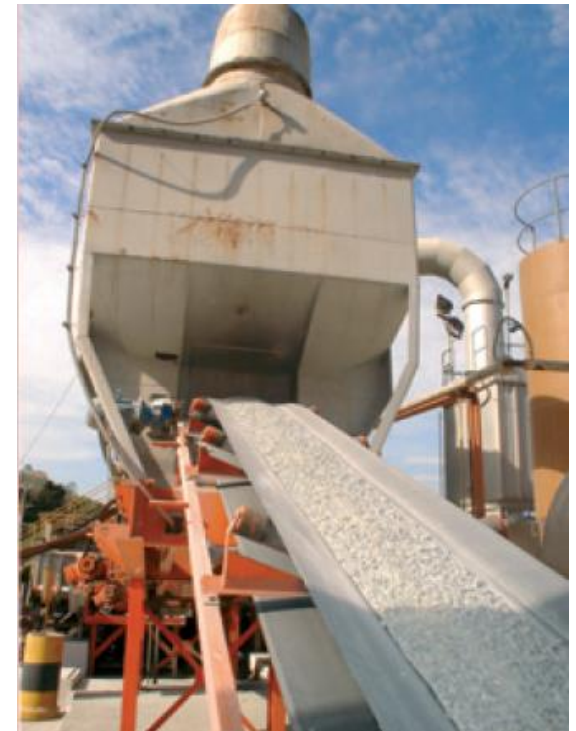




# Produção em usinas

## 2. Proporcionamento e alimentação do agregado frio no secador

O silo frio recebe os agregados frios, dosa as diferentes frações granulométricas e conduz para o secador. São compostos por uma série de pelos menos 4 silos.



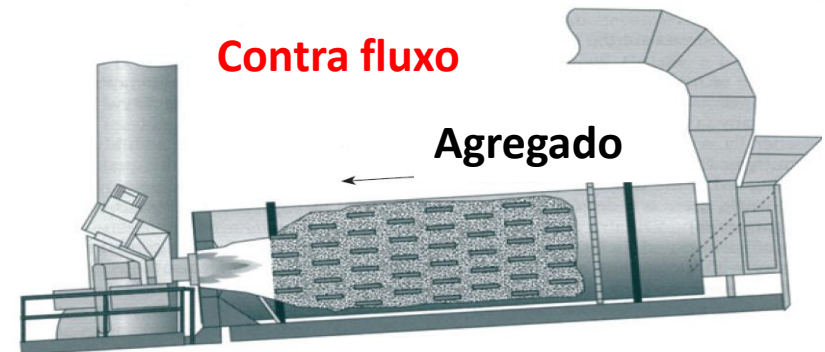
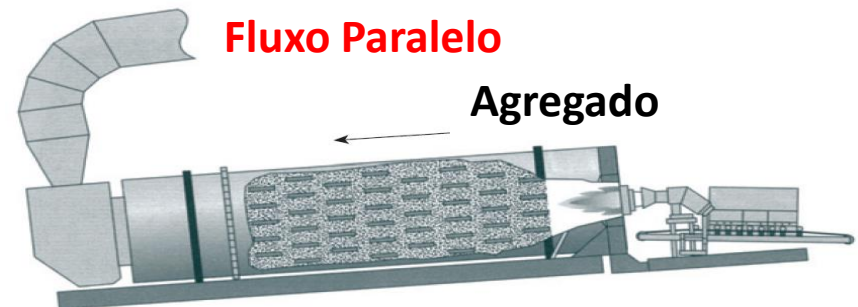
Fonte: Proasfalto (2007)



# Produção em usinas

## 3. Secagem e aquecimento do agregado à temperatura apropriada

Depois de proporcionados e provenientes do silos frios, os agregados são conduzidos ao tambor secador onde são secos e aquecidos.





# Produção em usinas

## 4. Controle e coleta de pó no secador

O ar que flui do secador carrega com ele gases de exaustão e pequena quantidade de partículas de pó do agregado. Essas partículas devem ser recolhidas antes que sejam descarregadas na atmosfera, por meio de um sistema de controle de emissões.



Fonte: Proasfalto (2007)





# Produção em usinas

## 5. Proporcionamento, alimentação e mistura do ligante asfáltico com o agregado aquecido

### *Usina de produção por batelada:*

O agregado seco e aquecido é separado em várias frações granulométricas que são depositadas nos silos quentes.

Frações de agregados predeterminadas são pesadas e estocadas em depósitos, posteriormente são levadas a um misturador onde são misturadas ao ligante asfáltico.

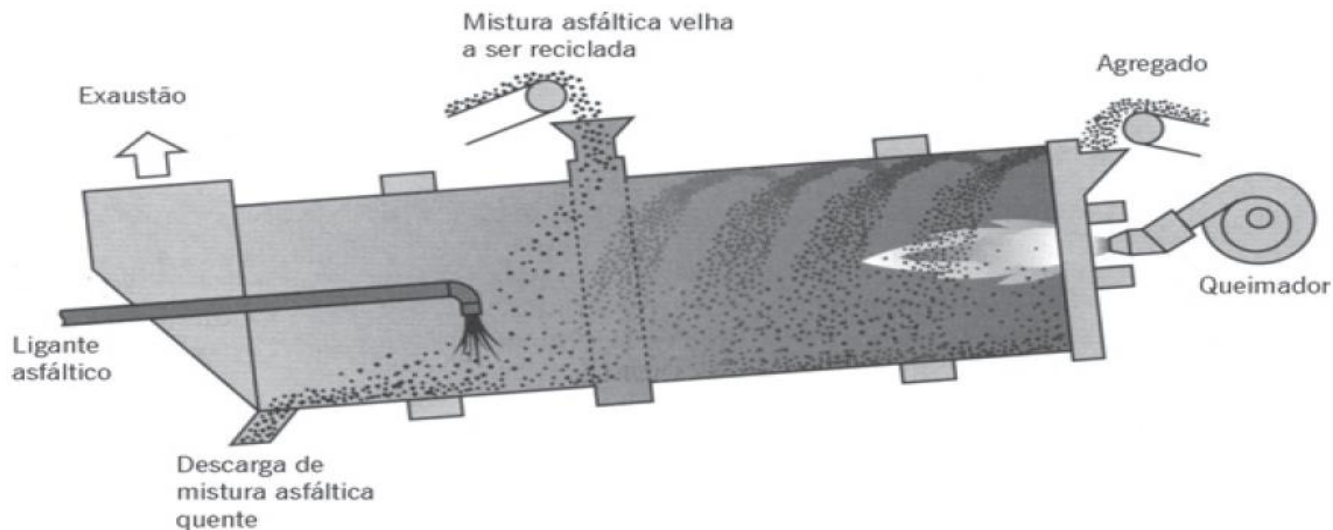




# Produção em usinas

## *Usina de produção contínua:*

A mistura do agregado com o ligante é realizada no próprio tambor secador, após a secagem e aquecimento do agregado.



## **6. Estocagem, distribuição, pesagem e manuseio das misturas**

A maioria das usinas contínuas possui silos de estocagem ou depósitos de controle de produção das misturas asfálticas.



## Transporte e lançamento

As misturas são levadas ao local do pavimento por meio de caminhões transportadores, geralmente com balsa traseira.

O lançamento deve ser em camada de espessura uniforme e seção transversal definida, para compactação posterior. O lançamento é realizado por vibro-acabadoras.





# Compactação

É na fase de compactação que se alcança a densidade, a impermeabilidade e grande parte da suavidade superficial. São realizadas por rolos compactadores.

Rolos compactadores estáticos: a compactação é devida ao seu peso próprio. São três os tipos de rolos compactadores estáticos: de pneus (4x5 rodas ou 3x4 rodas), tandem lisos e três rodas liso (não são usados para produção de misturas asfálticas).





# Compactação

Rolos compactadores vibratórios: são compostos por um ou dois tambores de aço com pesos giratórios, que são responsáveis pela vibração dos tambores e criam forças dinâmicas que somadas ao seu peso próprio aumentam o esforço de compactação.





# Controle

1. **Qualidade do material asfáltico:** avaliada pelos ensaios constantes nos Regulamentos Técnicos da ANP para asfaltos e emulsões asfálticas
2. **Qualidade dos agregados:** feita por meio dos ensaios de Granulometria e abrasão “Los Angeles”
3. **Quantidade de ligante na mistura:** feita pelo ensaio de extração de asfalto, em amostras coletadas na pista para cada 8 horas de trabalho
4. **Controle da graduação da mistura de agregados:** pelo ensaio de granulometria dos agregados resultantes da extração de asfalto (enquadrar nas especificações)



## Controle

5. ***Controle das características Marshall da mistura:*** normalmente exigem-se 2 ensaios Marshall com 3 corpos de prova cada, por dia de produção, sendo a massa asfáltica retirada depois da acabadora e antes da rolagem. A estabilidade, a fluência e os demais parâmetros devem ser comparados aos valores obtidos na dosagem.
  
6. ***Controle da compactação:*** pode ser feita por meio de anéis metálicos (10 cm de diâmetro x altura do pavimento – 5cm). Após a compressão, mede-se a densidade aparente e compara-se com a de projeto. Também pode-se comparar a densidade aparente de projeto com a de corpos-de-prova extraídos após a compactação fazendo uso de sondas rotativas.



## Controle

7. **Controle da temperatura:** deverá ser controlada a temperatura do agregado no silo quente da usina, do ligante na usina, da mistura asfáltica na saída do misturador da usina e da mistura no momento do espalhamento e início da rolagem
8. **Controle da espessura:** permite-se uma variação de  $\pm 10\%$  da espessura de projeto
9. **Controle do acabamento da superfície:** permite-se uma tolerância de 0,5 cm entre dois pontos