



**WORKSHOP:  
INOVAÇÕES NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**

*Aplicação de materiais reciclados na  
pavimentação*

*Eng. Valmir Bonfim, MSc*

## *Usuais:*

- Materiais granulares
- Materiais cimentados
- Materiais asfálticos

## *Inovação tecnológica:*

- ***Materiais estabilizados com betume***
- ***Materiais de demolição***

## *Usuais:*

- Materiais granulares
- Materiais cimentados
- Materiais asfálticos

## *Inovação tecnológica:*

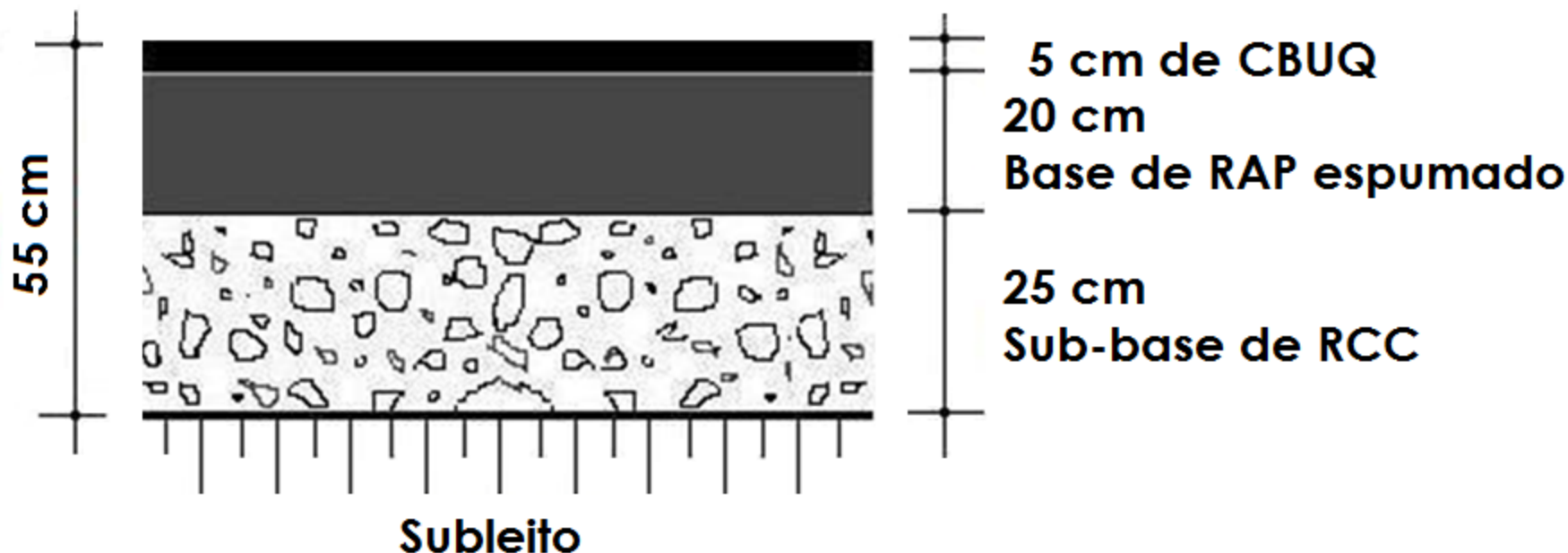
- ***Materiais estabilizados com betume***
- ***Materiais de demolição***

No Brasil: introdução de projetos com substituição de camadas tradicionais por camada de BSM

# Exemplos de projetos contemplando materiais reciclados

## *Av. Sapopemba*

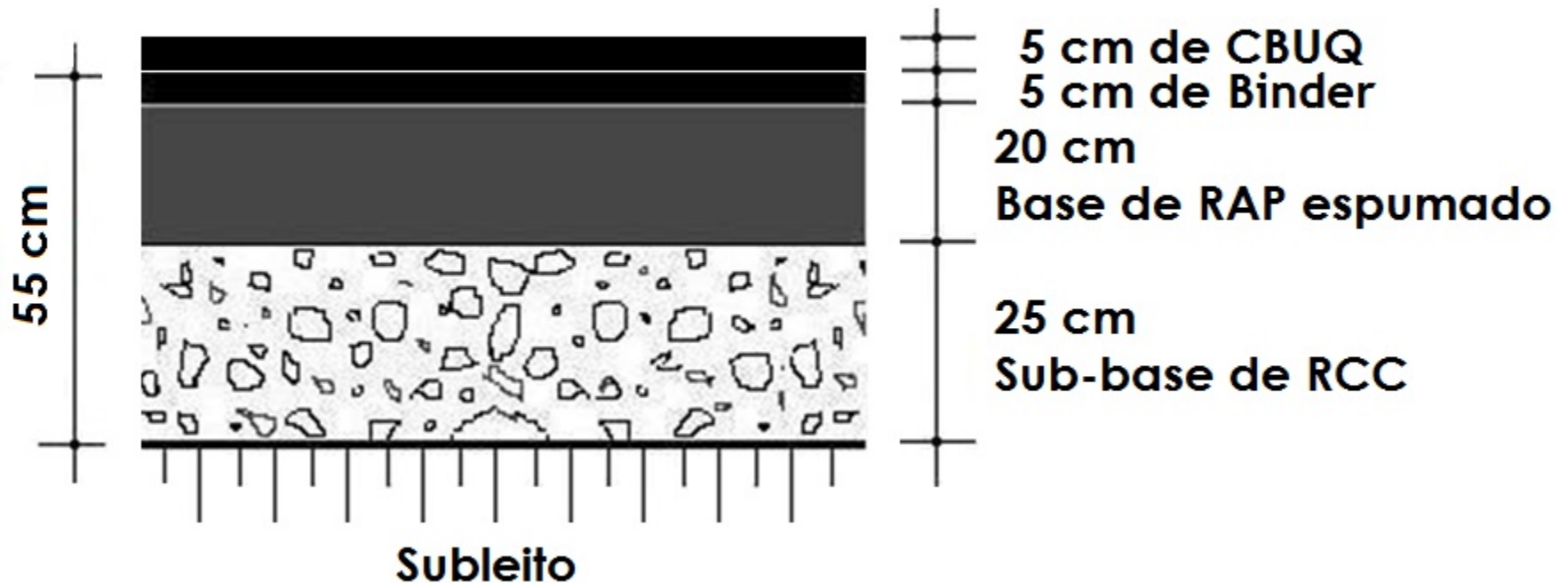
### Seção transversal



# Exemplos de projetos contemplando materiais reciclados

## *Av. Alexandre Mackenzie*

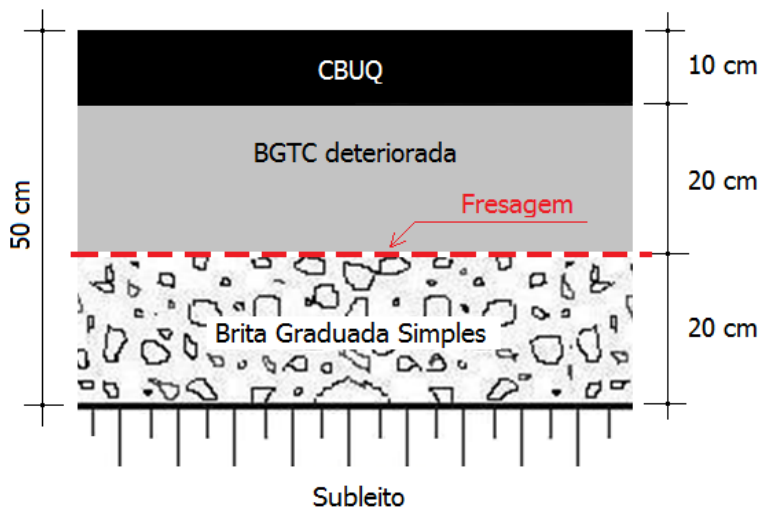
### Seção transversal



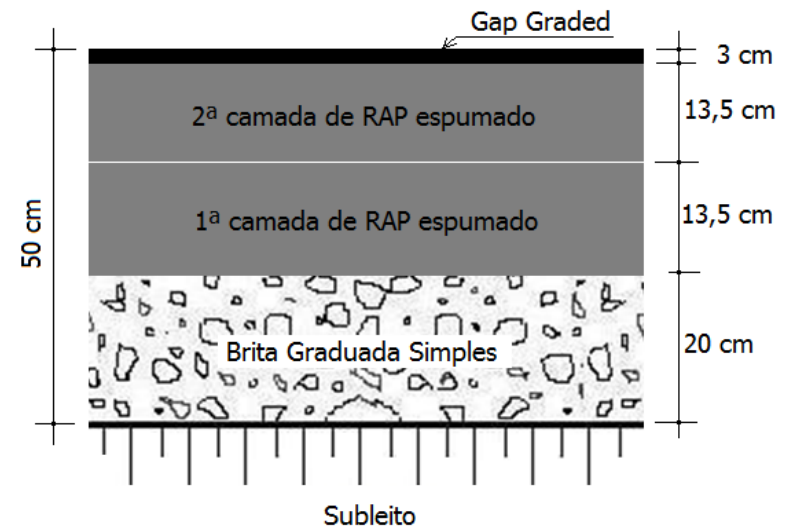
# Exemplos de projetos contemplando materiais reciclados

## Rodovia Ayrton Senna

Seção transversal existente



Seção transversal após a execução



# *Resíduos sólidos passíveis de Reciclagem com Espuma de Asfalto*

## ***RAP: Reclaimad Asphalt Pavement***

*Material resultante da fresagem do pavimento*

***RAP ESPUMADO***

## ***RCC: Resíduo da Construção Civil***

***RCC ESPUMADO (em estudos)***

*CDW = Construction and Demolition Waste*

*RCD = Resíduo da Construção e Demolição*

***Além dos materiais recicláveis, pode-se  
espumar materiais britados novos***

***BGS ESPUMADA***

# Resíduos sólidos: como utilizar?

## *Reciclagem “in situ”*



## *Reciclagem em usina*





# *Evolução do processo de reciclagem*

A resolução **CONAMA nº 307 de 2002** classificou os **resíduos sólidos da construção civil passíveis de utilização na pavimentação**, como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, rocha, argamassas, telhas, pavimentos asfálticos, entre outros.

**PMSP ETS-01/2003** – Camadas de reforço do sub-leito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil.

## **LEI Nº 14.015, DE 28 DE JUNHO DE 2005**

para a execução dos serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos **resíduos de misturas asfálticas extraídas do pavimento urbano**.

## **DECRETO Nº 48.075, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2006**

Dispõe sobre a obrigatoriedade da utilização de **agregados reciclados**, oriundos de resíduos sólidos da constr. civil, em obras e serviços de pavimentação das vias públicas.

## **LEI Nº 14.803, DE 26 DE JUNHO DE 2008**

Dispõe sobre o Plano Integrado de **Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil** e Resíduos Volumosos e seus componentes, o Programa Municipal de Gerenciamento e Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil conforme previstos na Resolução CONAMA nº 307/2002, disciplina a ação dos geradores e transportadores destes resíduos no âmbito do Sistema de Limpeza Urbana do Município de São Paulo e dá outras providências.

**PMSP ETS-02/2009** – Base de Material Fresado com Espuma de Asfalto

# *RAP* – Reclaimad Asphalt Pavement



*RAP: é o material resultante da fresagem do pavimento, que significa o desbaste do pavimento em espessuras predeterminadas em projeto e realizados com auxílio de máquinas fresadoras.*



# RAP – Reclaimad Asphalt Pavement

*Para se ter uma idéia mais precisa desse volume, um levantamento recente realizado nos últimos anos na cidade de São Paulo, nos mostra uma área recapeada de 500.000 m<sup>2</sup>/mês, o que significa aproximadamente, a um volume de 20.000 m<sup>3</sup>.*

*Com a introdução da usina de reciclagem KMA 200 no Brasil, esse material começou a ser reciclado, tanto com emulsão quanto com espuma de asfalto, minimizando custos, a exploração de novas jazidas, aumentando a vida útil dos aterros de inertes e promovendo a pavimentação sustentável.*

***É o corte ou desbaste de uma ou mais camadas do pavimento, com espessura pré-determinada, por meio de processo mecânico realizado a frio, e empregado como intervenção visando a restauração e recuperação de pavimentos.***



# Fresagem do pavimento

Aeroporto de Cumbica - Fresagem na espessura de 25 cm



# Como se fazia antes da fresadora?

- ✓ Escarificação e/ou demolição do pavimento
- ✓ Inerente a retirada de toda a camada coesa (pedaços de pavimento)





# ***Britagem do material***

Granulometria passível de utilização



***Pavimentos demolidos ou RCD  
são britados em equipamentos  
fixos ou móveis***

# ***Reciclagem de resíduos sólidos com espuma de asfalto***

## ***Tópicos da apresentação:***

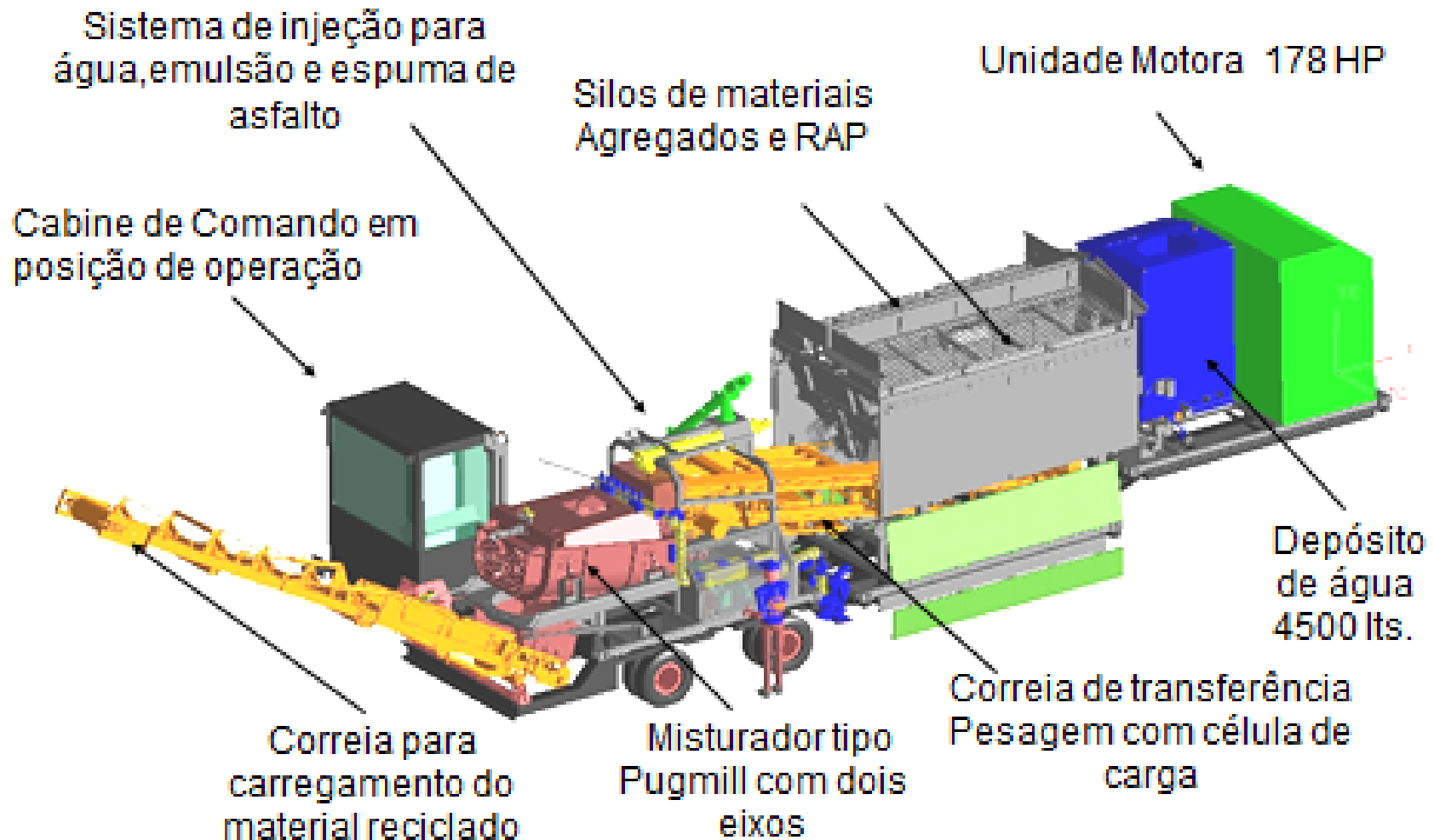
- ***características da usina KMA;***
- ***espuma de asfalto;***
- ***critérios de falha da tecnologia;***
- ***ensaios laboratoriais.***



# Usina KMA 220 (Wirtgen)



# Desenho esquemático da usina KMA



É o estado temporário do CAP, que aquecido a aproximadamente 170°C, se expande quando em contato com o ar e água na temperatura ambiente, iniciando-se o processo no interior das câmaras de expansão.

***Dr. Ladis Csanyi (final da década de 50)***

*Bituminous Research Laboratory of the  
Engineering Experiment Station*

*IOWA STATE UNIVERSITY*

***1968 – Mobil Oil of Austrália adquiriu a patente***

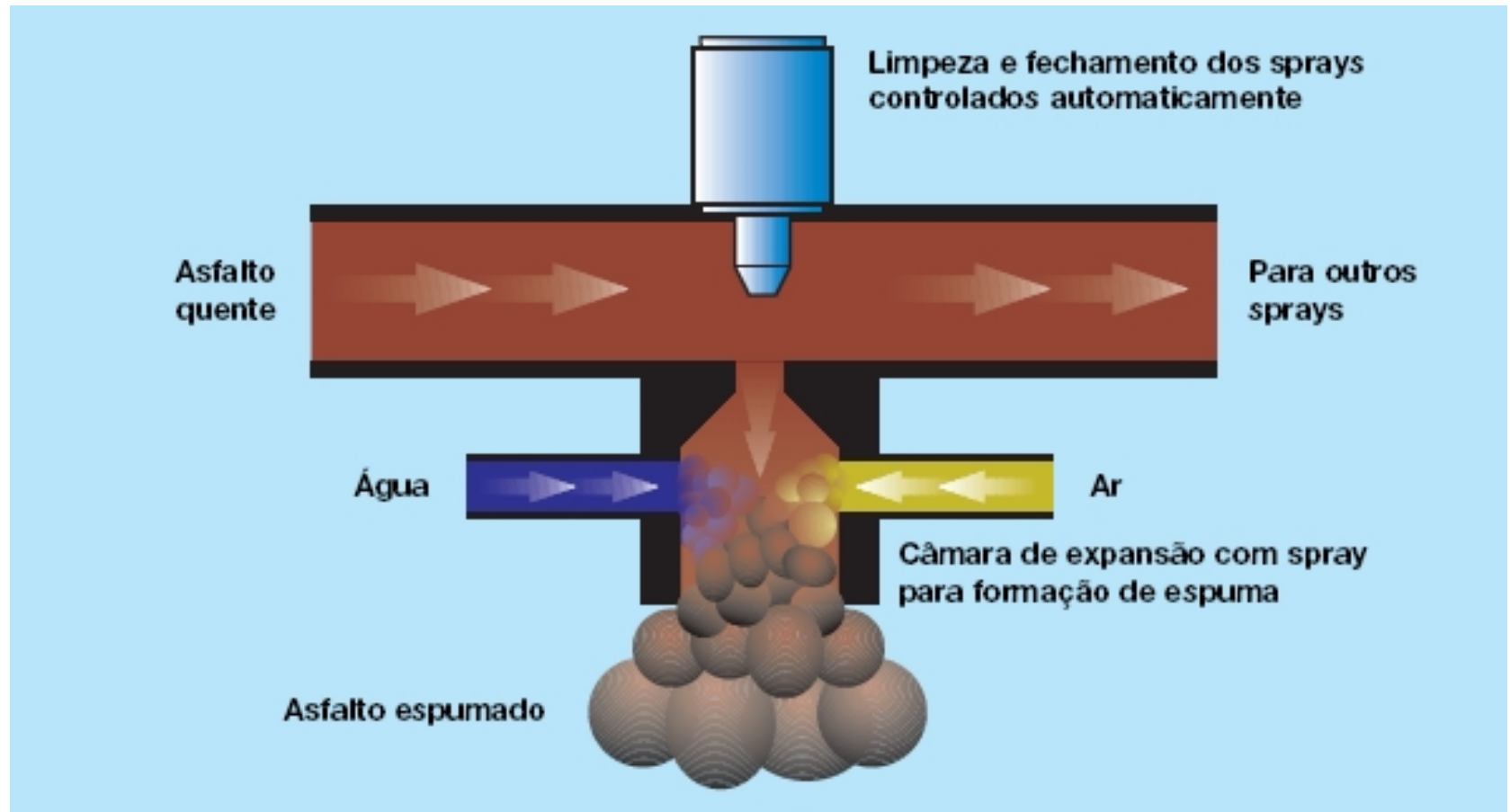
***1990 – Expirada a patente***

# *Afinal, o que é RAP espumado?*

***RAP*** = *Reclaimed Asphalt Pavement*  
= *material fresado*

***RAP espumado*** = *é o produto da reciclagem do material fresado com espuma de asfalto.*

# Câmara de expansão

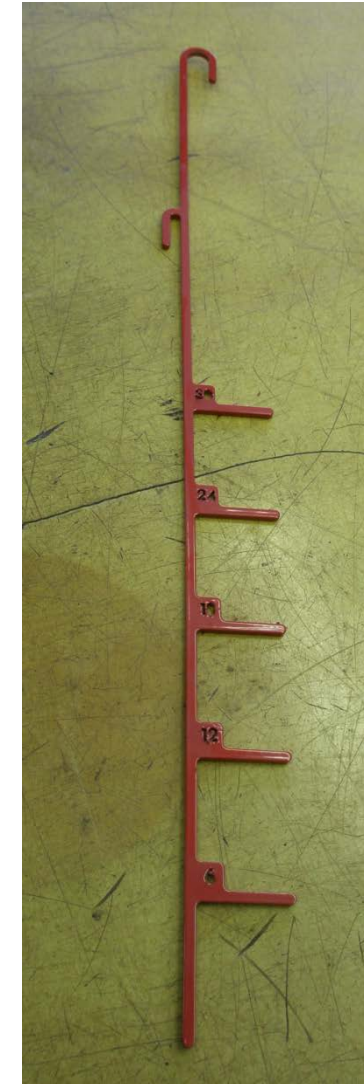


*Processo de formação da espuma de asfalto  
- A usina KMA possui 7 câmaras de expansão*

# Controle de qualidade da espuma de asfalto

- **Taxa de expansão**
- **Meia-vida**

**Meia-vida** é o tempo medido entre a expansão máxima da espuma e a metade deste valor.



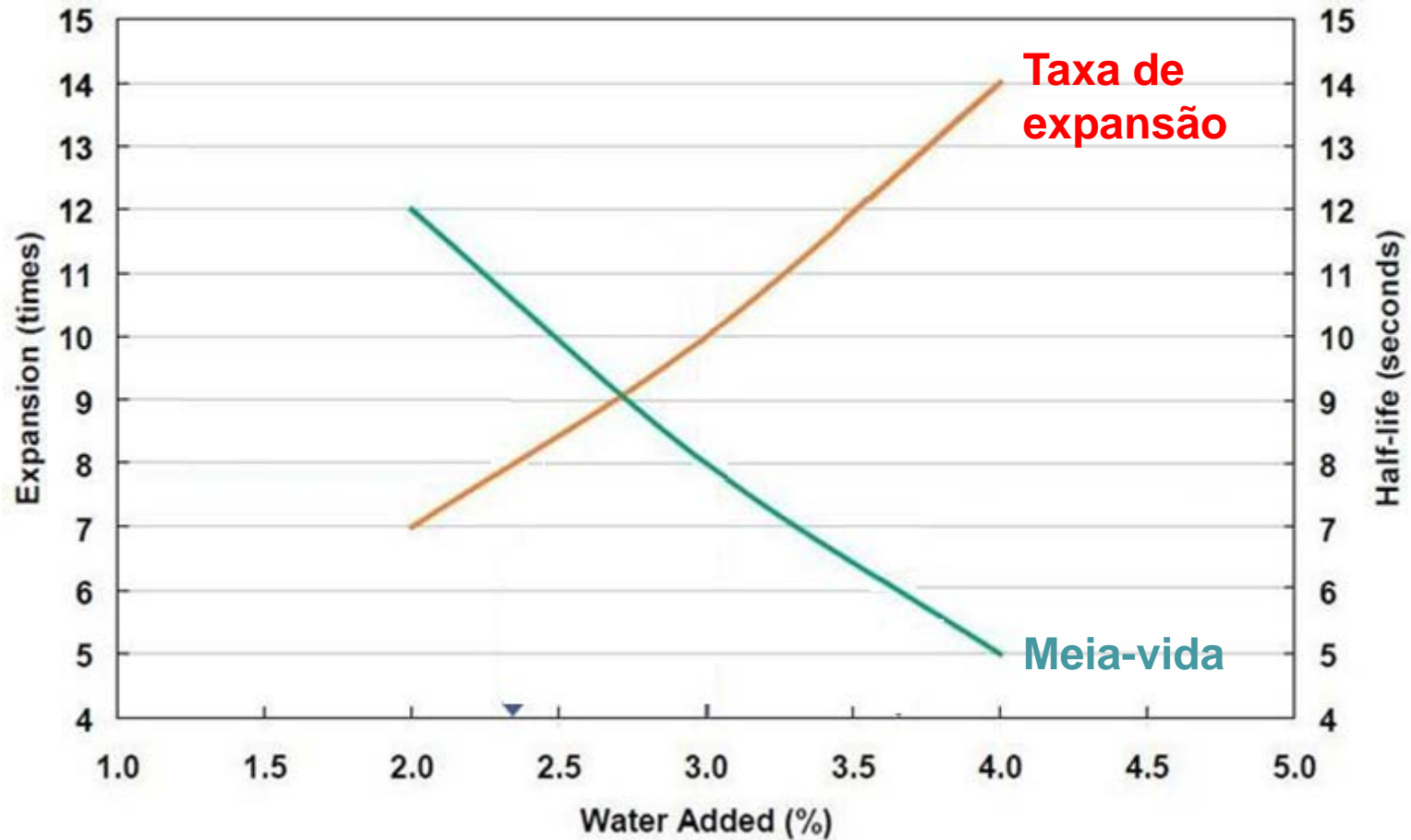
# *Laboratório de espuma de asfalto*





# Determinação do percentual de água

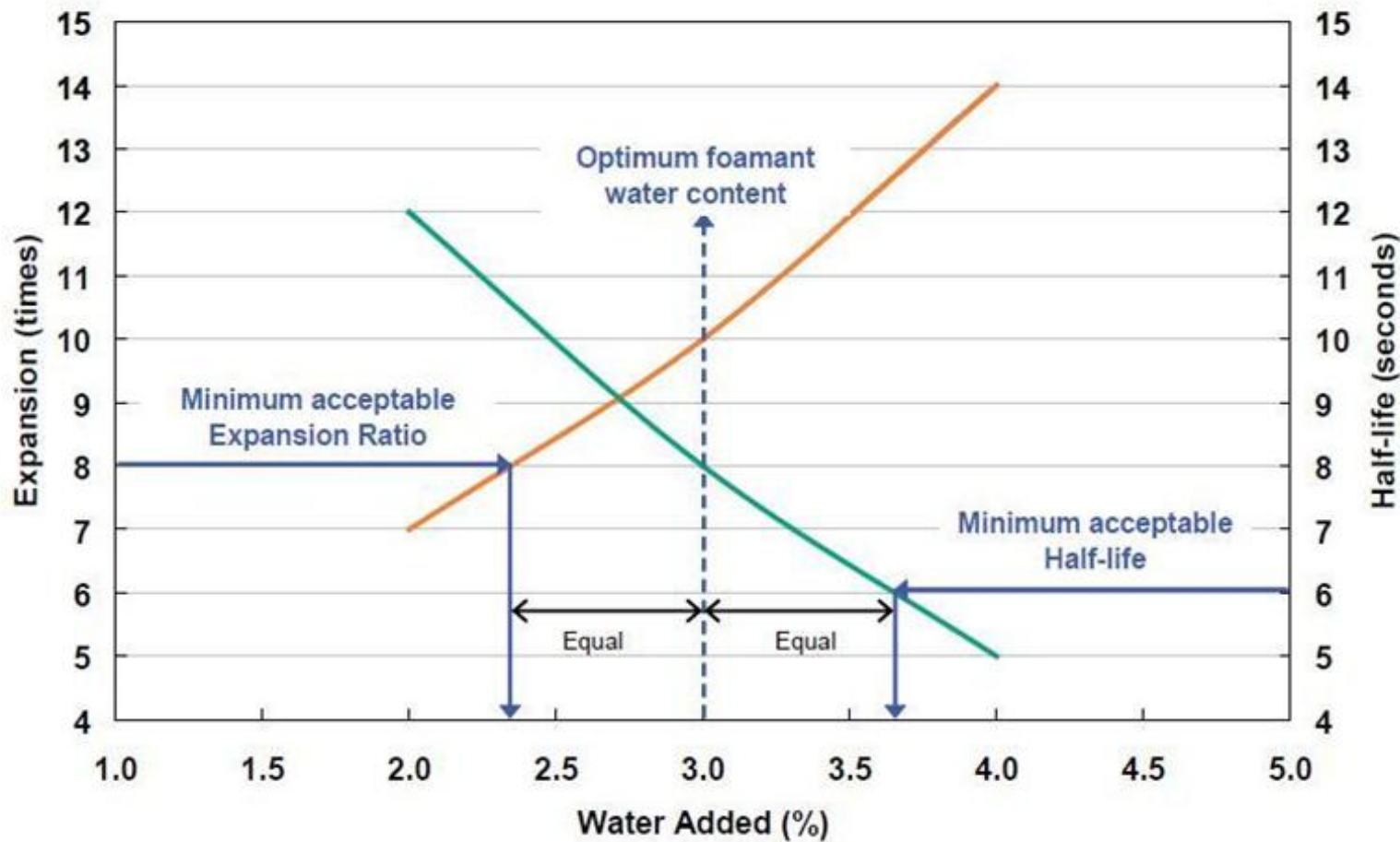
Fonte: TG-2 - Bitumen Stabilized Materials



Determination of Optimum Foamant Water Content

# Determinação do percentual de água

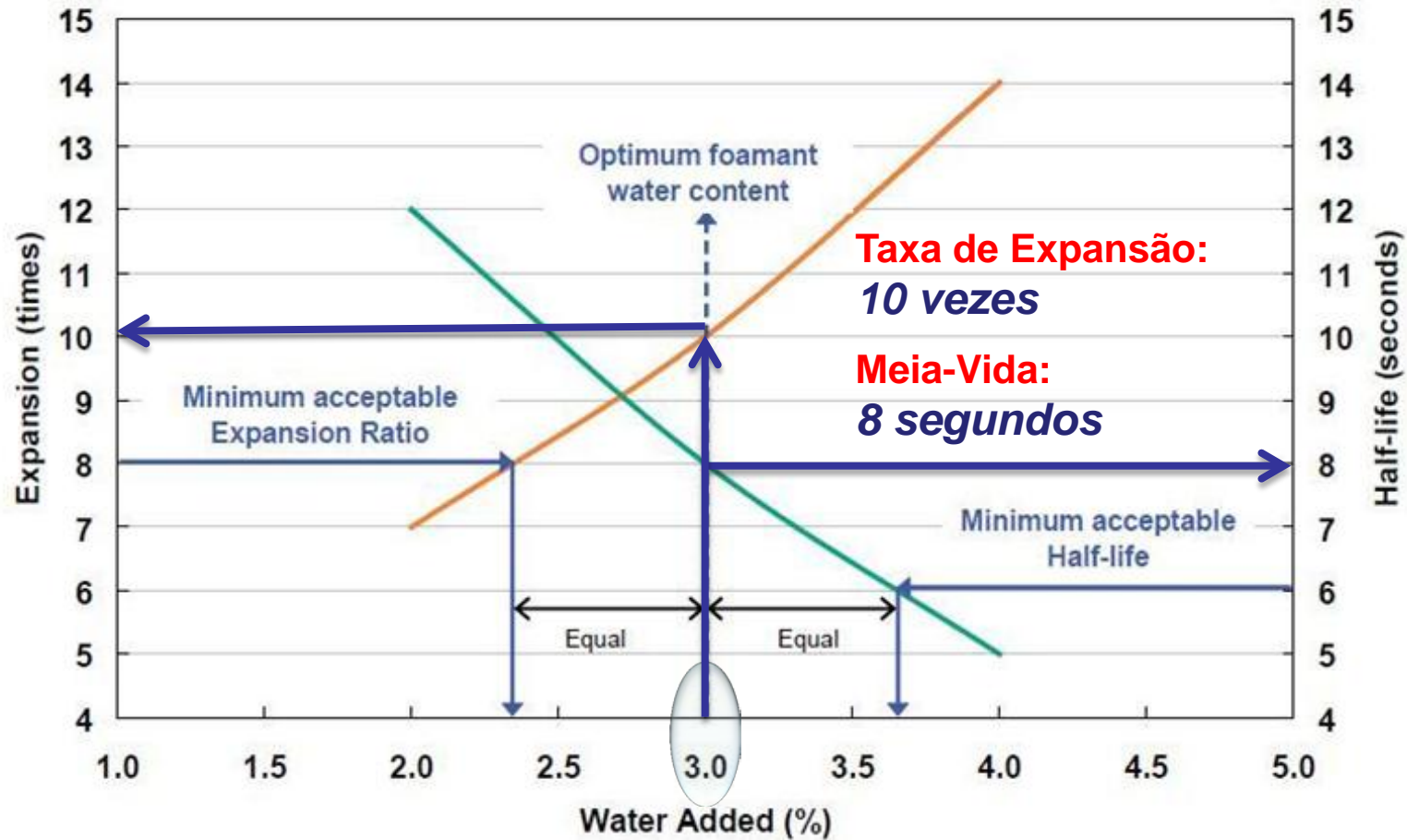
Fonte: TG-2 - Bitumen Stabilized Materials



Determination of Optimum Foamant Water Content

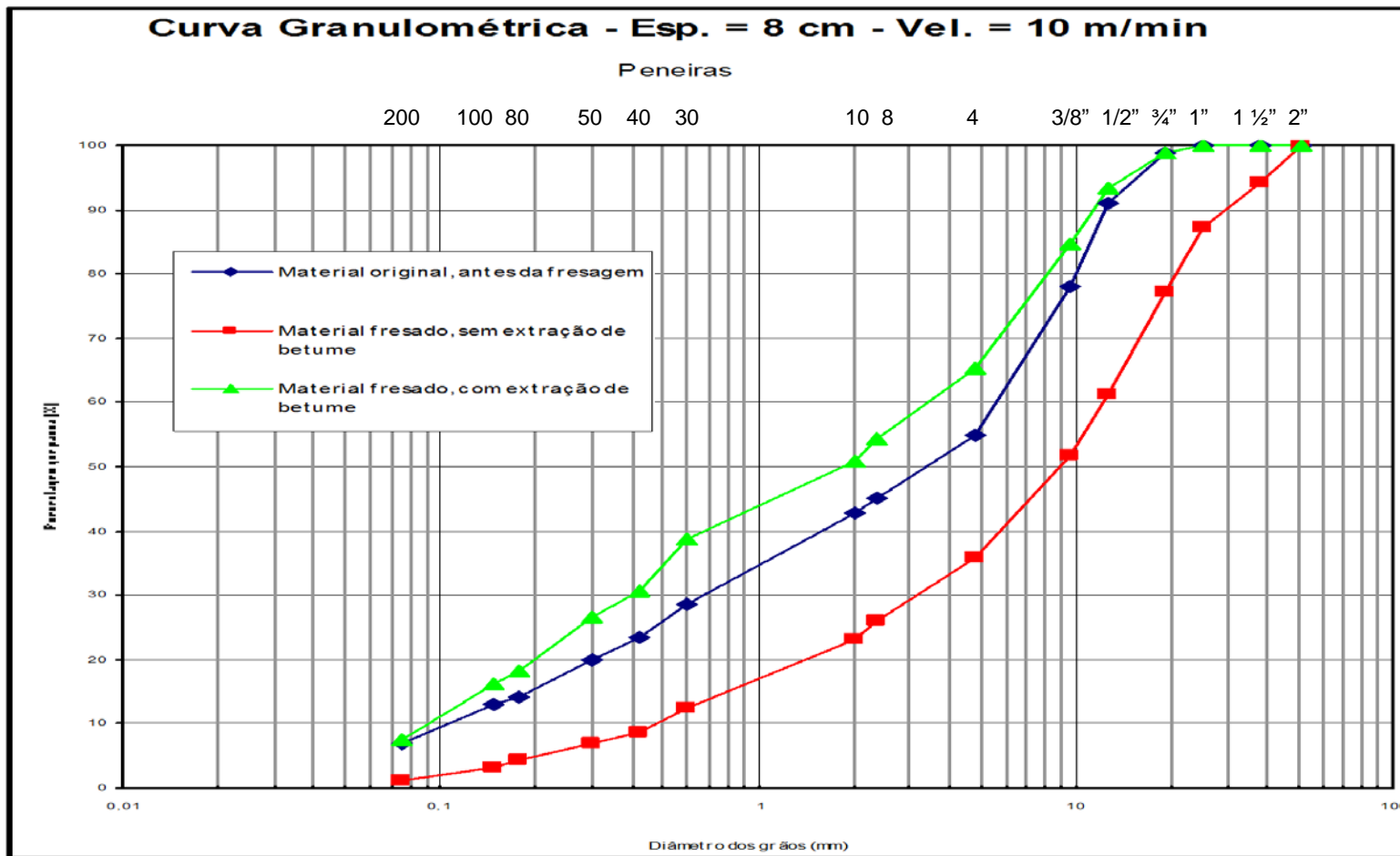
# Determinação do percentual de água

Fonte: TG-2 - Bitumen Stabilized Materials



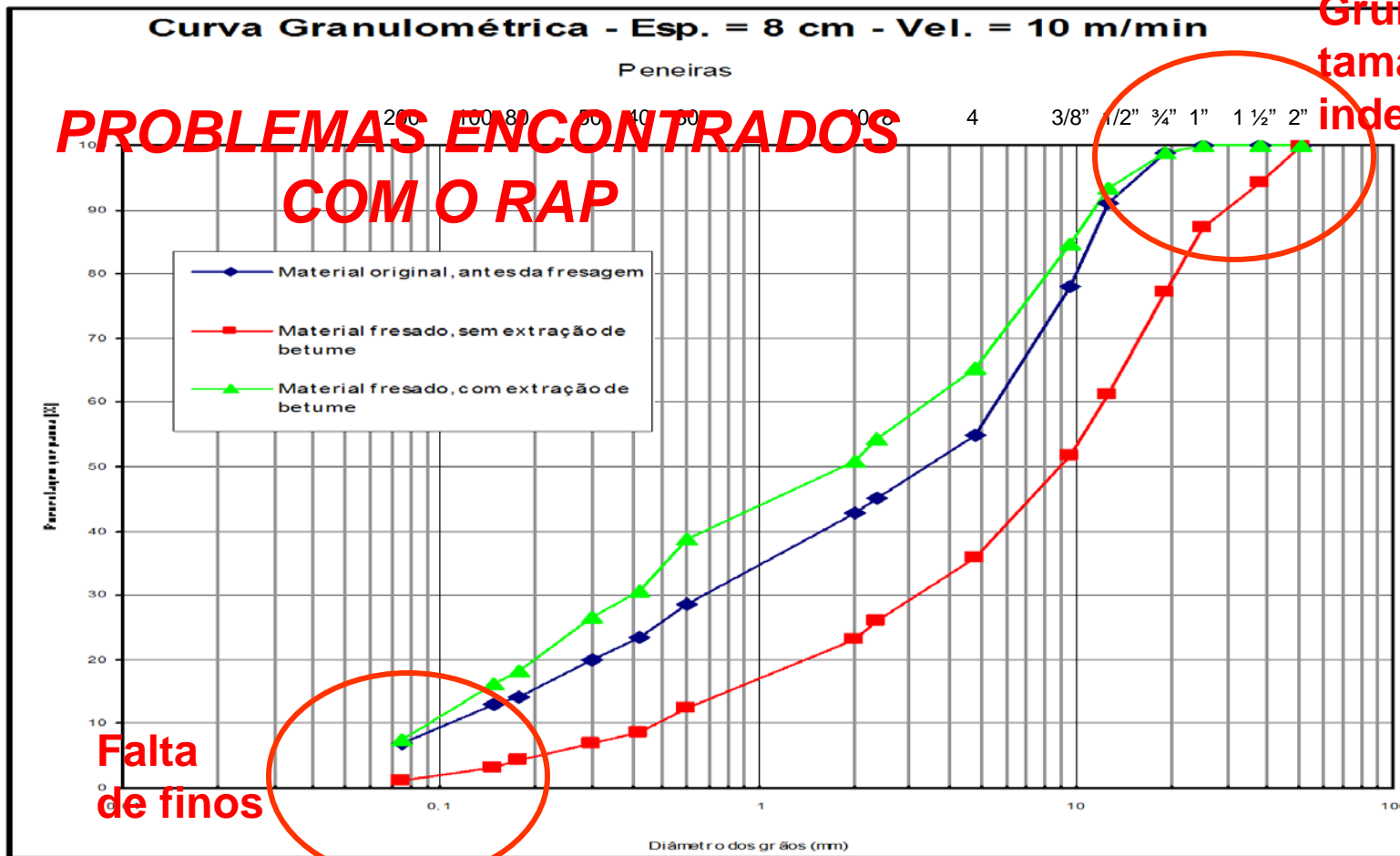
Determination of Optimum Foamant Water Content

# Análise granulométrica do material fresado



Fonte: Livro **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**

# Análise granulométrica do material fresado



Fonte: Livro Fresagem de Pavimentos Asfálticos

**RAP**  
**Grumo resultante da fresagem**

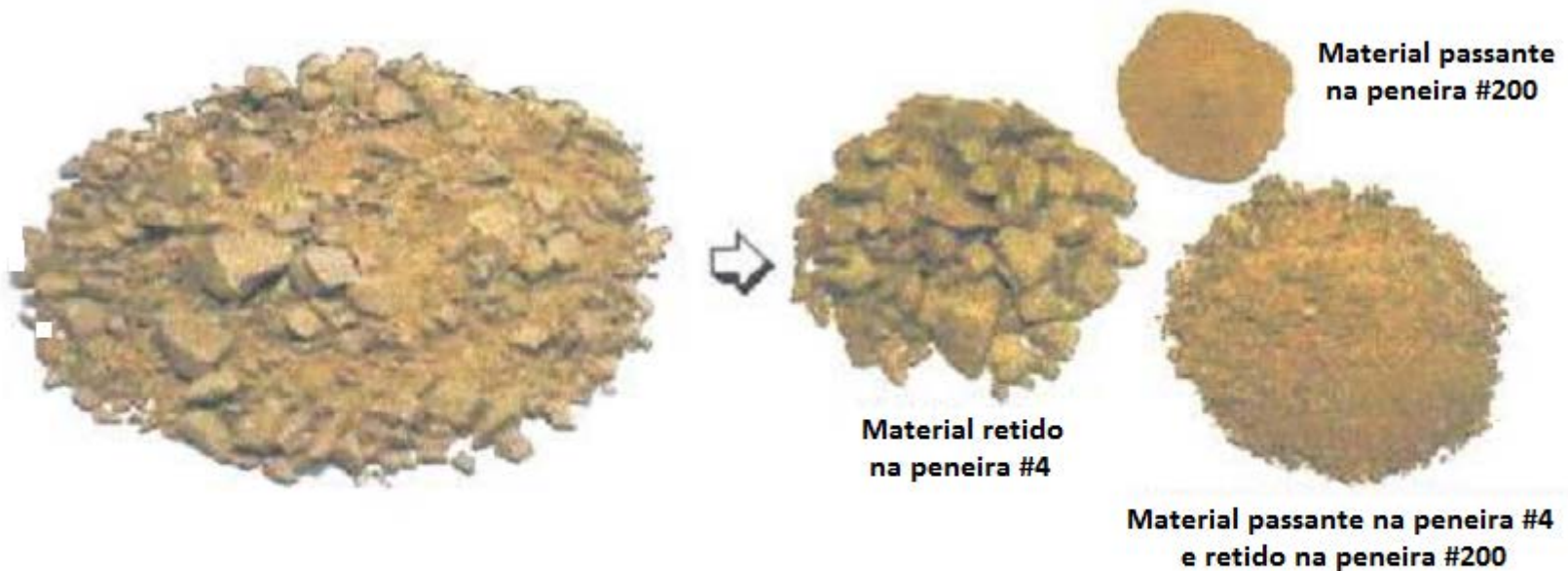


**Grumo resultante da fresagem na espessura de 5 cm**



# RAP

## Extração do betume do grumo



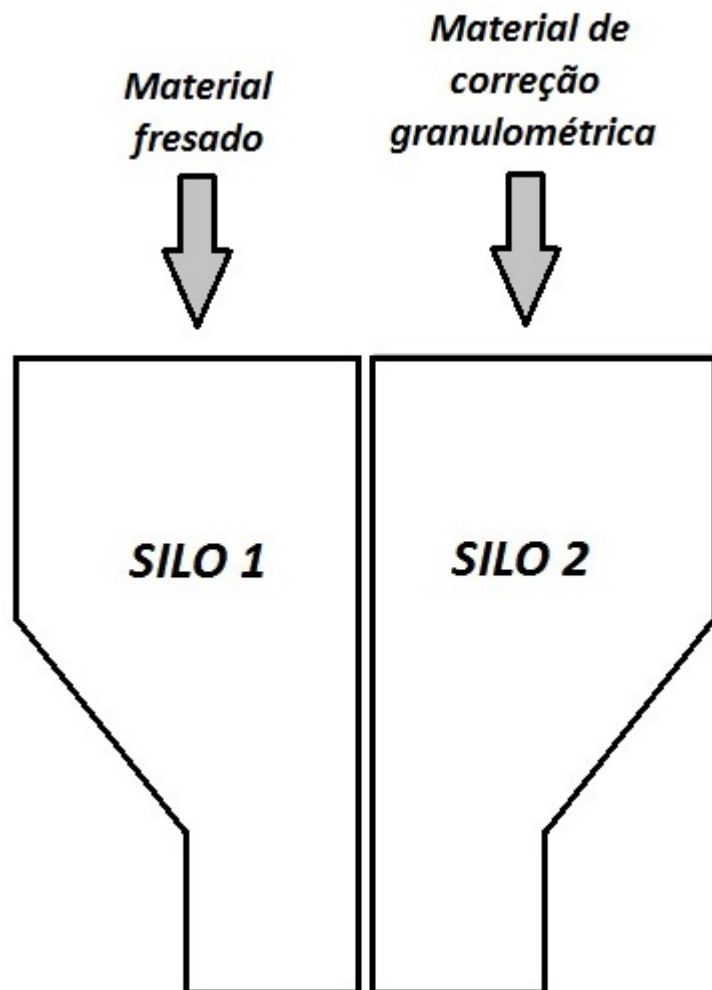
Componentes do grumo após a extração do betume e,  
na sequência, dividido em três partes

# *Peneira na entrada dos silos da usina KMA*





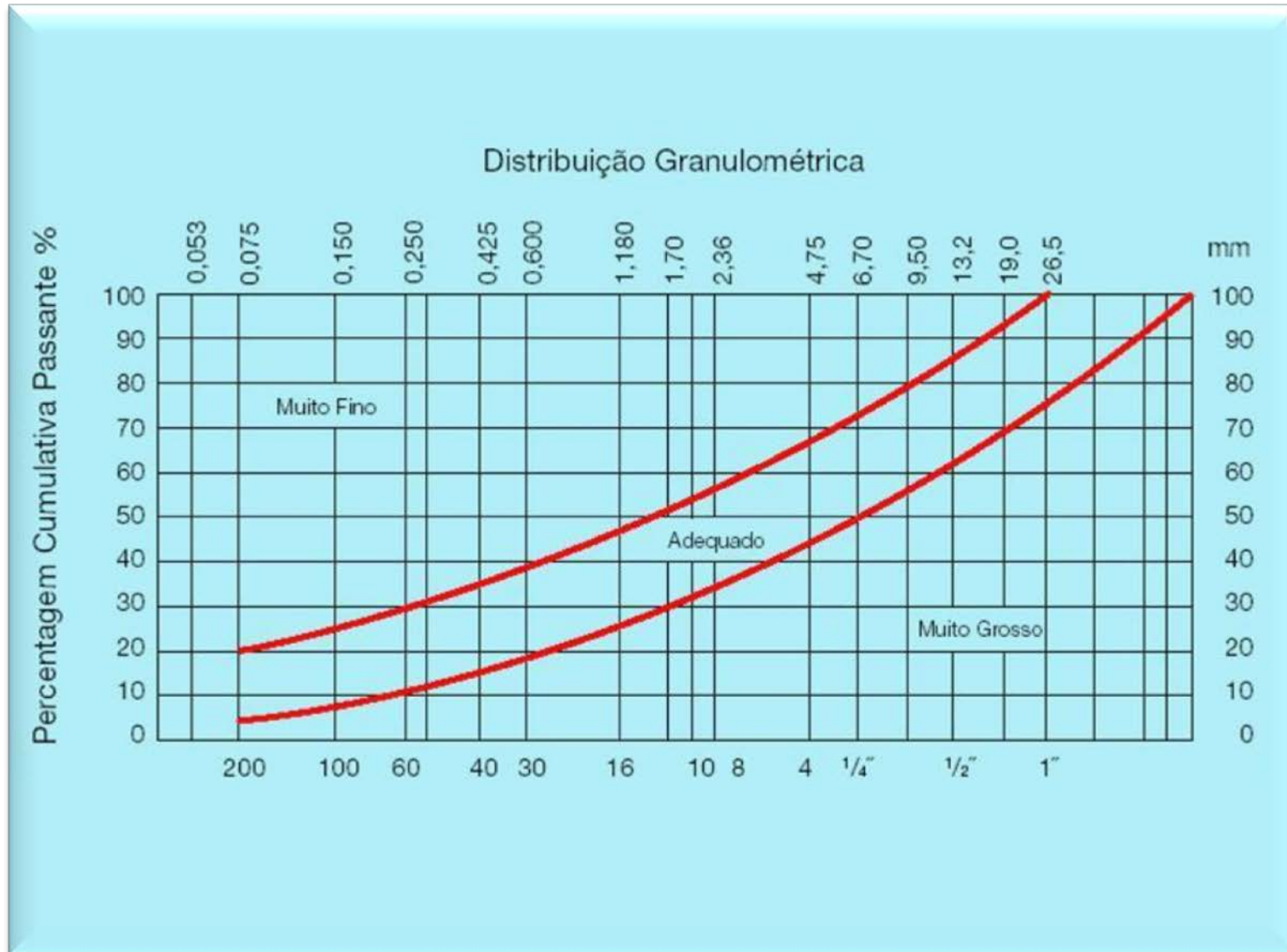
## 2 silos de entrada de materiais



### **Usina KMA**

- 2 silos para pétreos
- entrada de filer
- entrada água
- sistema para espuma de asfalto
- sistema para emulsão

# Faixa de reciclagem da Wirtgen



## *Etapas para projeto de dosagem*

- *Coleta dos materiais (recicláveis e novos)*
- *Determinação das curvas granulométricas*
- *Elaboração do projeto de dosagem*
- *Determinação do teor ótimo de CAP*

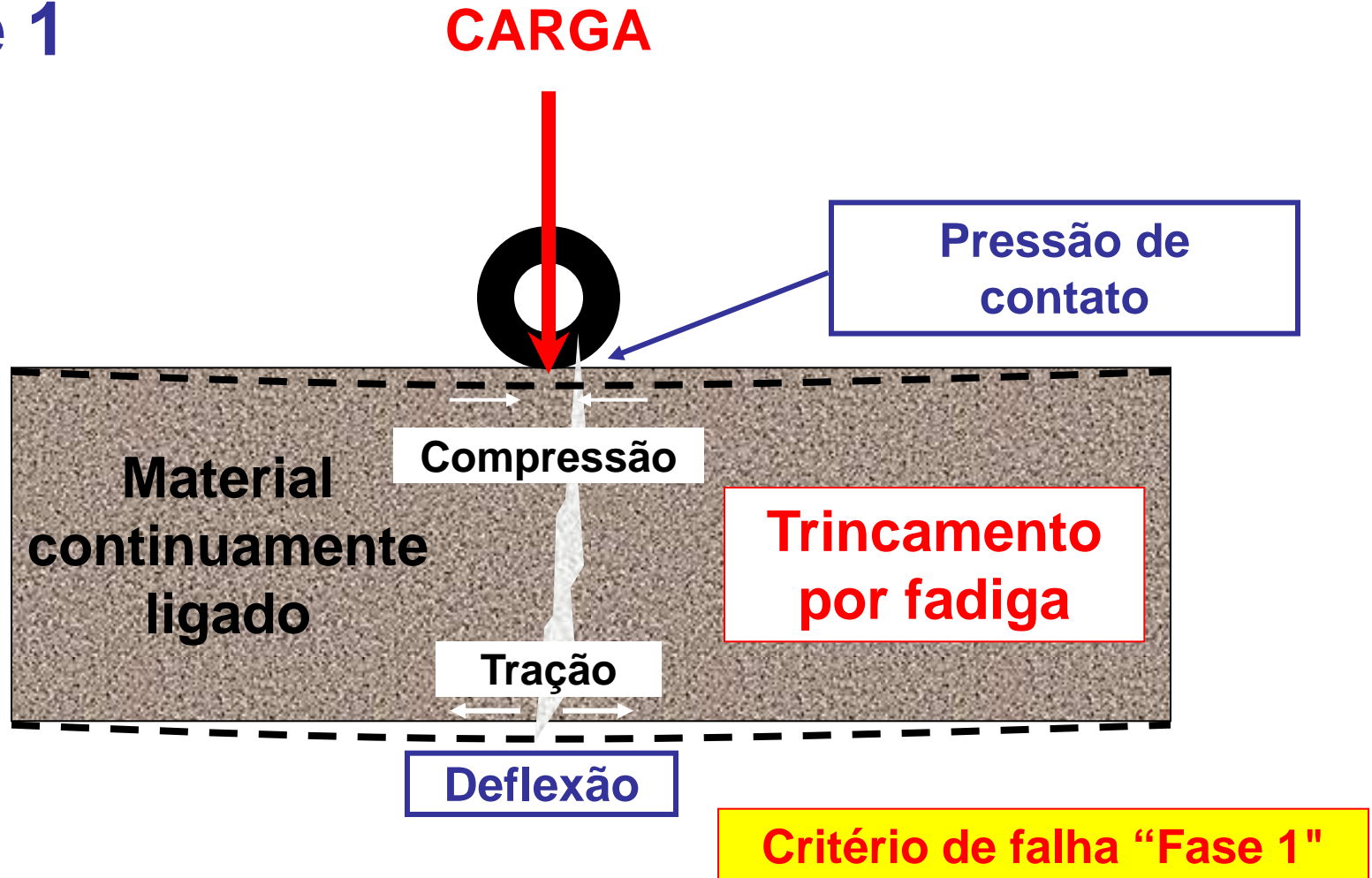
*Qual a vantagem na utilização dos BSM's ?*



***A camada não trinca!!!***

# Camada cimentada sob carga

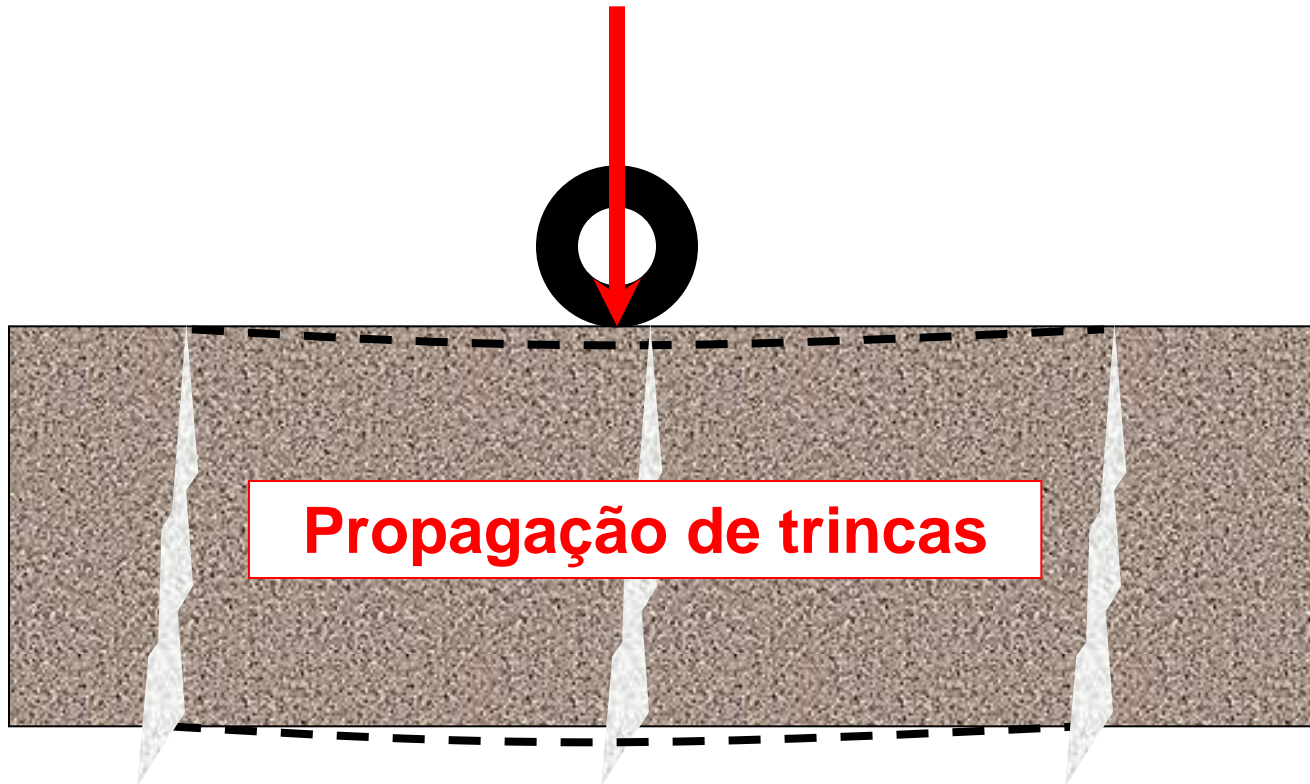
## Fase 1



# Camada cimentada sob carga

## Fase 2

**CARGA**

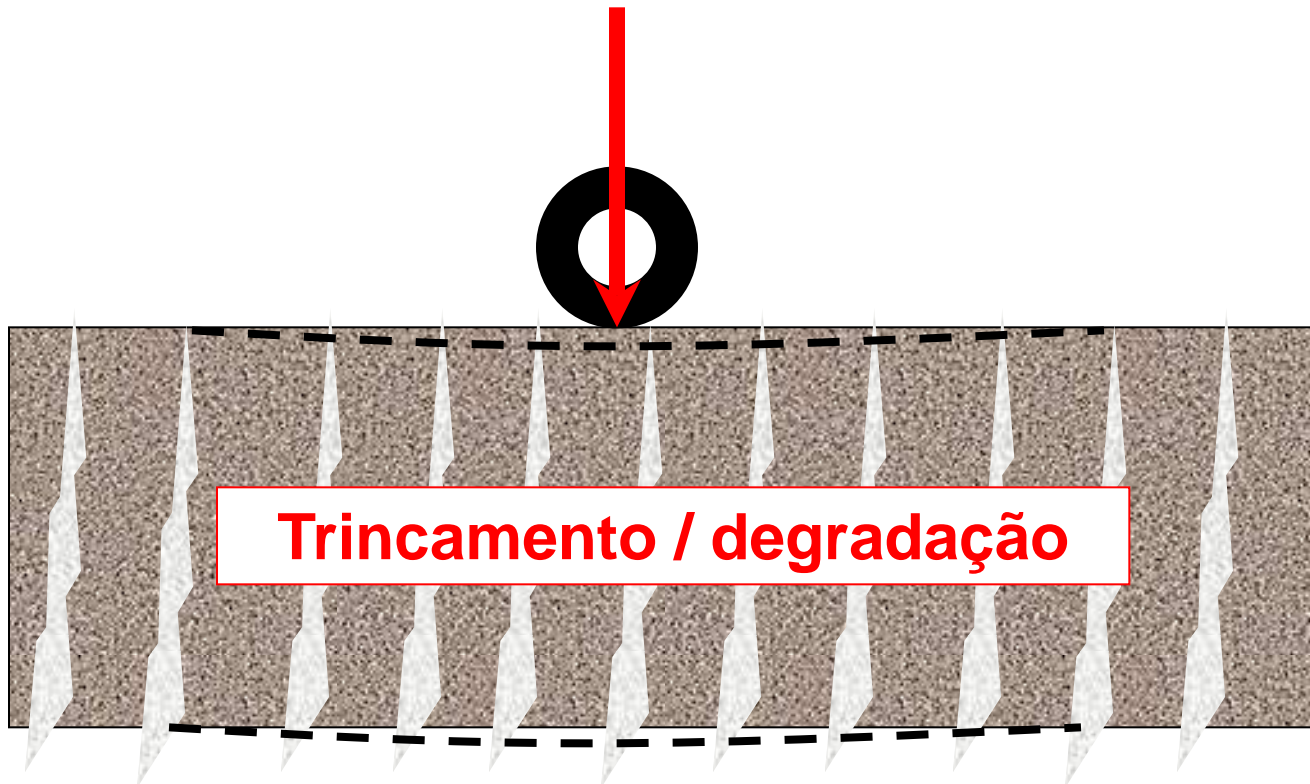


**“Fase de fadiga efetivo”**

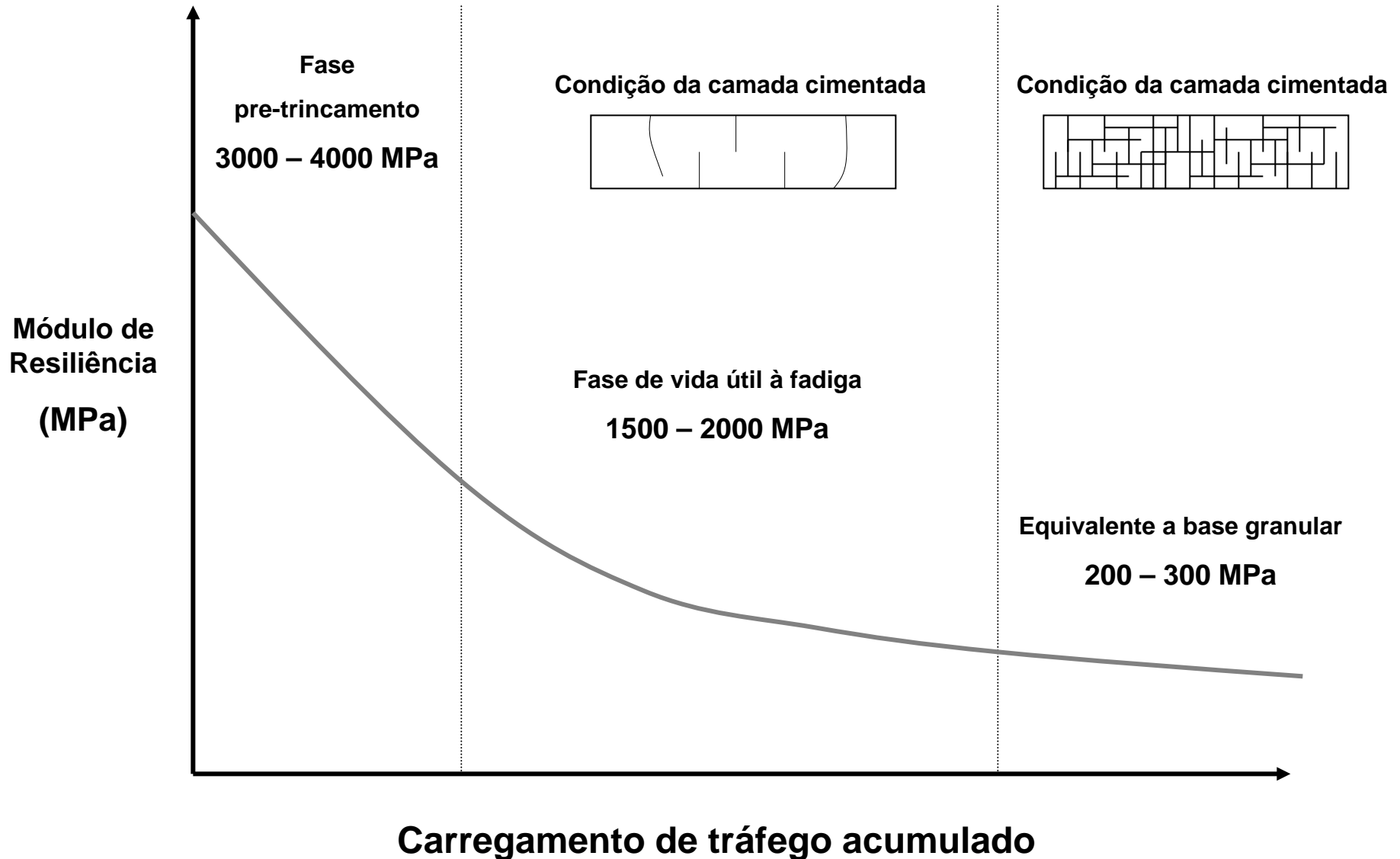
# Camada cimentada sob carga

## Fase 3

**CARGA**



# Evolução do trincamento de camadas tratadas com cimento

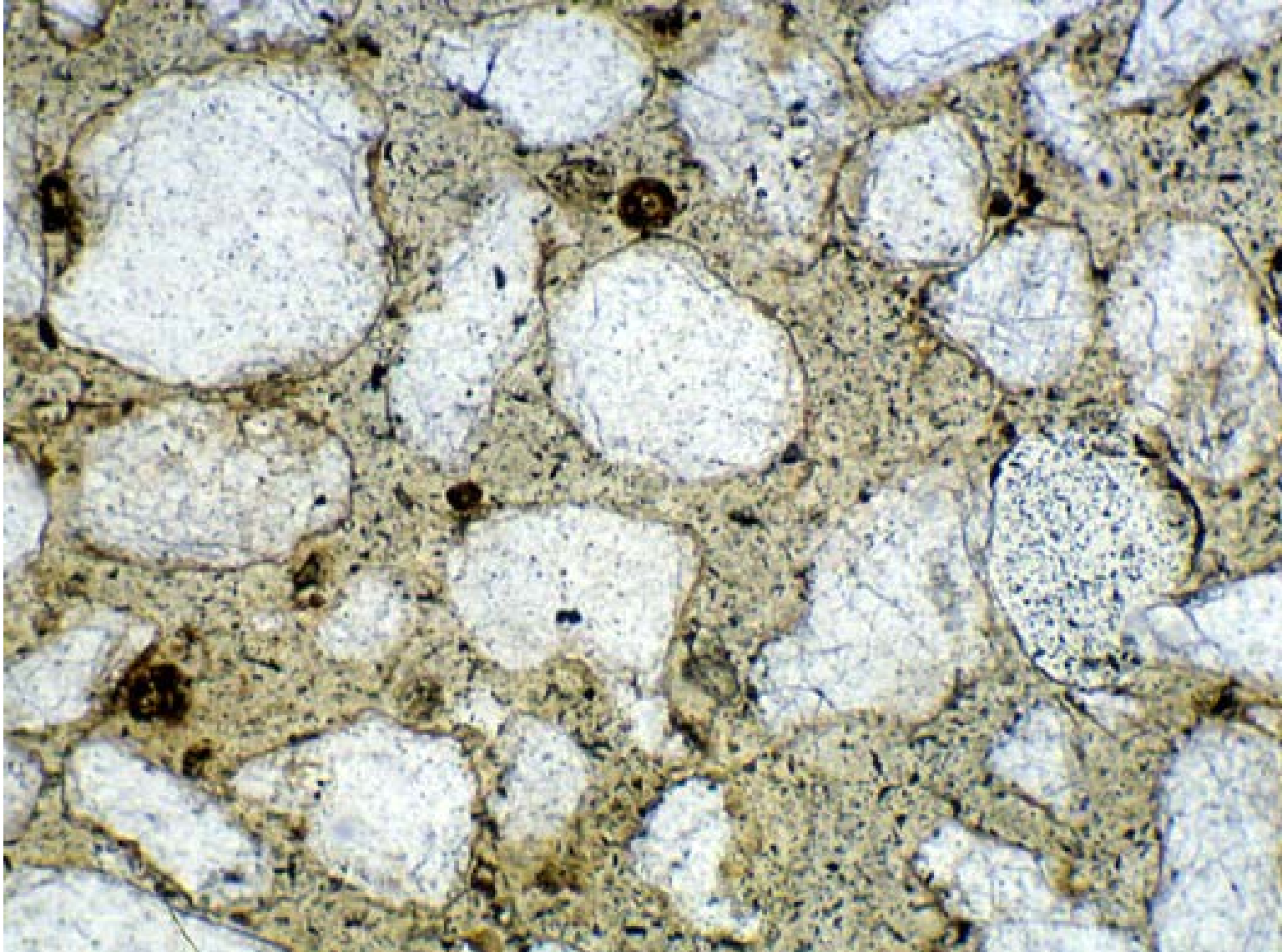




# *Estabilização com cimento*

- Introduz certa rigidez no pavimento flexível;
- Inevitável o trincamento por retração;
- Trincamento por fadiga com o tráfego;
- Necessário aguardar o tempo de cura.

***BMS (Bitumen Stabilised Material)***  
***(Material Estabilizado com Betume)***

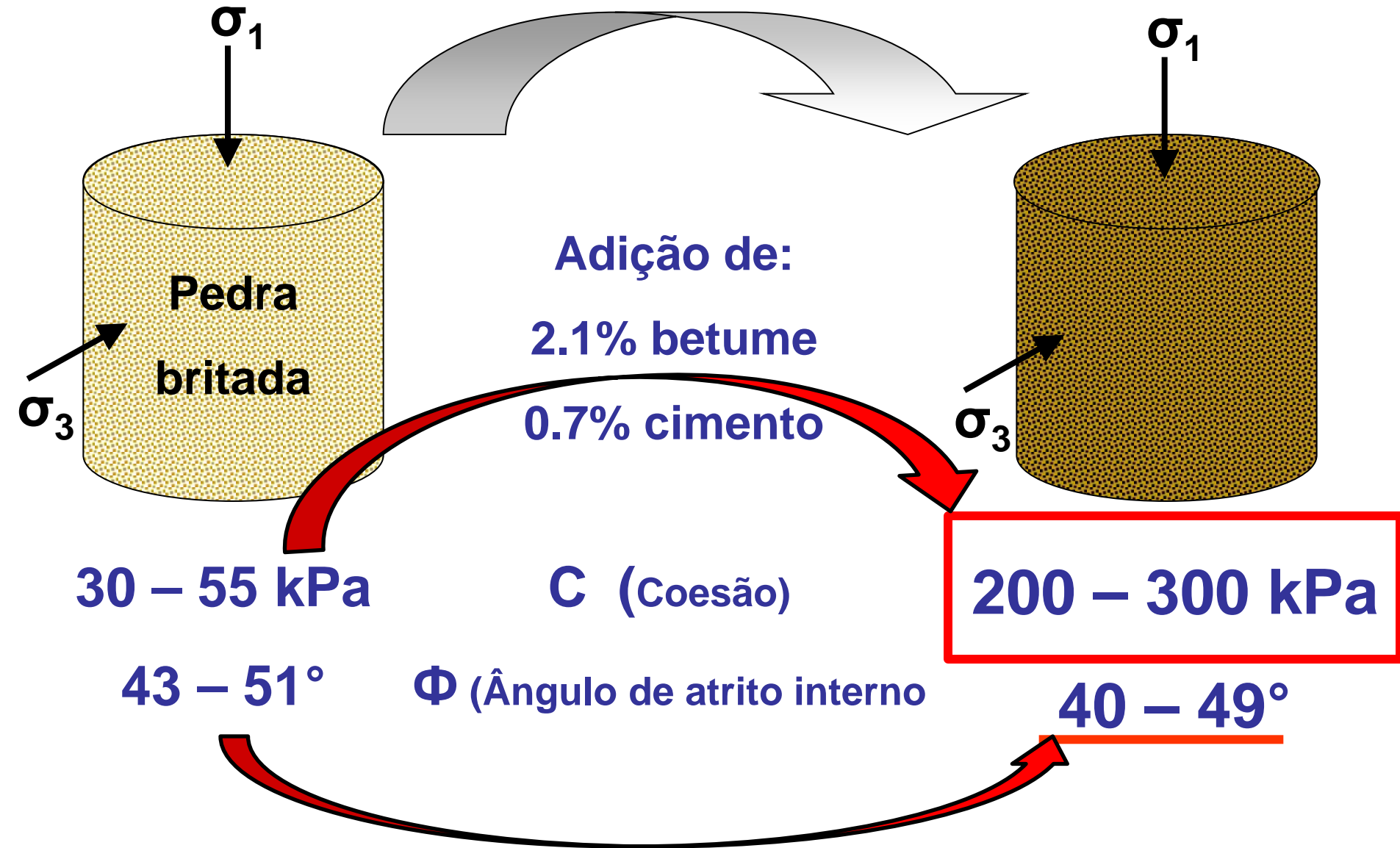


***BMS (Bitumen Stabilised Material)***  
***(Material Estabilizado com Betume)***



**MATERIAL LIGADO NÃO-CONTINUAMENTE**

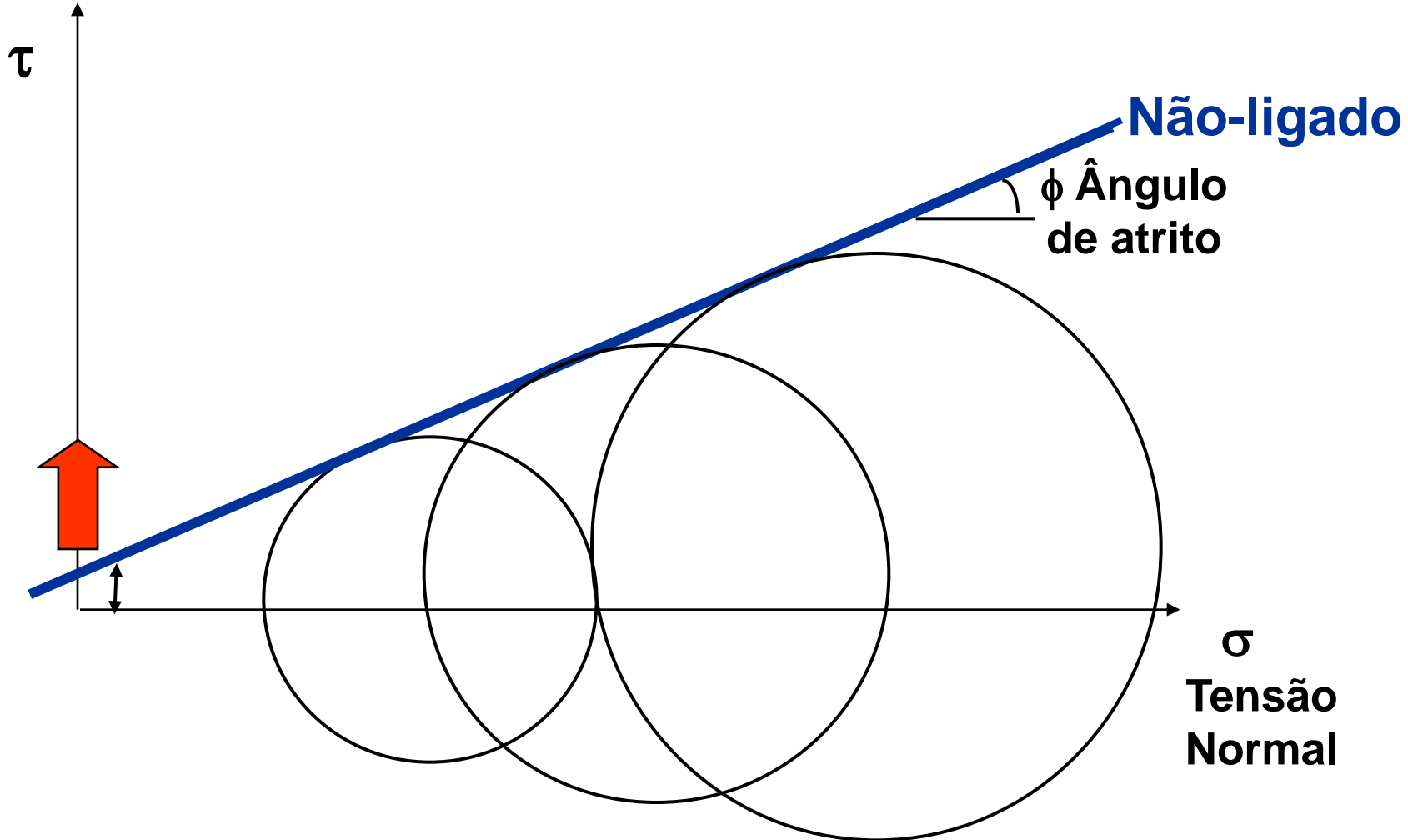
## Resistência ao cisalhamento



# Efeito da estabilização com betume

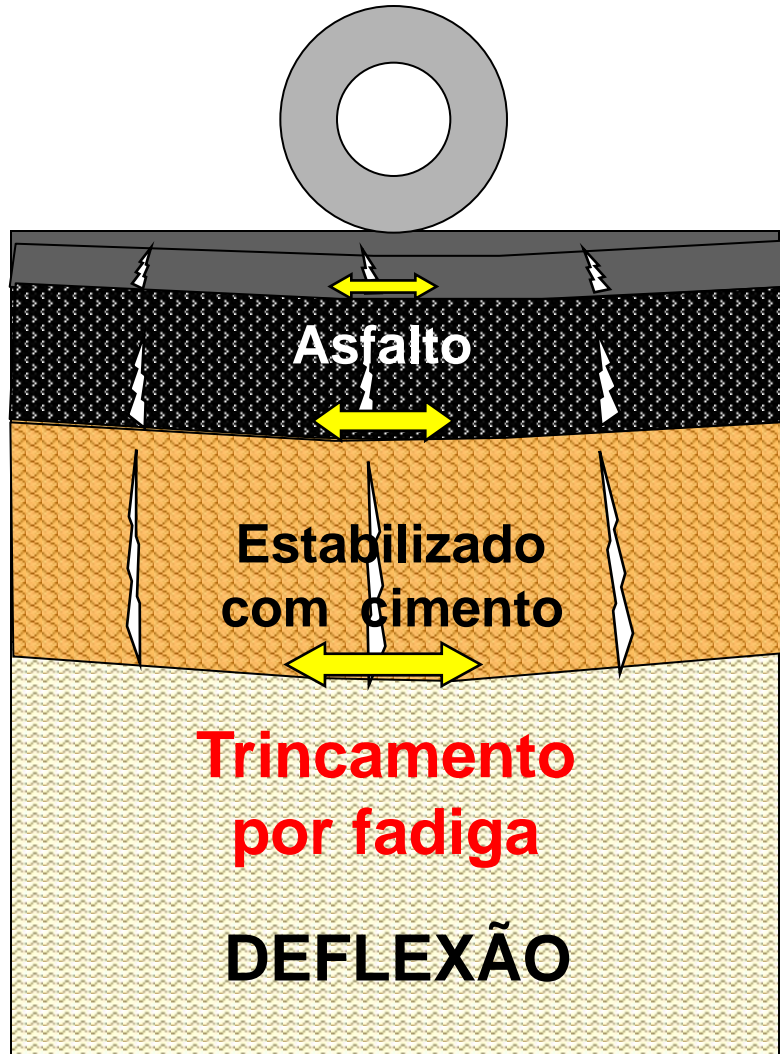
**BSM**

Tensão de Cisalhamento

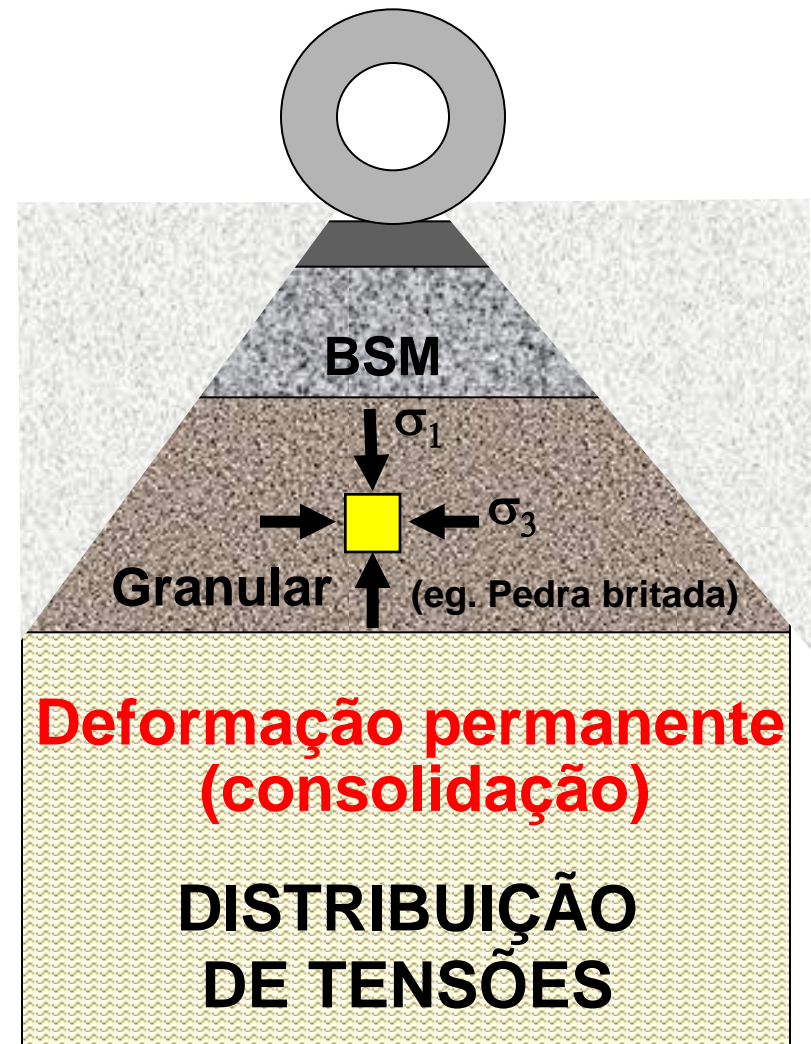


# Comparação entre os tipos de materiais

## Pavimento com materiais ligados



## Pavimento com materiais não ligados





## PROPAGAÇÃO DE TRINCA POR FADIGA

(Mecanismo de fratura)

### MATERIAL LIGADO CONTINUAMENTE



CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO  
NA "PONTA" DA TRINCA

Lei de Paris:  $\frac{d_c}{d_N} = A \cdot K^n$

↗ Fator da intensidade de Tensão na ponta da trinca

↘ Incremento no comprimento da trinca / carga ciclo

### MATERIAL LIGADO NÃO-CONTINUAMENTE

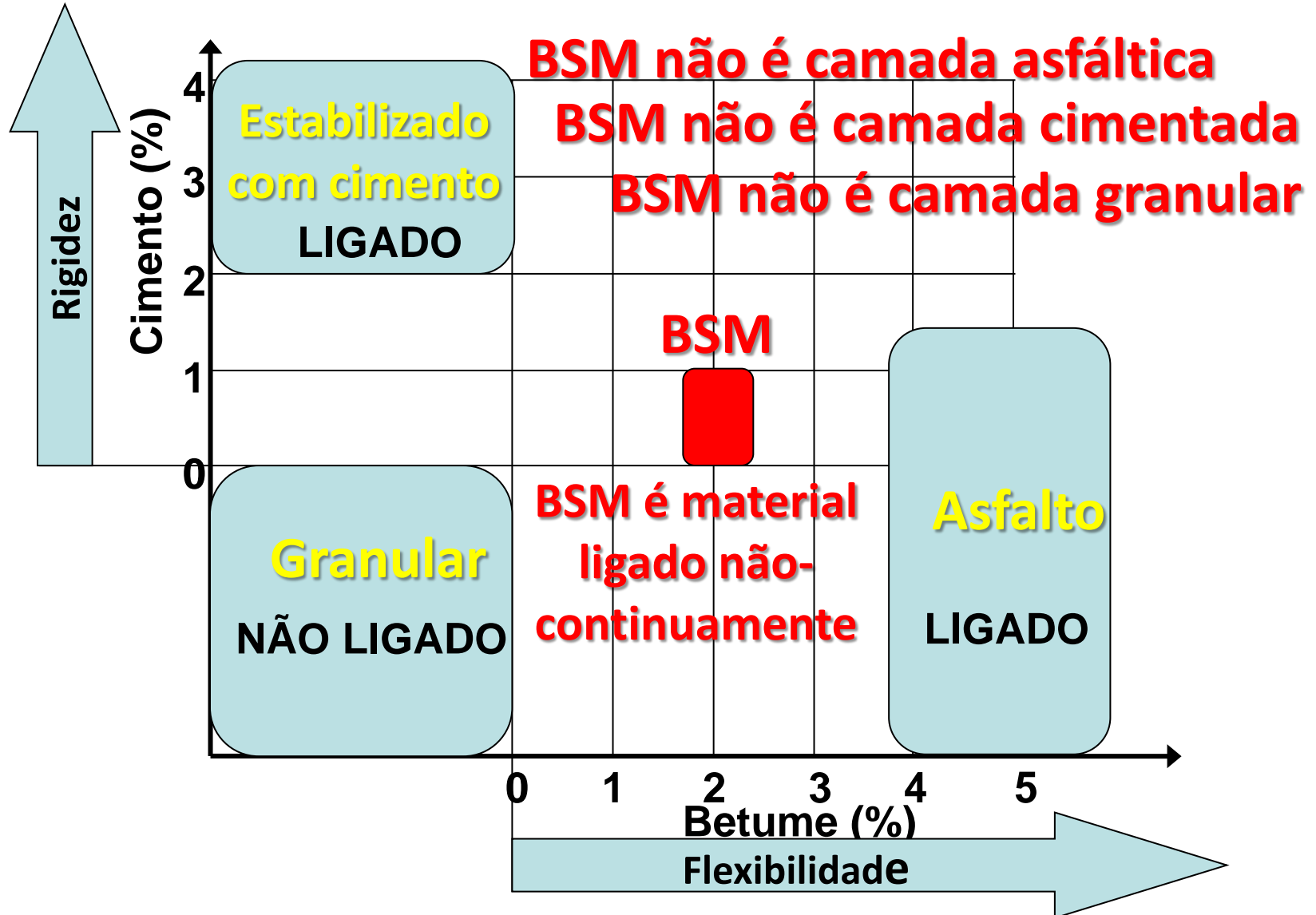


Comportamento similar aos materiais não ligados



Conference on Asphalt  
Pavements for Southern Africa

# Materiais Estabilizados com Betume





# Projeto e ensaios laboratoriais

*Equipamento WLB10S e  
Misturador mini pug-mill*



# *Moldagem dos corpos de prova*

**Martelo vibratório  
de compactação**

**(CP's:  $\phi$  152mm)**





# Cura dos corpos de prova



## ITS (Indirect Tensile Strength)

ITS<sub>SECO</sub> e ITS<sub>SATURADO</sub> (CP's:  $\phi$  150mm x 95mm)



**BMS1**

**ITS<sub>SECO</sub>  $\geq$  225 KPa**

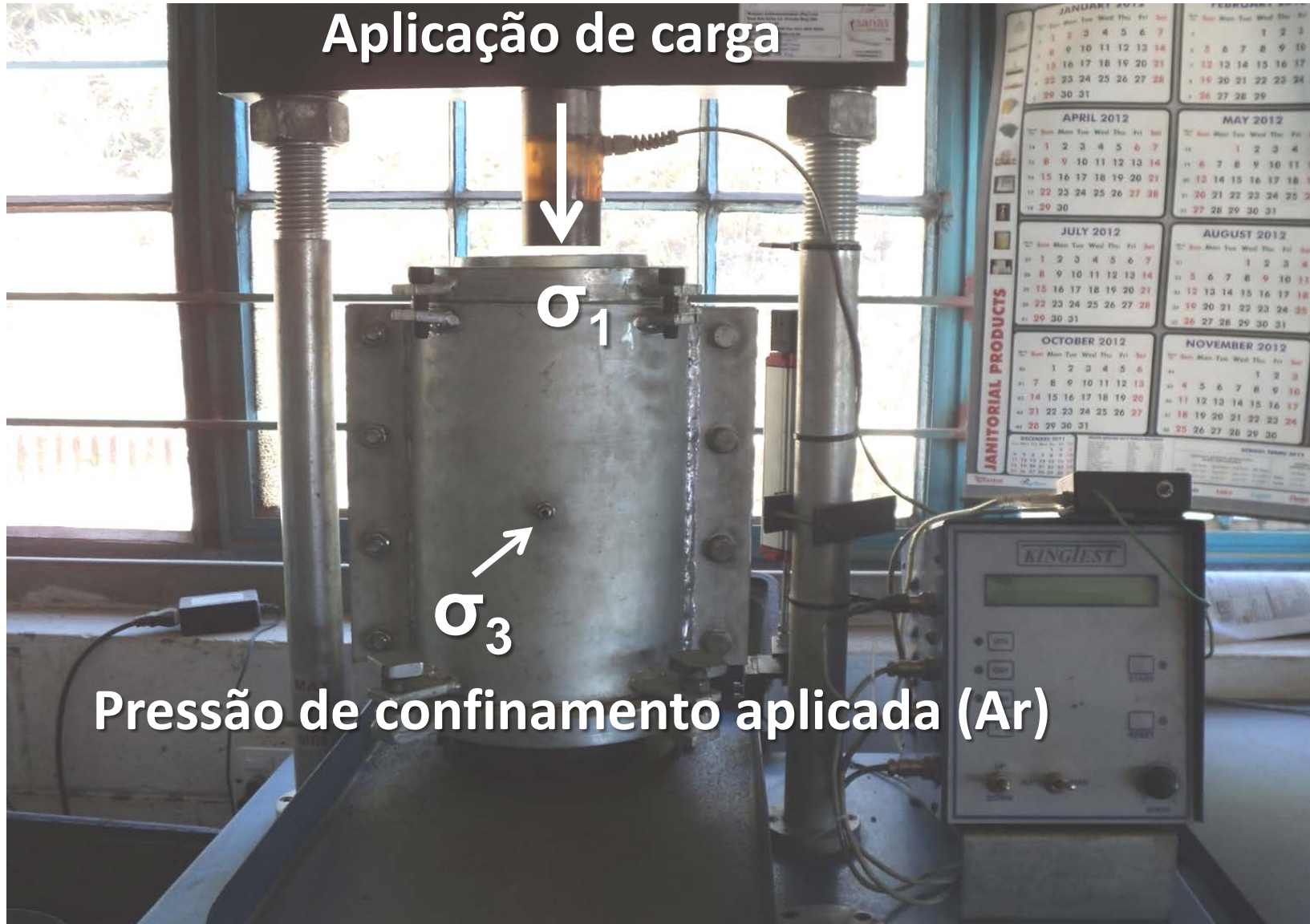
**ITS<sub>SATURADO</sub>  $\geq$  100 KPa**



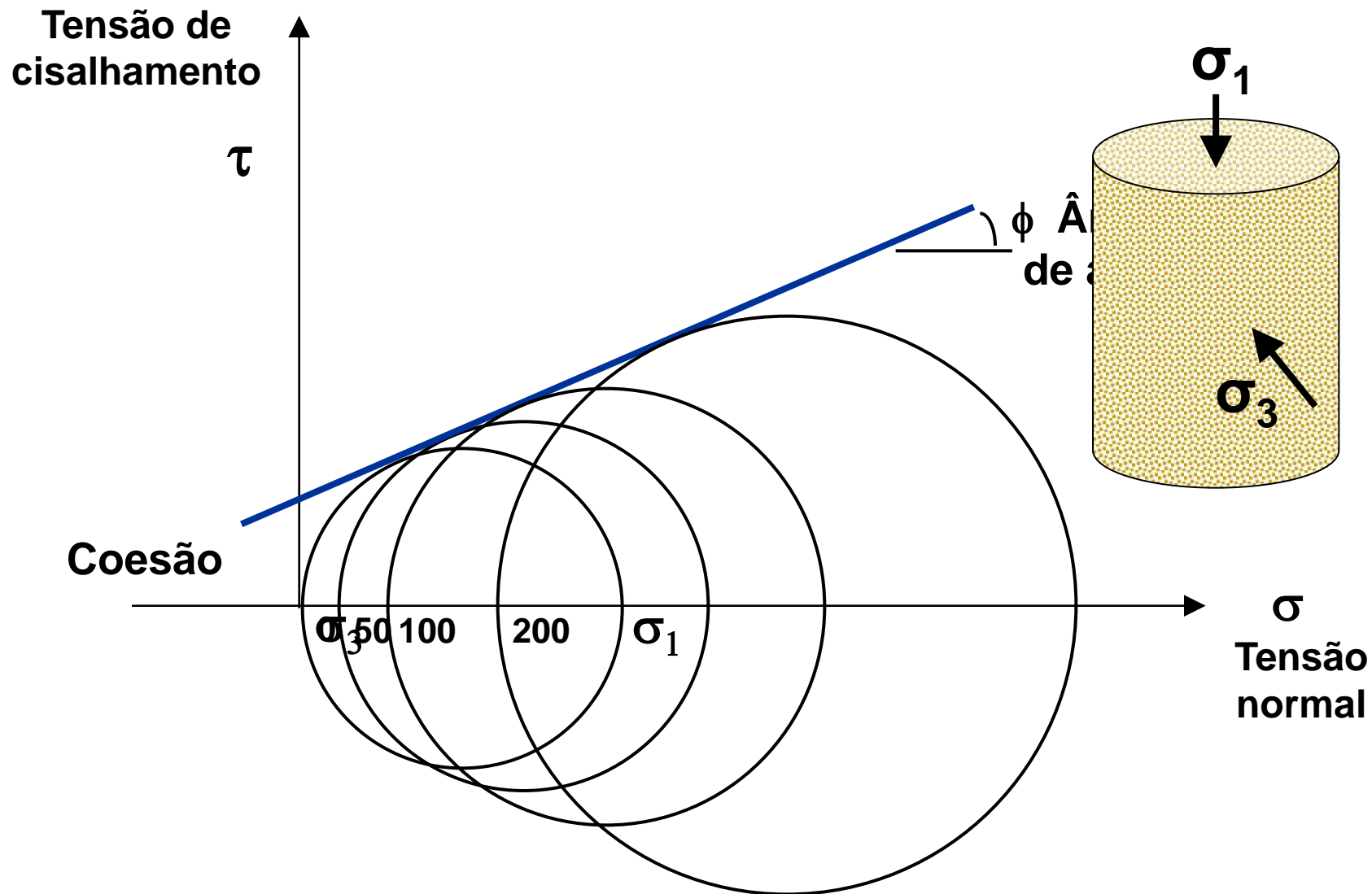
# Teste triaxial “simples”



## *Carga constante de 3 mm/minuto*



# Determinação das propriedades (C e $\phi$ )



## ***Moldagem de placas para ensaios***

- ***Deformação permanente***



# ***Mesa Compactadora tipo LCPC***

(Laboratoire Central des Pontes et Chaussées)



Placa de RAP Espumado – 50 x 18 x 10 cm

# *Simulador de Tráfego tipo LCPC*

(Laboratoire Central des Pontes et Chaussées)



Ensaio de Deformação Permanente em Trilha de Roda: 30.000 ciclos

## Coeficiente estrutural do BSM

Fatores de equivalência estrutural	
Material	Fator de equivalência granular
CAUQ ( $h \leq 150$ mm)	$\frac{5,67}{TI^{1/2}}$
CAUQ ( $h > 150$ mm)	$1,04 \times \frac{h^{1/3}}{TI^{1/2}}$
<b>Base reciclada com espuma de asfalto</b>	<b>1,40</b>
Base tratada com cimento	1,20 ou 1,70
Base granular	1,10
Sub-base granular	1,00

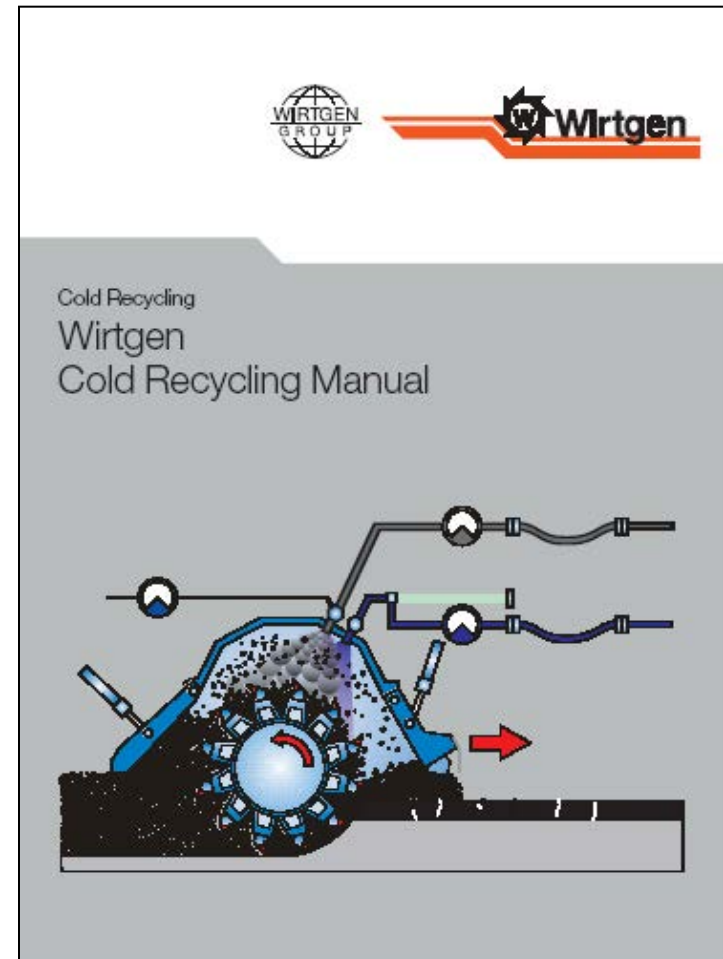
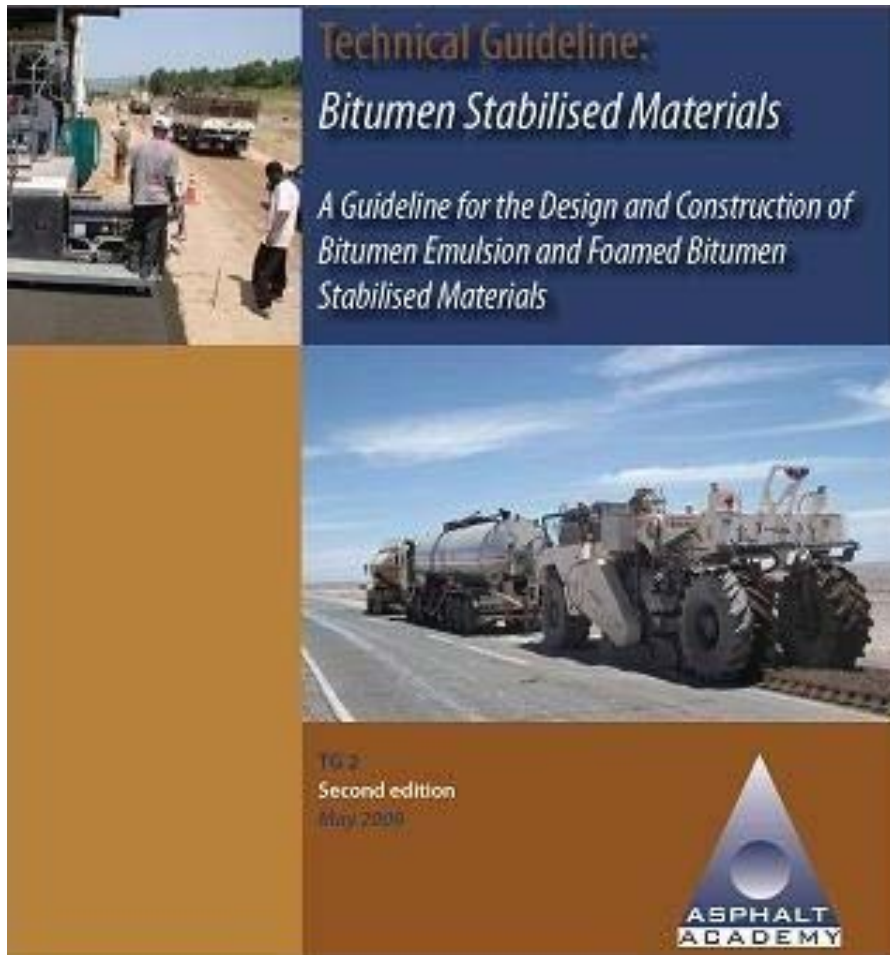
Onde TI é o índice de tráfego californiano.



# Prêmio de Inovação Tecnológica



# Bibliografia





## Valmir Bonfim

Diretor Técnico

Cel.: (11) 98155-0909

[valmir.dvs@fresagem.com.br](mailto:valmir.dvs@fresagem.com.br)

Estrada Ibateguara, 170  
Jardim Mutinga  
Fone (11) 4689-1125  
Barueri/SP- CEP 06463-100