

IV CONGRESSO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS



## “CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS À DEFORMAÇÃO PERMANENTE EM LABORATÓRIO ”



Escola Superior de Tecnologia do  
Instituto Politécnico de Castelo Branco

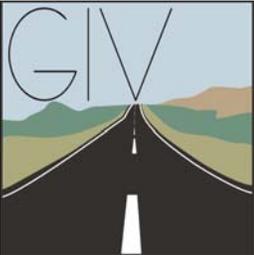


Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade de Coimbra

*Dinis Gardete*

*Luís Picado Santos*

Grupo de Investigação em Vias de Comunicação



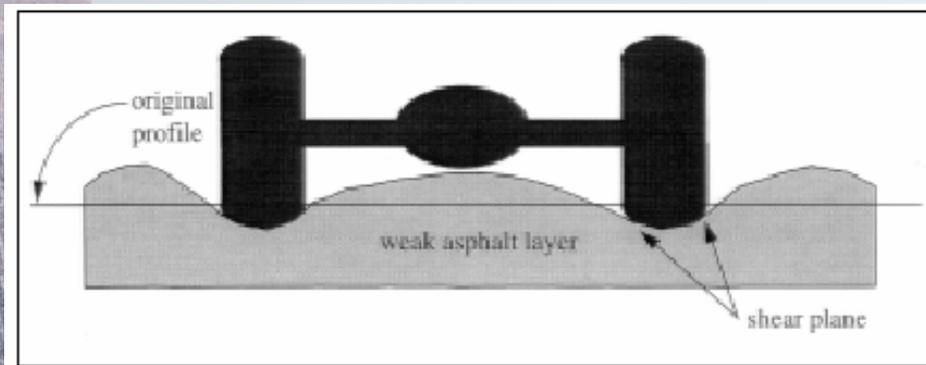
## A deformação permanente em misturas betuminosas

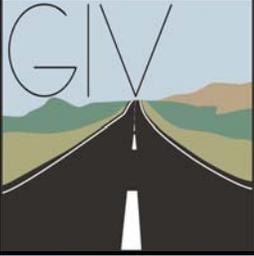
A deformação permanente das misturas betuminosas provoca o aparecimento de rodeiras na zona de passagem dos rodados dos veículos.



**Compactação deficiente**

**Resistência insuficiente das camadas betuminosas**

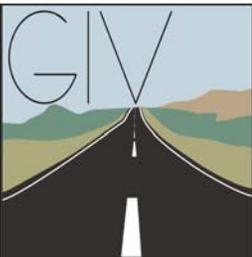




## **Ensaios laboratoriais para a caracterização à deformação permanente**

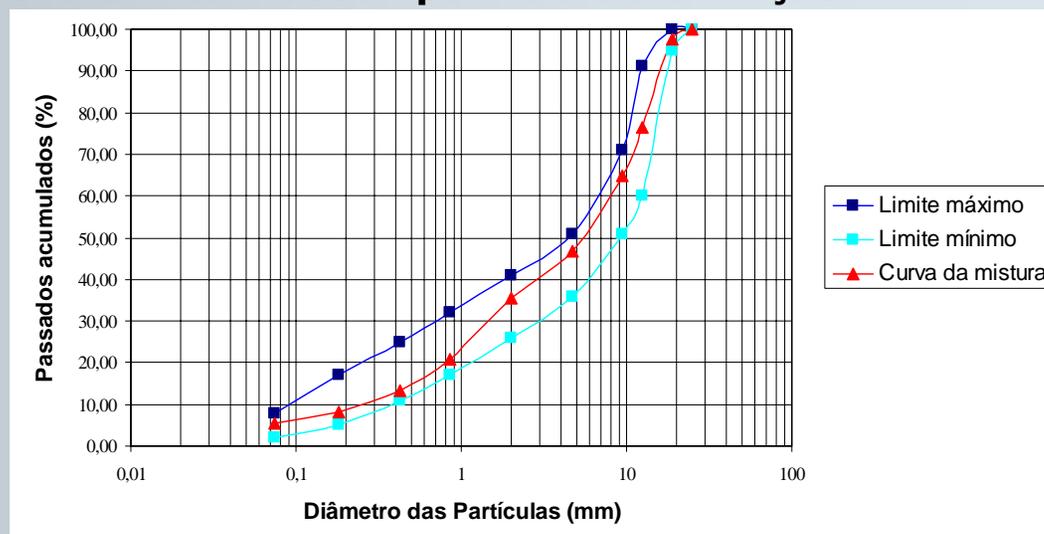
**Ensaios utilizados na realização deste trabalho:**

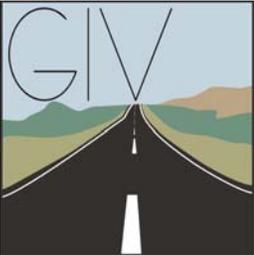
- **Wheel-Tracking (ensaio de simulação em laboratório)**
- **Ensaio de compressão uniaxial cíclico**
- **Ensaios de compressão triaxial cíclico**
- **Ensaio de corte a altura constante**



## Misturas Betuminosas

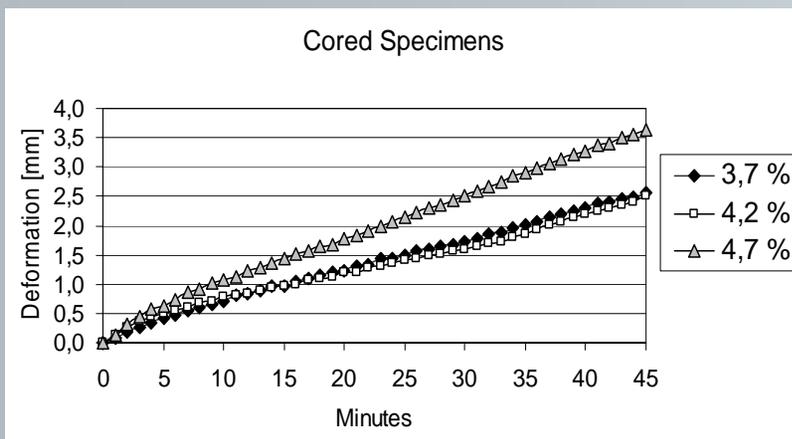
- Macadame betuminoso fuso A
- Dimensão máxima do agregado – 25 mm
- Percentagem em betume - 3,7%, 4,2% e 4,7%
- Realizaram-se provetes em laboratório e em trechos experimentais
  - Laboratório – Betume 50/70
  - Trechos experimentais – Betume 35/50
- Esta mistura é reconhecida por apresentar bom desempenho à deformação permanente na prática

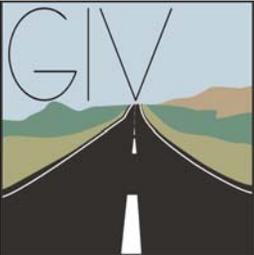




## Ensaio de Wheel-Tracking prEN 12697-22

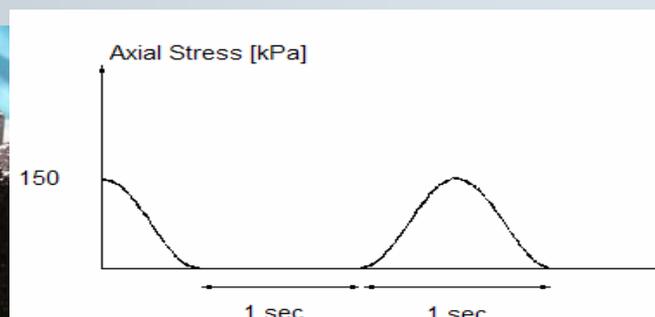
- Equipamento pequeno (Small size device model A)
- Temperatura de ensaio - 45 °C (ar)
- Dimensões dos provetes - 305x305x80 mm
- Duração do ensaio - 45 minutos
- 21 ciclos/minuto (1 ciclo = 2 passagens da roda)
- Provetes de laboratório – Compactados com cilindro de rolos
- Provetes de obra – Cortados *in situ*

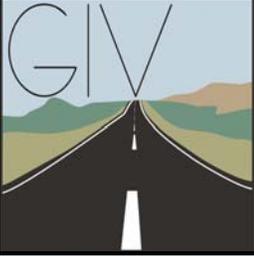




## Ensaio de compressão uniaxial cíclico prEN 12697-25a

- Provetes – D=150 mm e h=100 mm
- Temperatura de ensaio - 45 °C
- Duração do ensaio - 3600 ciclos
- Carregamento sinusoidal com repouso
  - Tempo de carregamento – 1 seg.
  - Tempo de repouso – 1 seg.
  - Tensão máxima de compressão -  $\sigma = 150$  kPa
- Provetes de laboratório – Compactados por vibro-compressão
- Carotados *in situ* com coroa de corte com diâmetro de 150 mm

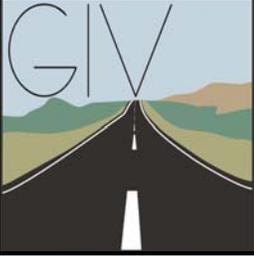




## Ensaio de compressão triaxial cíclico prEN 12697-25b

- Provetes – D=150 mm e h=100 mm
- Temperatura de ensaio - 45 °C
- Duração do ensaio - 3600 ciclos
- Carregamento sinusoidal com repouso
  - Tempo de carregamento – 1 seg.
  - Tempo de repouso – 1 seg.
  - 3 níveis de tensão
    - $\sigma_1 = 150$  kPa,  $\sigma_3 = 50$  kPa
    - $\sigma_1 = 300$  kPa,  $\sigma_3 = 100$  kPa
    - $\sigma_1 = 600$  kPa,  $\sigma_3 = 200$  kPa
- Provetes de laboratório – Compactados com placa vibratória
- Carotados *in situ* com coroa de corte com diâmetro de 150 mm

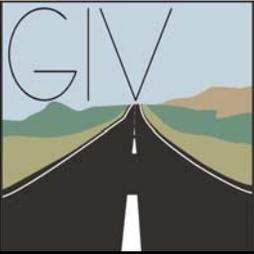




## Ensaio de corte a altura constante (RSCH) AASHTO TP7-01

- Provetes – D=150 mm e h=50 mm
- Temperatura de ensaio - 45 °C
- Duração do ensaio - 5000 ciclos
- Carregamento sinusoidal com repouso
  - Tempo de carregamento – 0,1 seg.
  - Tempo de repouso – 0,6 seg.
  - Tensão máxima de de corte -  $\sigma = 69$  kPa
- Provetes Laboratório – carotados de uma laje compactada com cilindro
- Provetes carotados *in situ* com coroa de corte com diâmetro de 150 mm

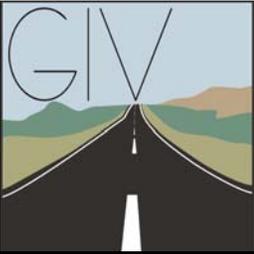




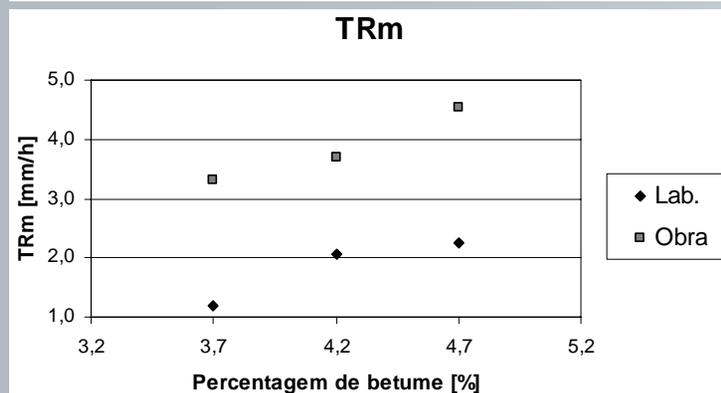
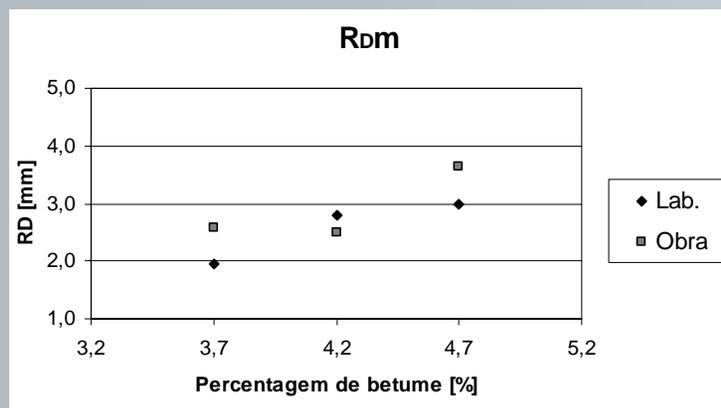
## Análise de resultados

**A análise de resultados encontra-se dividida de seguinte forma:**

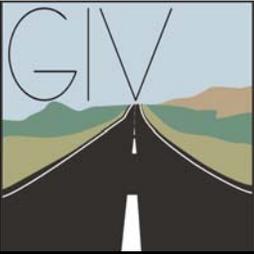
- **Análise isolada dos resultados de cada ensaio observando as classificações obtidas com os diferentes parâmetros.**
- **Análise comparativa dos resultados obtidos com os diferentes ensaios.**



## Ensaio de wheel tracking prEN 12697-22

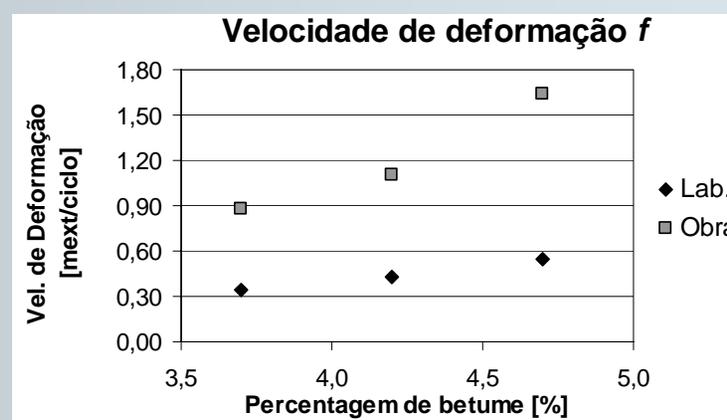
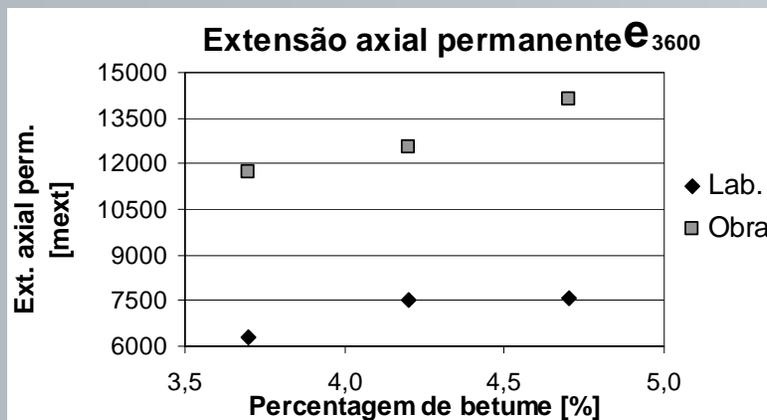


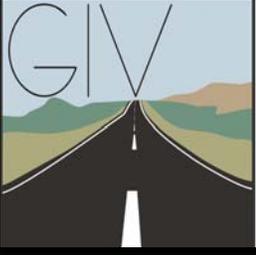
- **Obtiveram-se as classificações esperadas de forma clara e coerente.**
- **A velocidade de deformação apresenta-se como o parâmetro mais interessante para a caracterização de misturas à deformação permanente.**



## Ensaio de compressão uniaxial cíclico prEN 12697-25a

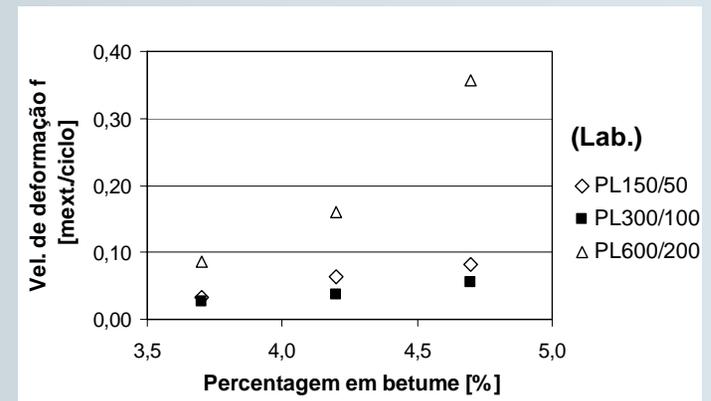
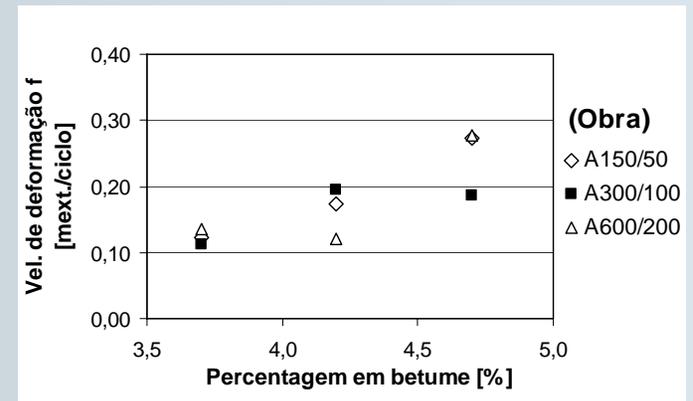
- Obtiveram-se as classificações esperadas de forma clara e coerente.
- A extensão axial permanente acumulada e a velocidade de deformação são os parâmetros mais interessantes para a caracterização à deformação permanente.

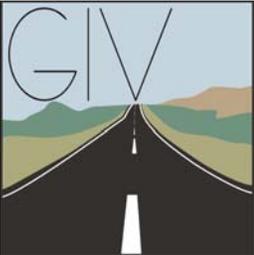




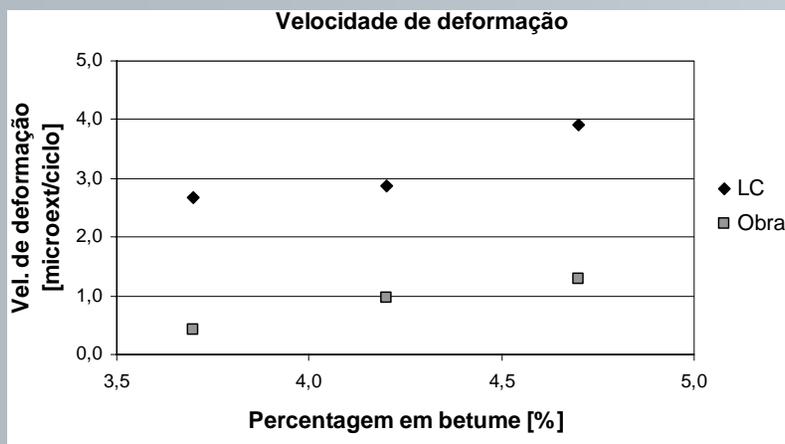
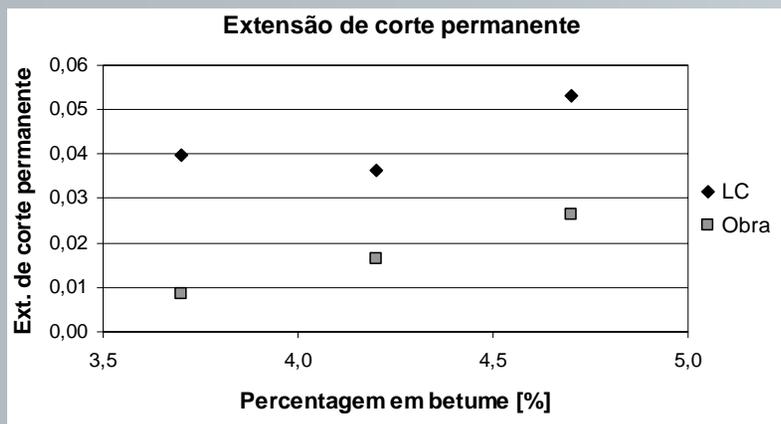
## Ensaio de compressão triaxial cíclico prEN 12697-25b

- As classificações nem sempre são claras e variam em alguns parâmetros.
- A extensão axial permanente total e a velocidade de deformação apresentam-se como os parâmetros mais interessantes para utilização quotidiana.

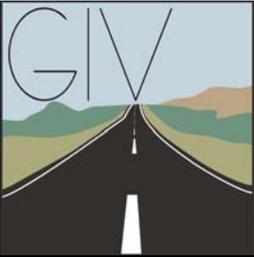




## Ensaio de corte a altura constante (RSCH) AASHTO TP7-01



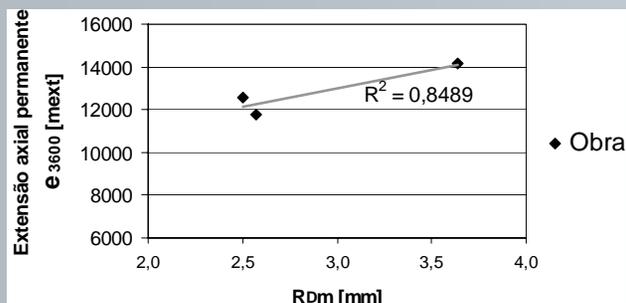
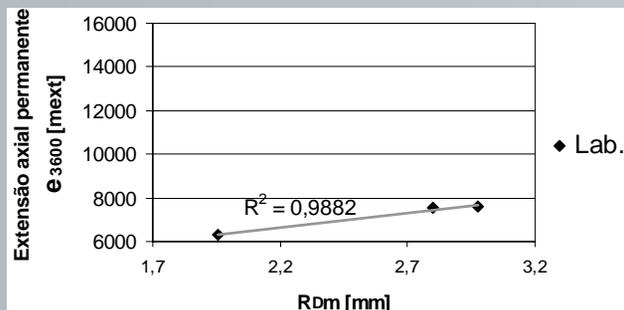
- **Obtiveram-se as classificações esperadas de forma clara e coerente**
- **A extensão de corte permanente total e a velocidade de deformação apresentaram classificações mais nítidas.**



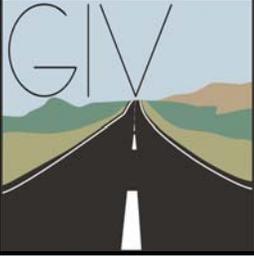
## Análise comparativa de resultados

Tomando como referência os resultados do ensaio de wheel-tracking.

A comparação foi realizada utilizando parâmetros semelhantes, nomeadamente, a deformação/extensão permanente total no ensaio e velocidade de deformação.

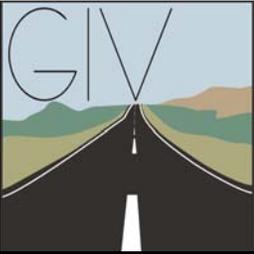


Verificam-se boas correlações entre os resultados dos diferentes ensaios.



## Conclusões

- **Os ensaios utilizados têm capacidade para caracterizar as misturas betuminosas à deformação permanente, obtendo-se classificações semelhantes.**
- **A velocidade de deformação apresenta-se como o parâmetro mais interessante para uma utilização quotidiana.**
- **Verificaram-se boas correlações entre os resultados dos diferentes ensaios. A utilização de ensaios mais simples apresenta-se vantajosa.**



## Conclusões (cont.)

- **O ensaio de wheel tracking apresenta-se como o mais indicado para utilização na prática.**
- **O ensaio de compressão uniaxial cíclico pode ser vantajoso se o equipamento puder ser utilizado para outros ensaios.**
- **O ensaio de compressão triaxial cíclico apresenta procedimentos de ensaio com alguma complexidade.**
- **Não se encontra prevista a utilização do ensaio de corte nos países europeus, pelo que não se torna interessante introduzi-lo em Portugal.**