



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA
Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente,
del Territorio e Architettura

**ESTUDO DA REOLOGIA
DO BETUME DE BORRACHA:
ANÁLISE DA ZERO-SHEAR VISCOSITY**

Prof. Eng.º FELICE GIULIANI

Dr.ª Eng.ª INÊS ANTUNES

Dr. Eng.º JORGE SOUSA



Política Rodoviária - Os próximos 10 anos
Centro de Congressos do Estoril, 5, 6 e 7 de Abril de 2006

ESTUDO DA REOLOGIA DO BETUME DE BORRACHA: ANÁLISE DA ZERO-SHEAR VISCOSITY

CEN NOVA NORMATIVA EUROPEIA

- CEN TC336 WG1-TG1

- *Bitumen and bituminous binders:
Determination of the Zero-Shear
Viscosity using a Shear Stress
Rheometer - Creep Mode*



BETUME MODIFICADO COM BORRACHA *Asphalt Rubber*

- 40 anos de boa performance

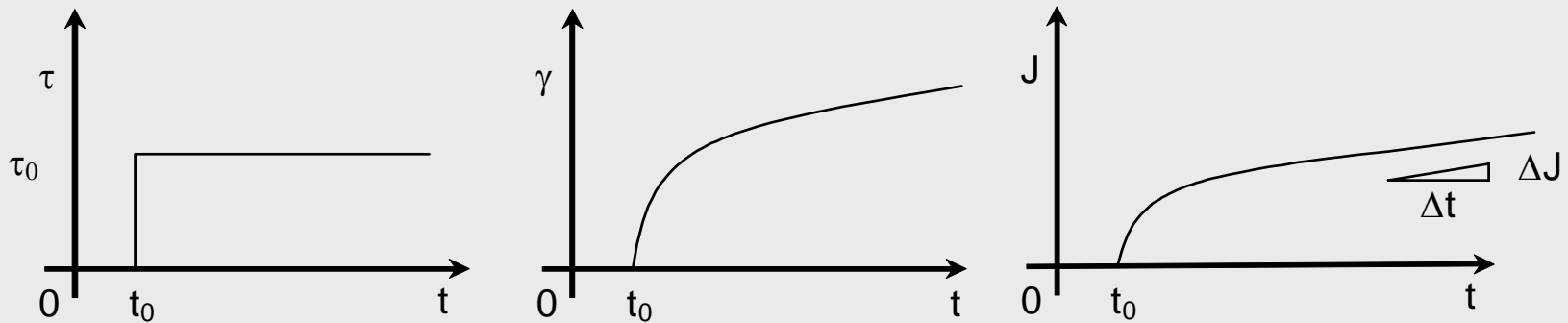
- Enquadramento Normativo
- Classificação





ZERO SHEAR VISCOSITY (ZSV) – Creep Mode

CEN prEN 15325 draft 08.2005



$$ZSV = \Delta t / \Delta J = 900 / (J_f - J_{15}) \quad [Pa \cdot s]$$



Reómetro de corte dinâmico

$T = 60 \pm 0,1^\circ C$

Plate-Plate 25 mm

Gap 2 mm



ZERO SHEAR VISCOSITY (ZSV) – Creep Mode

CEN prEN 15325 draft 08.2005

Prova de CREEP

$$\tau = \tau_0$$

- Aplicação de uma carga constante
- Medição da evolução do estado de deformação ao longo do tempo

$$\gamma = \gamma(t)$$

$$T = 60^\circ\text{C} \quad t = 1 \div 4 \text{ horas} \quad \tau = 50 \text{ Pa}$$

Leituras Efectuadas

- Deformação angular - γ
- Taxa de escorrimento - $d\gamma/dt$
- Módulo de compliance - $J(t,T)$
- Viscosidade - η

Condições de prova e estado físico

- Baixas solicitações $\tau_0 \rightarrow 0$
- Procura do

ESTADO DE FLUXO ESTACIONÁRIO

$$d\gamma/dt \rightarrow K \quad \eta \rightarrow \text{ZSV}$$

Objectivos da prova

- Determinar uma propriedade intrínseca do material capaz de descrever a sua performance
- Simular as condições de carga estática: análise dos fenómenos de escorrimento viscoso nos pavimentos rodoviários (*RUTTING*)

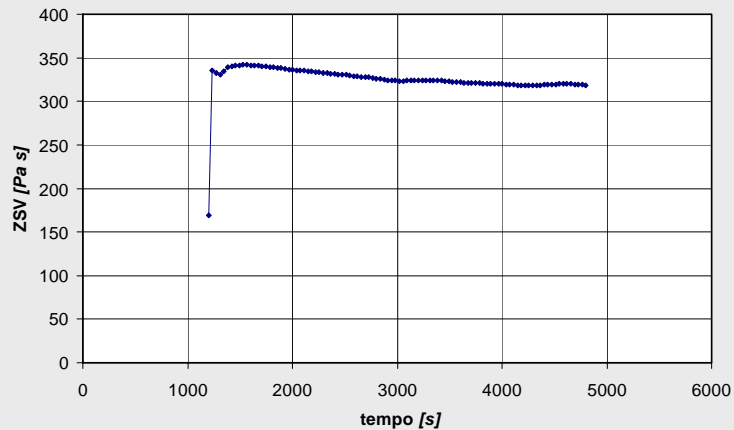


ZERO SHEAR VISCOSITY (ZSV) – Creep Mode

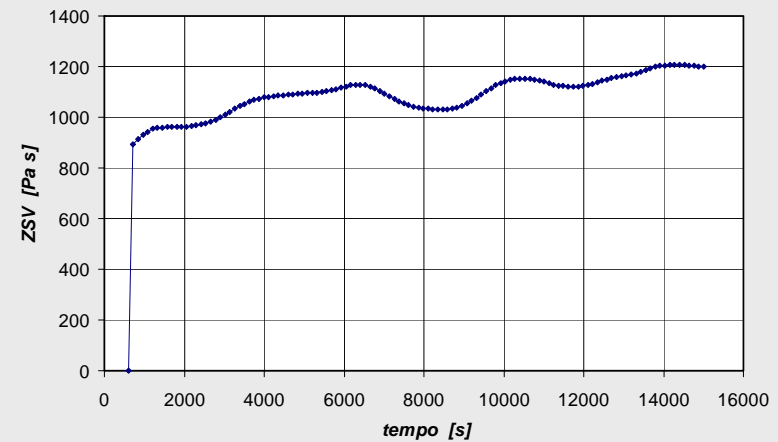
CEN prEN 15325 draft 08.2005

Medição da viscosidade $\eta = f(t)$

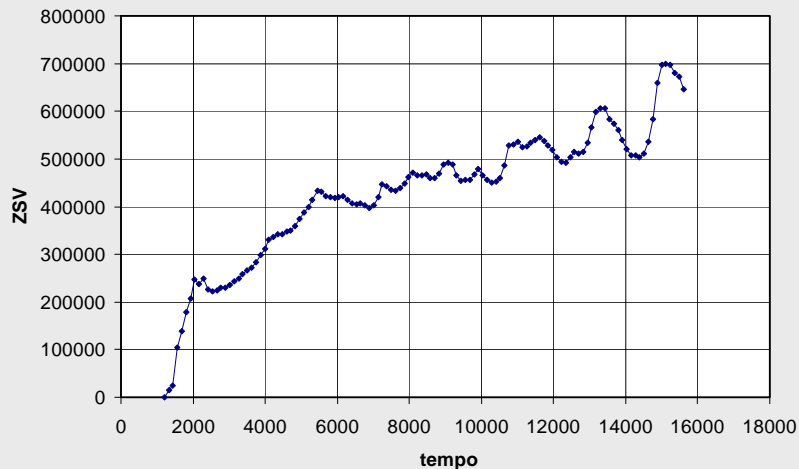
Betume natural



Betume com baixa modificação



Betume altamente modificado



Comparação da ZSV com os valores de penetração

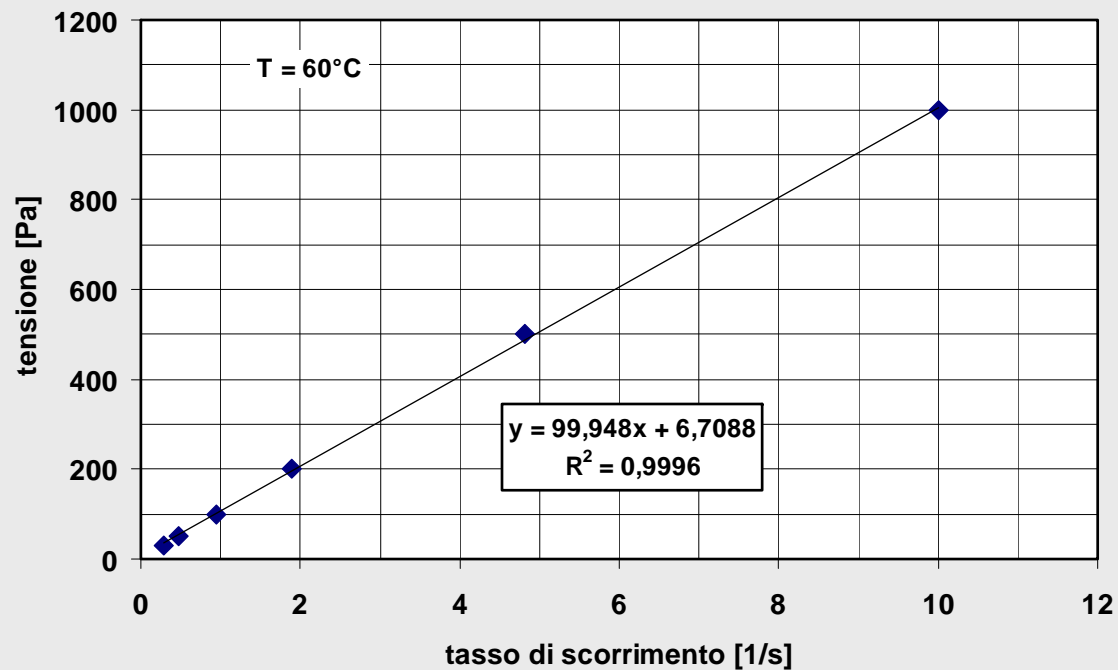
TIPO DE BETUME	NATURAL	BAIXA MODIF.	ALTA MODIF.
<i>Penetração standard [dmm]</i>	52	56	55
<i>ZSV [Pa s]</i>	304	1109	607982



ZERO SHEAR VISCOSITY (ZSV) – Creep Mode

CEN prEN 15325 draft 08.2005

Comparação Provas de Creep e Curvas de Fluxo



TIPO DE BETUME	NATURAL	BAIXA MODIF.	ALTA MODIF.
<i>viscosidade nas curvas de fluxo [Pa s]</i>	104	430	241135
<i>ZSV [Pa s]</i>	130	779	570889



ZERO SHEAR VISCOSITY (ZSV) – Creep Mode

CEN prEN 15325 draft 08.2005

*Universidade de
Parma
(Itália, 2005)*

Metodologia para os betumes modificados

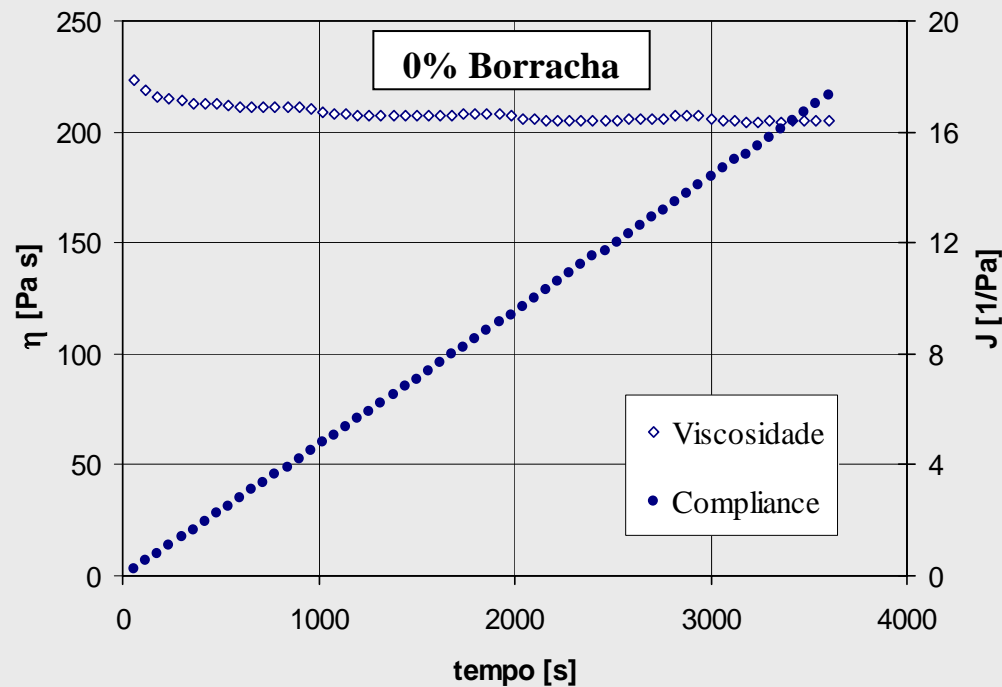
- A ZSV é sensível ao grau de modificação
- mas a metodologia de prova é pouco repetível
- Revisão da definição dos tempos para atingir o estado estacionário

**Betumes especiais e Betume
modificado com borracha?**

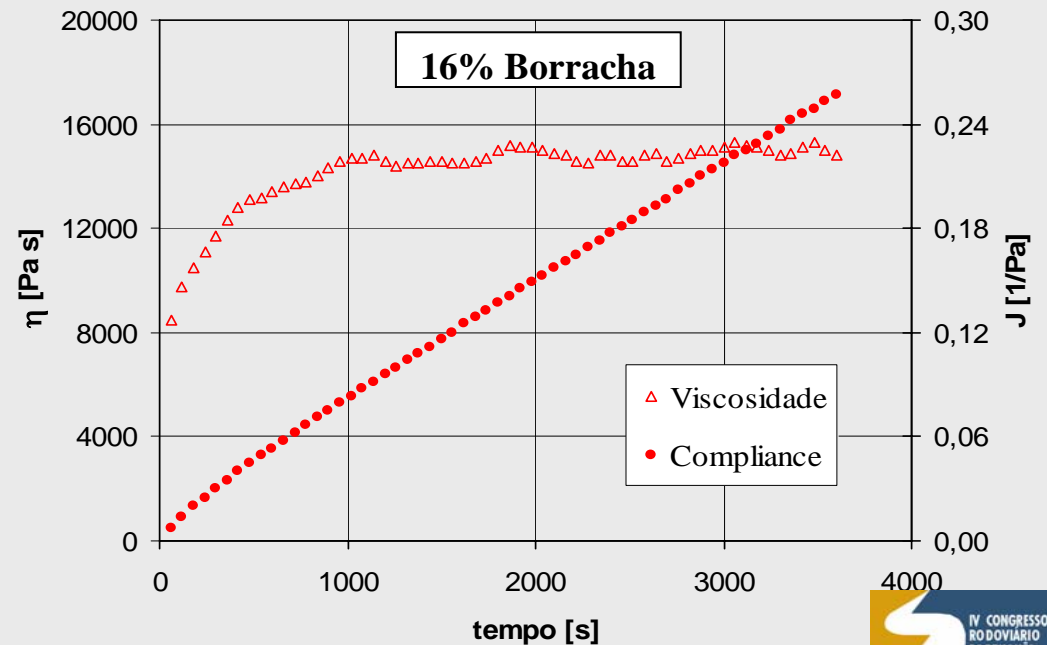
Contributo do presente estudo

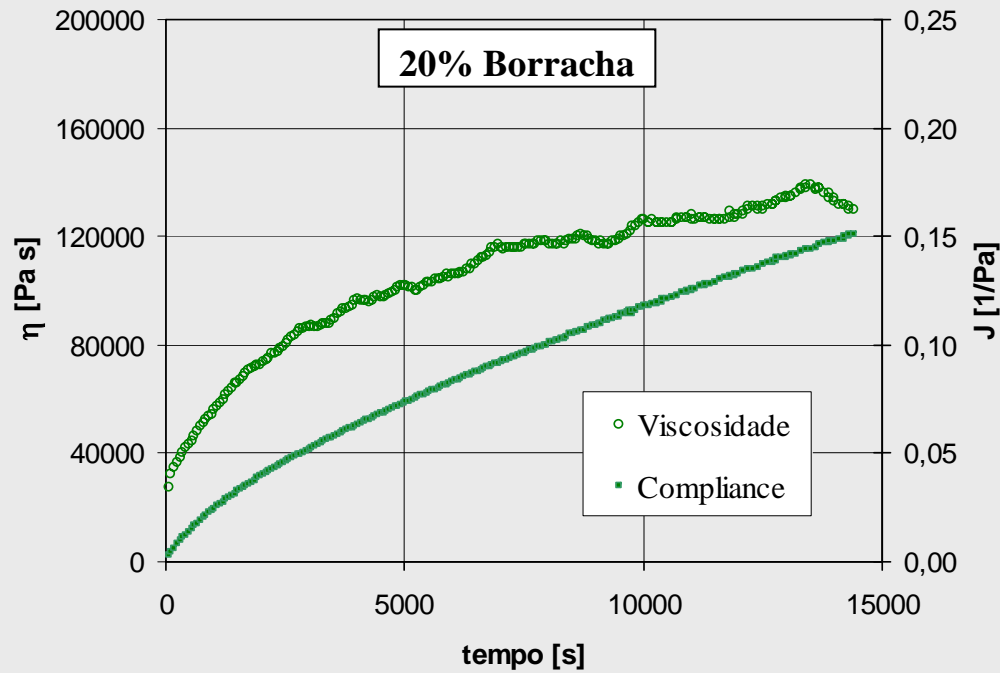
ZSV para Betume modificado com borracha

Fase 1: 0% - 16% CRM



$$\left\{ \begin{array}{l} \tau = 50 \text{ Pa} \\ t = 3600 \text{ s} \\ T = 60^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

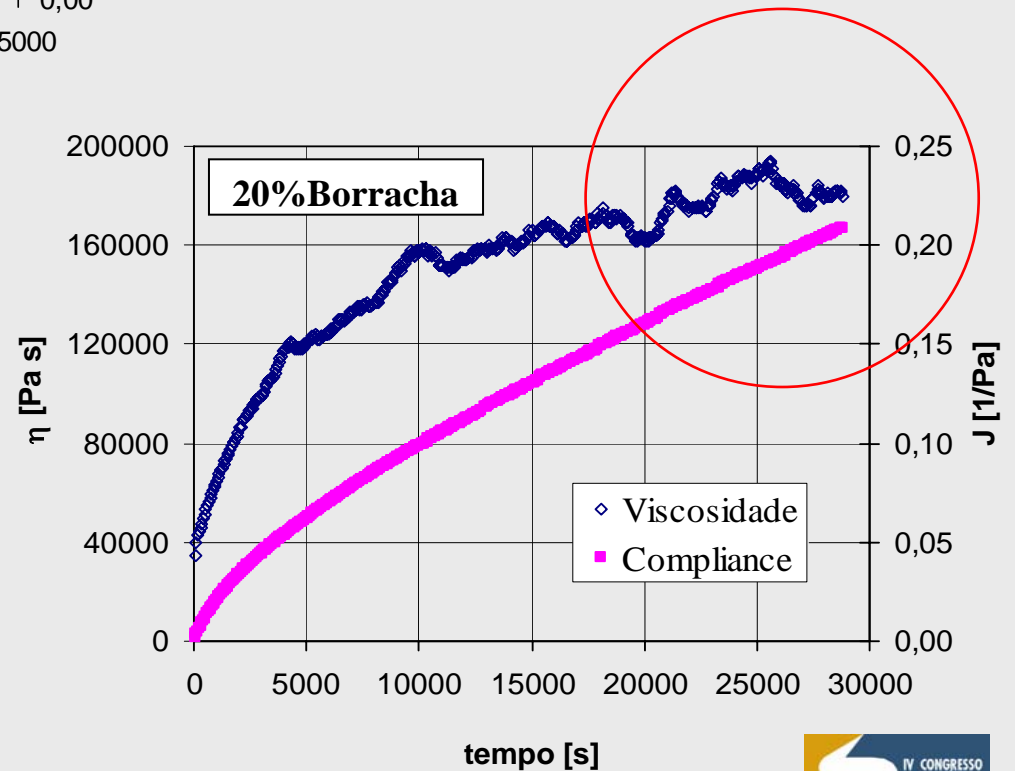




ZSV para Betume
modificado com borracha

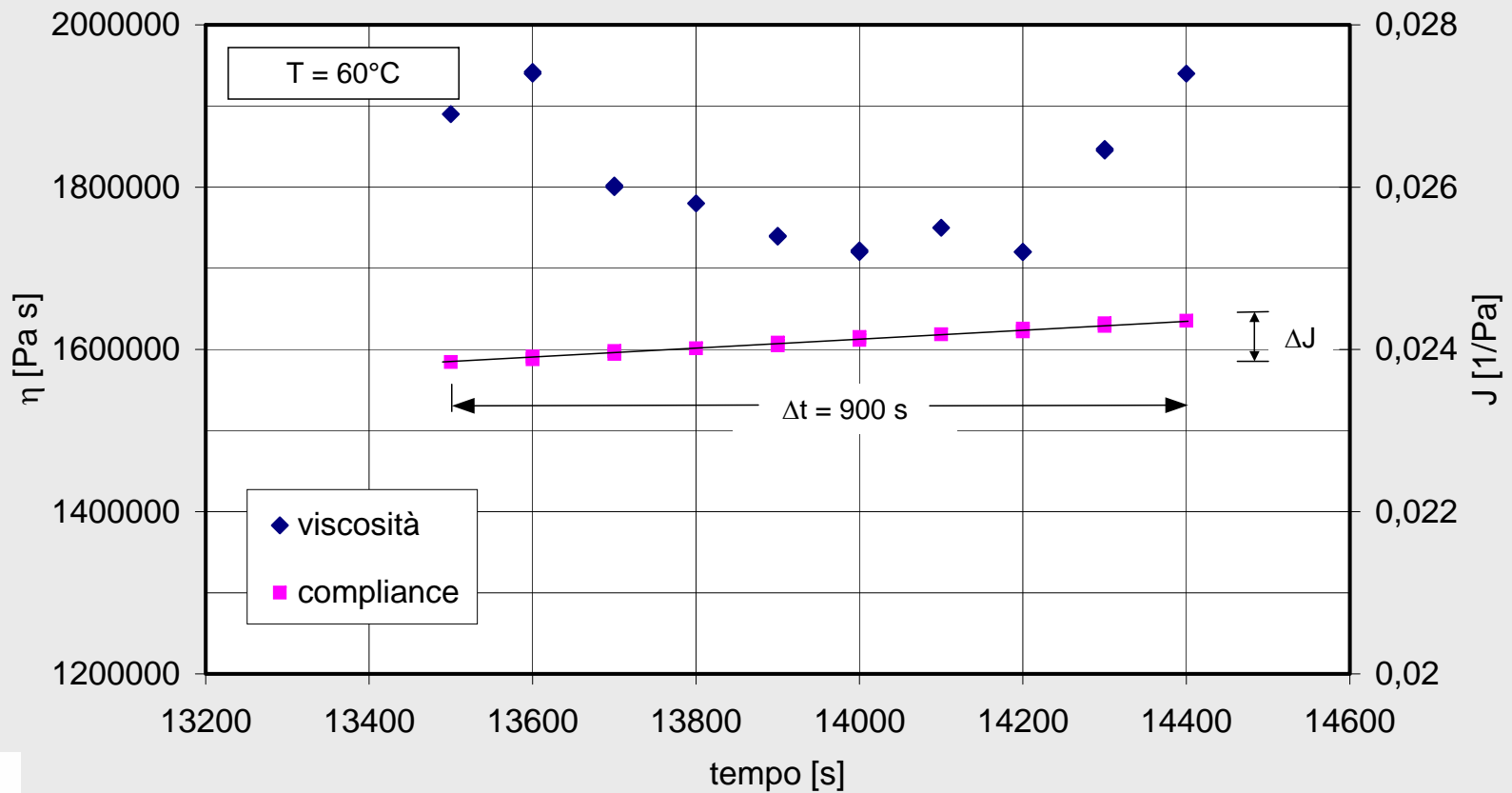
Fase 2: 20% CRM

$\tau = 50 \text{ Pa}$
 $t = 14400 \text{ s} / 28800 \text{ s}$
 $T = 60^\circ\text{C}$



ZERO SHEAR VISCOSITY (ZSV) – Curva Compliance

$$\Delta t / \Delta J = 1/(dJ/dt) = \tau/(d\gamma/dt) = \eta \rightarrow \text{ZSV}$$



ESTUDO DA REOLOGIA DO BETUME DE BORRACHA: ANÁLISE DA ZERO-SHEAR VISCOSITY

- ✓ **Metodologia aplicável aos betumes modificados com borracha**
- ✓ **Apresentam propriedades de fluxo sensíveis à % de CRM incorporada**
- ✓ **CRM como Hard**

- **4 horas -> 8 horas**
- **ou ZSV calculada através da curva de compliance**

- ✓ **ZSV bom parâmetro para controlar rutting**





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA
Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente,
del Territorio e Architettura

OBRIGADA!
Questions?

Dr.^a Eng.^a INÊS ANTUNES

ines.antunes@bitem.it



Política Rodoviária - Os próximos 10 anos
Centro de Congressos do Estoril, 5, 6 e 7 de Abril de 2006