

# Misturas Betuminosas a Quente com Alta Incorporação de Material Fresado

*António Miguel Baptista*



Departamento de Engenharia Civil  
Instituto Politécnico de Coimbra

*Luís de Picado Santos*



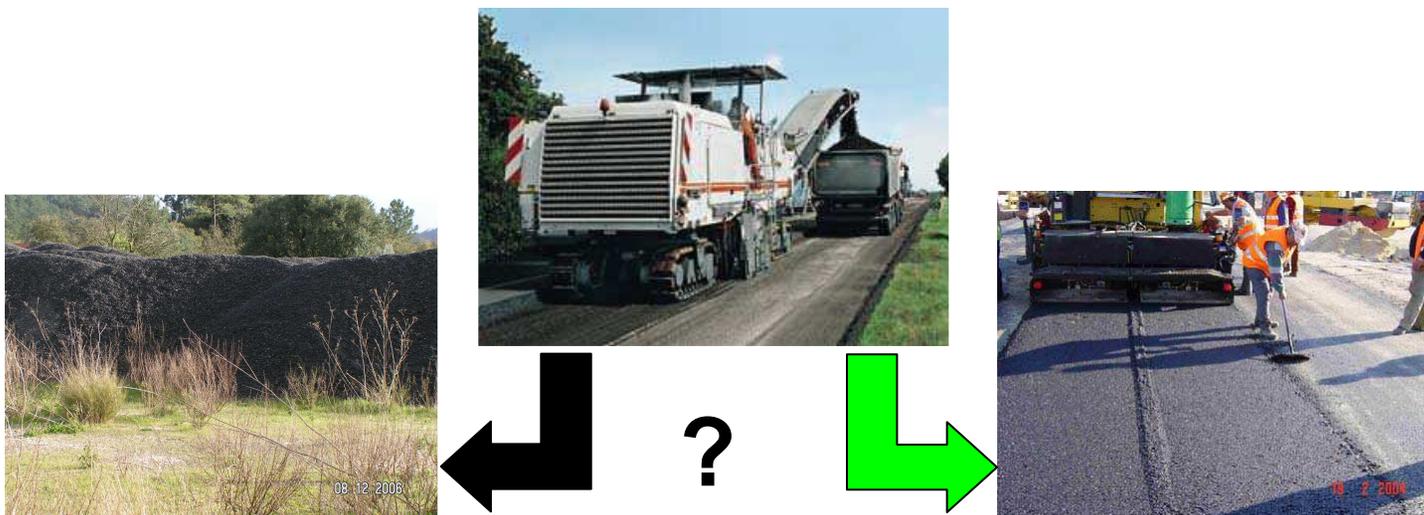
Departamento de Engenharia Civil  
Universidade de Coimbra

# **Estrutura da Apresentação**

---

- 1. Enquadramento**
- 2. Misturas Estudadas**
- 3. Trabalhos Experimentais**
- 4. Resultados**
- 5. Avaliação Económica**
- 6. Conclusões**

# 1. Enquadramento



- Contribuir para o estudo e aplicação de misturas betuminosas recicladas a quente em central (MBRQ), de modo a validar uma alternativa eficiente para obras de reabilitação estrutural de pavimentos rodoviários.

# 1. Enquadramento

---

## PROCESSOS/TAXAS MÁXIMAS DE RECICLAGEM

<b>Centrais Descontínuas:</b>	<b><i>Método a Frio</i></b>	<b>40%</b>
	<b><i>Método Recyclean</i></b>	<b>35%</b>
	<b><i>Método a Quente</i></b>	<b>70%</b>
<b>Centrais Contínuas:</b>	<b><i>Fluxos Paralelos</i></b>	<b>35%</b>
	<b><i>Fluxos Contracorrente</i></b>	<b>50%</b>
	<b><i>Tambor Duplo</i></b>	<b>50%</b>

# Estrutura da Apresentação

---

1. Introdução
- 2. Misturas Estudadas**
- 3. Trabalhos Experimentais**
- 4. Resultados**
- 5. Avaliação Económica**
- 6. Conclusões**

## 2. Misturas Estudadas

- Macadame betuminoso formulado pelo Método de Marshall
- Trechos Experimentais

A1 A2 A3

TR = 0%

D1 D2 D3

TR = 40%

- Laboratório:

LA

TR = 0%

35/50

LD

TR = 40%

35/50

LF

TR = 40%

50/70

LH

TR = 40%

70/100

## 2. Misturas Estudadas

### *Trechos Experimentais*

Mistura	pb total		pb novo	
	Previsto	Observado	Previsto	Observado
A1	3,7%	3,6%	3,7%	3,6%
A2	4,2%	4,1%	4,2%	4,1%
A3	4,7%	4,6%	4,7%	4,6%
D1	4,2%	4,3%	2,6%	2,7%
D2	4,7%	4,7%	3,1%	3,1%
D3	5,2%	5,1%	3,6%	3,5%

A1 A2 A3  
TR = 0%

D1 D2 D3  
TR = 40%

## 2. Misturas Estudadas

### *Laboratório*

**LA**

**TR = 0%**

**35/50**

**LD**

**TR = 40%**

**35/50**

**LF**

**TR = 40%**

**50/70**

**LH**

**TR = 40%**

**70/100**

Mistura	pb total	pb novo
LA	4,2%	4,2%
LD	4,2%	2,6%
LF	4,2%	2,6%
LH	4,2%	2,6%

# Estrutura da Apresentação

---

1. Introdução
2. Misturas Estudadas
- 3. Trabalhos Experimentais**
4. Resultados
5. Avaliação Económica
6. Conclusões

## 3. Trabalhos Experimentais

### TRECHOS EXPERIMENTAIS

#### Produção das Misturas em Central Descontínua (Método a Frio)



MISTURAS BETUMINOSAS A QUENTE COM ALTA INCORPORAÇÃO DE MATERIAL FRESADO

## 3. Trabalhos Experimentais

### TRECHOS EXPERIMENTAIS

#### Produção das Misturas em Central Descontínua (Método a Frio)

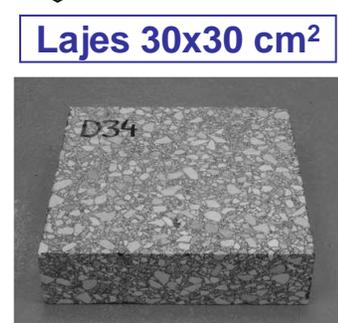
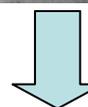
Parâmetros de fabrico	Trecho A (0%)	Trecho D (40%)
Tempo de pré-mistura (s)	0	20
Tempo de mistura (s)	24	30
Massa da amassadura (kg)	2000	1500
Massa de material fresado (kg)	0	600
Temp. Agregados	189,9	275,6
Temp. Betume	156,0	154,8
Temp. Mistura (central)	168,3	108,0
Temp. Mistura (compactação)	168,9	116,2

## 3. Trabalhos Experimentais

### TRECHOS EXPERIMENTAIS: Aplicação das misturas e obtenção dos provetes



Vigas 40x8x8 cm<sup>3</sup>



Lajes 30x30 cm<sup>2</sup>

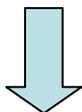


Cilindros  $\Phi$ 15 cm

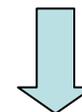
MISTURAS BETUMINOSAS A QUENTE COM ALTA INCORPORAÇÃO DE MATERIAL FRESADO

## 3. Trabalhos Experimentais

### MISTURAS COMPACTADAS EM LABORATÓRIO:



Vigas 40x8x8 cm<sup>3</sup>

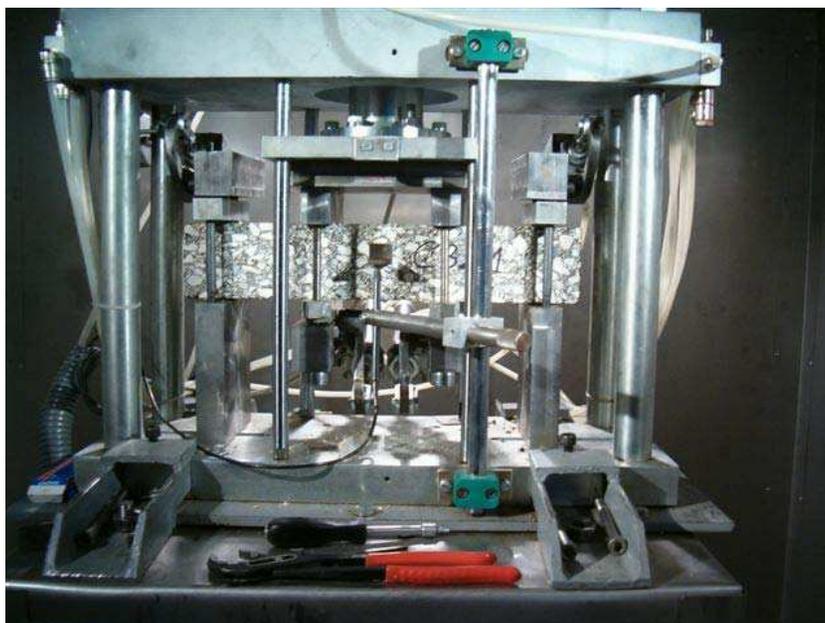


Cilindros  $\Phi$ 15 cm

MISTURAS BETUMINOSAS A QUENTE COM ALTA INCORPORAÇÃO DE MATERIAL FRESADO

## 3. Trabalhos Experimentais

### Ensaio de flexão com aplicação de cargas repetidas



Mixtester - Universidade de Coimbra

#### 1- Módulo de deformabilidade

Temperatura: 15°C, 25°C e 40°C

Frequência: 10 Hz, 5 Hz e 1 Hz

Extensão: 100 microns

#### 2- Resistência à Fadiga

Temperatura: 25°C

Frequência: 10 Hz

Extensão: 250, 400 e 550 microns

## 3. Trabalhos Experimentais

### Ensaio de compressão uniaxial de cargas repetidas



#### Avaliação da resistência à deformação permanente

**D = 150 mm**

**h = 100 mm**

**Temperatura: 45°C**

**3600 ciclos**

**Tensão: 150 kPa**

**Mixtester - Universidade de Coimbra**

MISTURAS BETUMINOSAS A QUENTE COM ALTA INCORPORAÇÃO DE MATERIAL FRESADO

## 3. Trabalhos Experimentais

### Ensaio com simulador de tráfego de laboratório (Wheel Tracking)



#### Avaliação da resistência à deformação permanente

Lajes de 300x300x80 mm

Temperatura: 45°C

21 ciclos/minuto

45 minutos

Tensão: 700 kPa

**WT (Wessex) – U. de Coimbra**

MISTURAS BETUMINOSAS A QUENTE COM ALTA INCORPORAÇÃO DE MATERIAL FRESADO

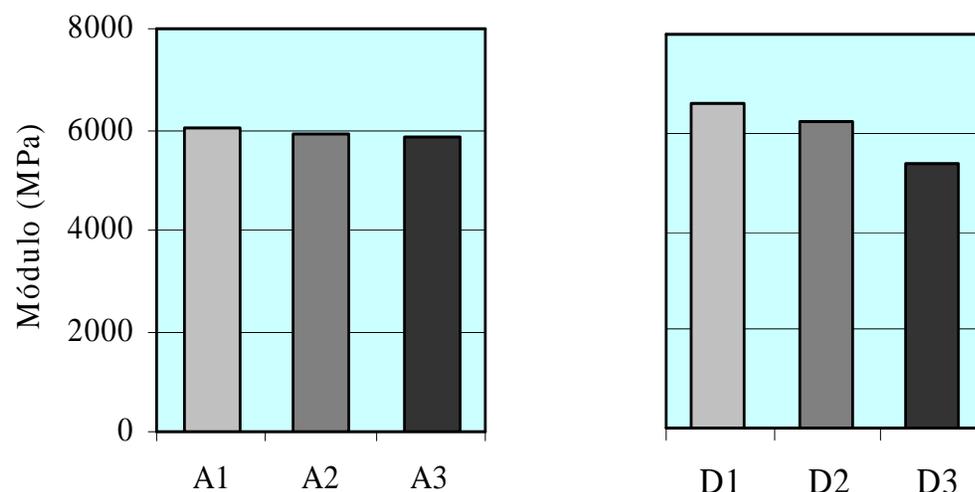
# Estrutura da Apresentação

---

1. Introdução
2. Misturas Estudadas
3. Trabalhos Experimentais
- 4. Resultados**
5. Avaliação Económica
6. Conclusões

## 4. Resultados

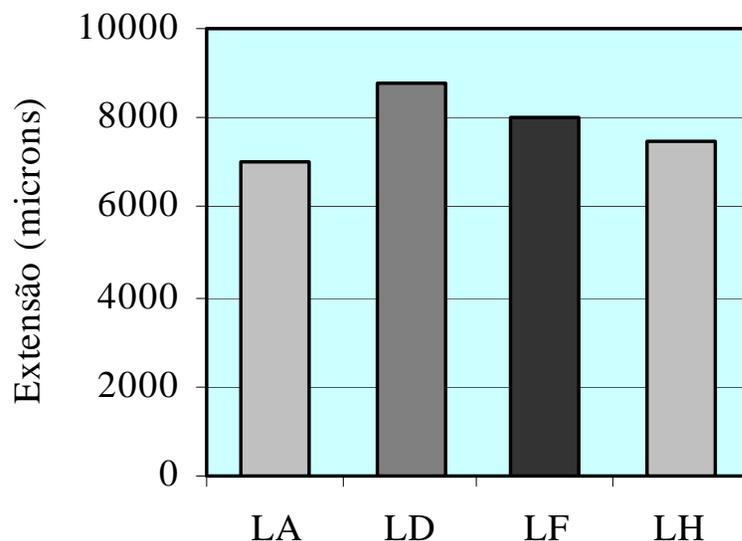
### Módulo de Deformabilidade a 25°C, 10 Hz (Misturas dos Trechos Experimentais)



Em comparação com a mistura de referência (A2) a mistura seleccionada (D1) com incorporação de 40% apresentou módulo de deformabilidade 10% superior.

## 4. Resultados

### Módulo de Deformabilidade a 25°C, 10 Hz (Misturas de Laboratório)

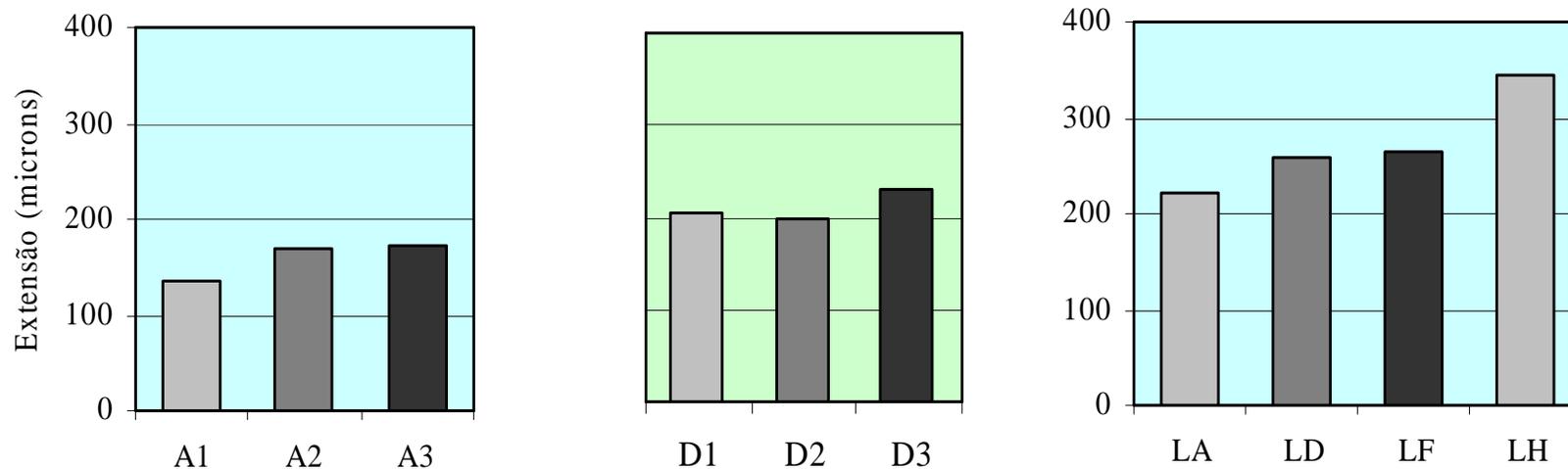


Em comparação com a mistura de referência (LA) a mistura LD com incorporação de 40% apresentou módulo de deformabilidade 25% superior.

Os resultados obtidos com as misturas de **laboratório** vieram confirmar a **vantagem** das técnicas de reciclagem com incorporação do **material fresado aquecido**.

## 4. Resultados

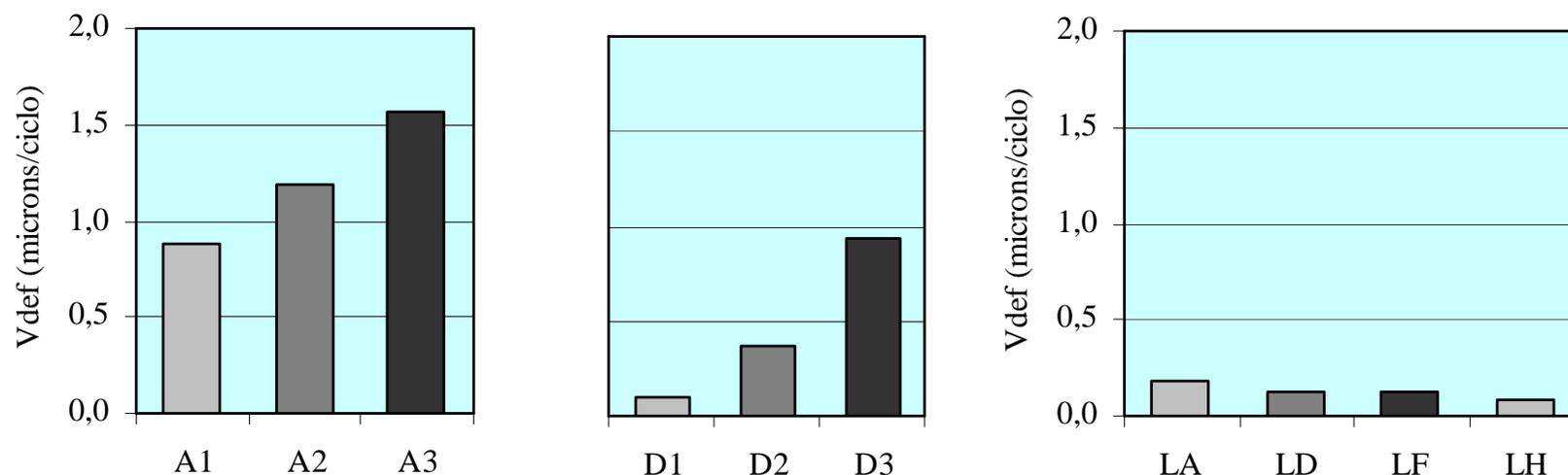
### Resistência à Fadiga – Parâmetro $\epsilon_6$



Em comparação com as misturas de referência, as misturas recicladas, quer as dos trechos experimentais quer as de laboratório, revelaram **melhor resistência à fadiga**.

## 4. Resultados

### Resistência à Deformação Permanente (Compressão Uniaxial)



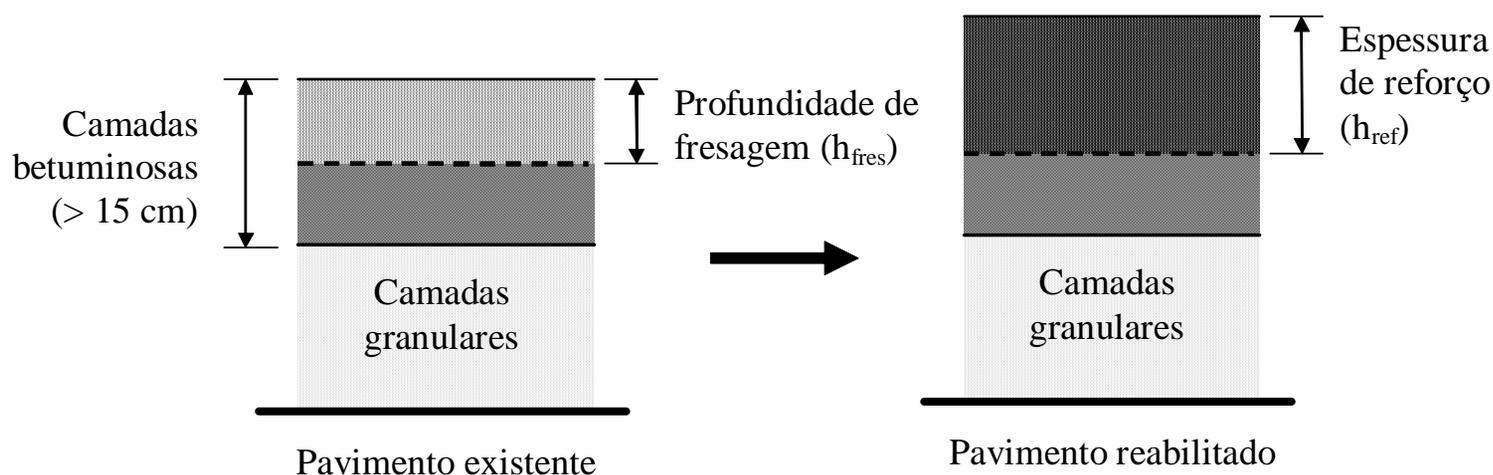
Em comparação com as misturas sem material fresado, as misturas recicladas, quer as dos trechos experimentais quer as de laboratório, revelaram **melhor resistência à deformação permanente**.

# Estrutura da Apresentação

---

1. Introdução
2. Misturas Estudadas
3. Trabalhos Experimentais
4. Resultados
- 5. Avaliação Económica**
6. Conclusões

## 5. Avaliação Económica



**Custos: Betume – 60%; Agregados – 15%; outros – 25%**

**Espessura de Reforço: 12 a 18 cm**

**Relação entre as espessuras de fresagem e de reforço: 50% a 70%**

**Área a reabilitar: 160,000 m<sup>2</sup> (50% de material fresado não reutilizado)**

**Custos directos (não incluídos os ganhos ambientais)**

## 5. Avaliação Económica

---

- Mistura reciclada a quente usada em toda a espessura reabilitada

TR = 40% → redução de custos de **30,0%**

- Mistura reciclada usada apenas na camada de base e/ou regularização

TR = 40% → redução de custos de **19,0%**

# Estrutura da Apresentação

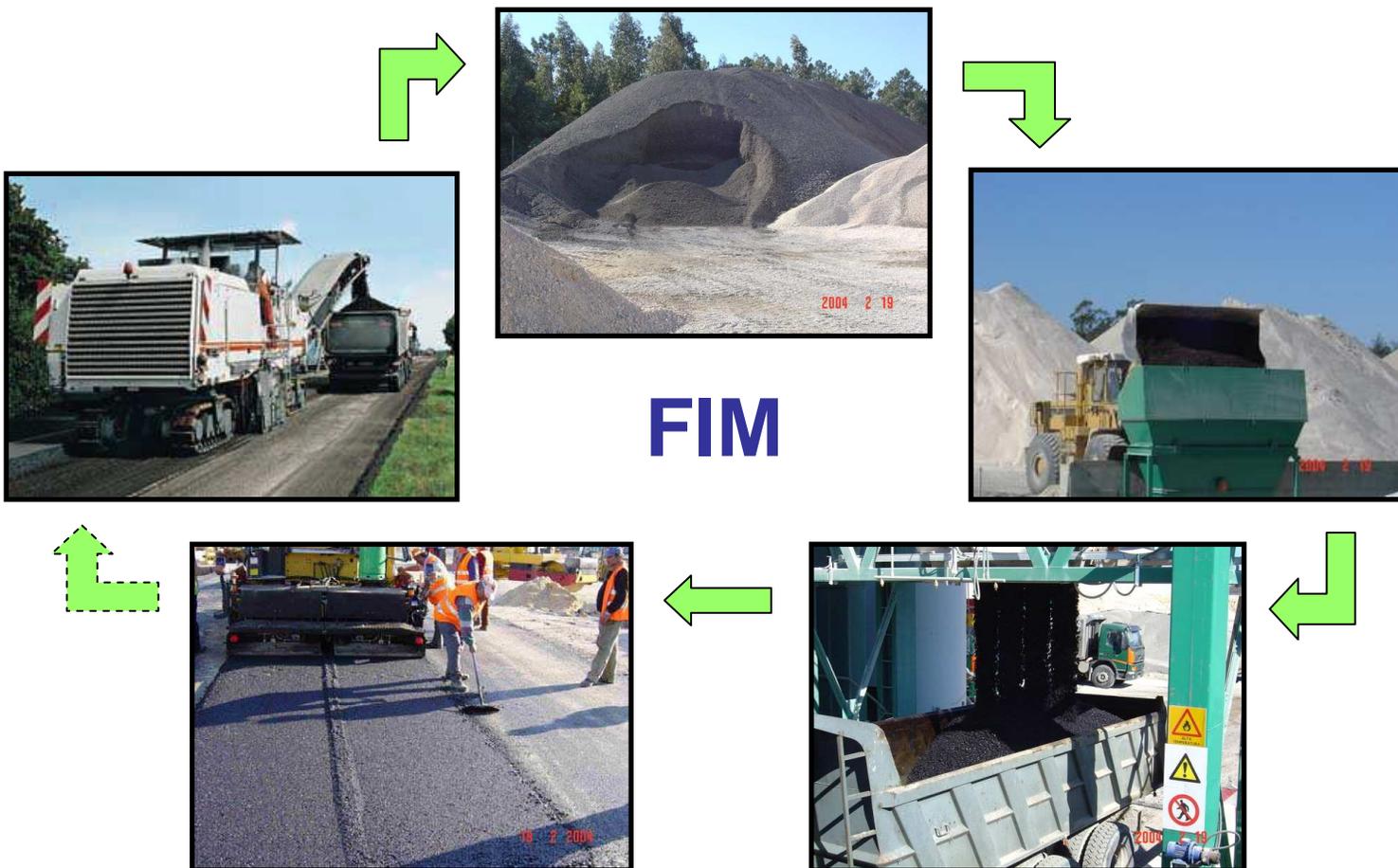
---

1. Introdução
2. Misturas Estudadas
3. Trabalhos Experimentais
4. Resultados
5. Avaliação Económica
- 6. Conclusões**

## 6. Conclusões

---

- As misturas recicladas a quente apresentaram um **comportamento mecânico pelo menos idêntico** ao do macadame betuminoso (MB) sem incorporação de material fresado.
- Em comparação com o MB, as MBRQ apresentaram:
  - a) Módulo de deformabilidade mais elevado;
  - b) Melhor resistência à fadiga;
  - c) Melhor resistência à deformação permanente.
- Para incorporações de 40% a **redução de custos directos** pode oscilar entre **20% e 30%**.
- Uma **adequada normalização de procedimentos** levará as administrações rodoviárias e as empresas do sector rodoviário a adoptar mais rapidamente esta técnica ambientalmente conforme.



MISTURAS BETUMINOSAS A QUENTE COM ALTA INCORPORAÇÃO DE MATERIAL FRESADO