

# **AVALIAÇÃO ECONÓMICA DE DIFERENTES SOLUÇÕES DE PAVIMENTAÇÃO AO LONGO DO CICLO DE VIDA DAS INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS**

Maria de Lurdes Antunes

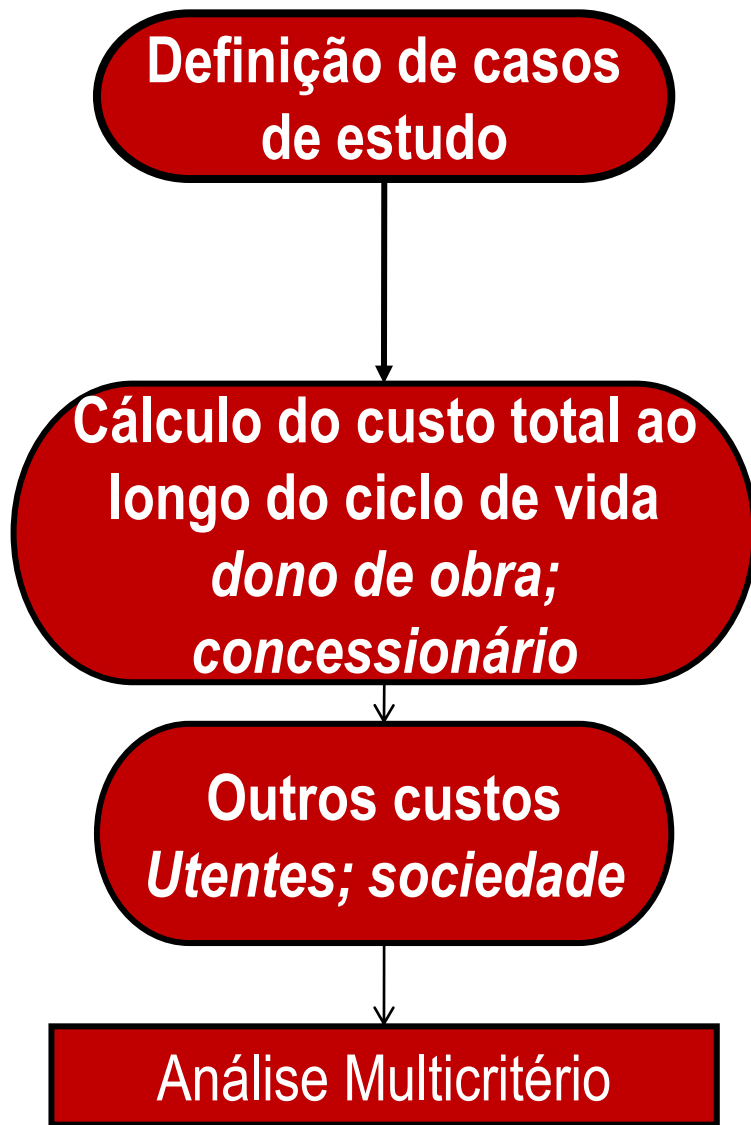
Vânia Marecos

# Objectivos

- > Melhor conhecimento dos custos associados a diferentes soluções de pavimentação ao longo do ciclo de vida das infra-estruturas
- > Minimização dos custos ao longo do ciclo de vida sem comprometer a qualidade do serviço

**Consideração de pavimentos destinados a diferentes cenários (classes de tráfego e tipos de fundação)**

# Plano de trabalhos



# Seleção de estruturas de pavimento



**Tráfego T5**  
**TMDAp entre 150 e 300**

**Fundação F2**  
**E entre 50 e 80 MPa**

**Fundação F3**  
**E entre 80 e 150 MPa**

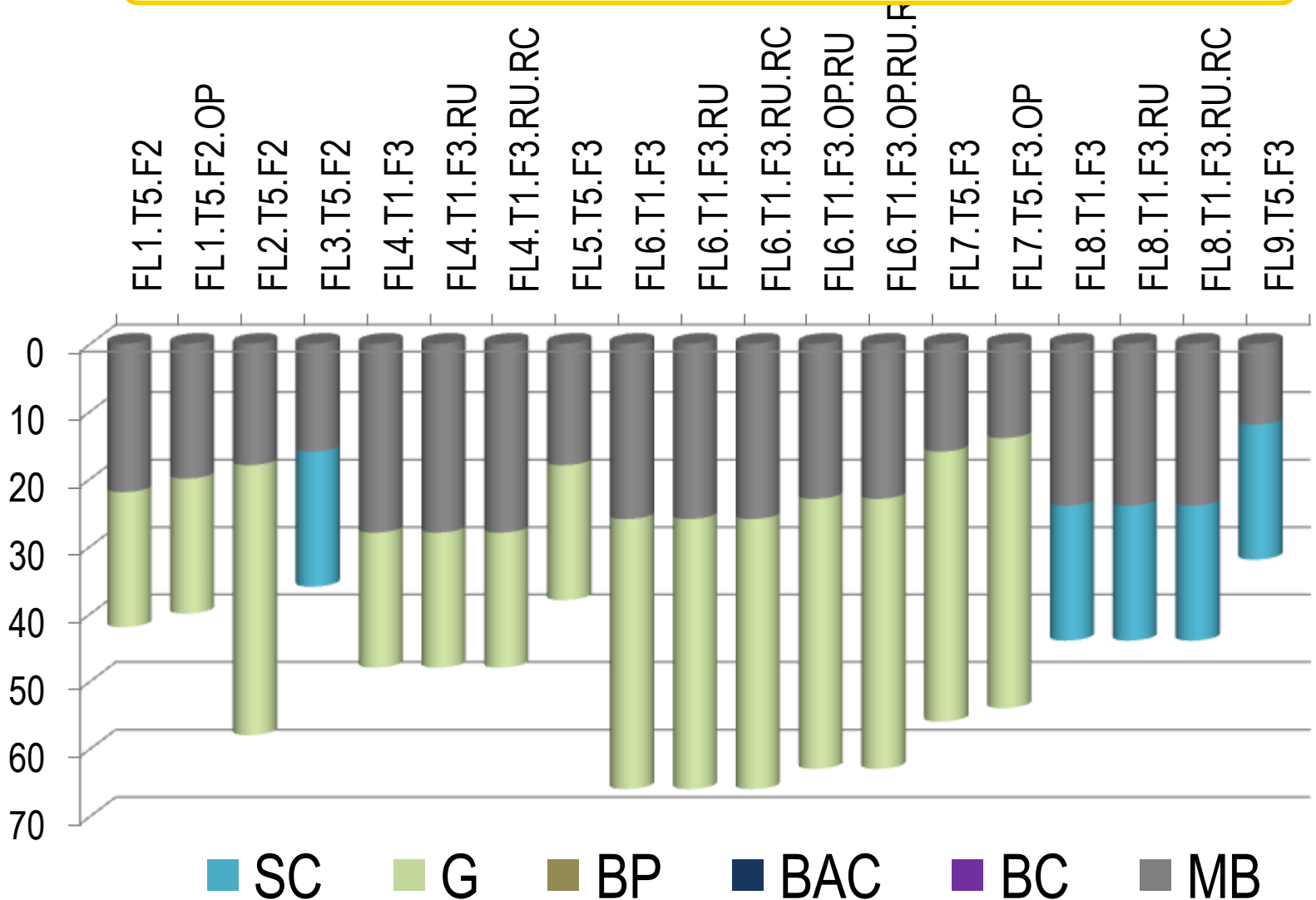
**Tráfego T1**  
**TMDAp entre 1200 e 2000**

**Fundação F3**  
**E entre 80 e 150 MPa**

**41 estruturas de pavimento**

# Estruturas de pavimento

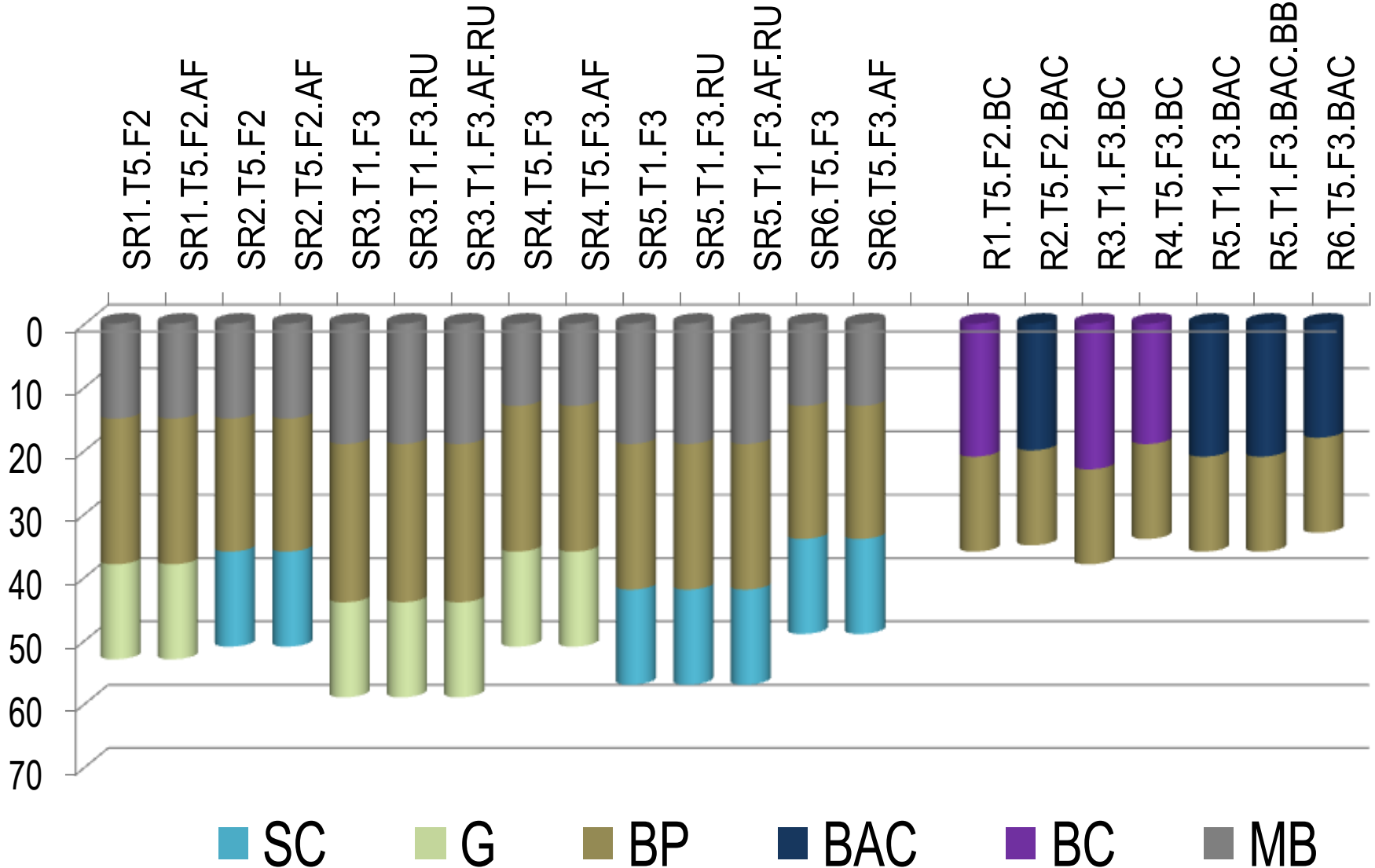
## Pavimentos flexíveis



# Estruturas de pavimento

## Pavimentos semi-rígidos

## Pavimentos rígidos



# Modelos de evolução das degradações nos pavimentos

## Pavimentos flexíveis

- Fendilhamento (superfície, origem estrutural)
- Deformação à superfície
- Degradação das características superficiais

## Pavimentos semi-rígidos

- Fendilhamento (superfície, origem estrutural)
- Reflexão de fendas (retracção da camada de base)
- Deformação à superfície
- Degradação das características superficiais

## Pavimentos rígidos

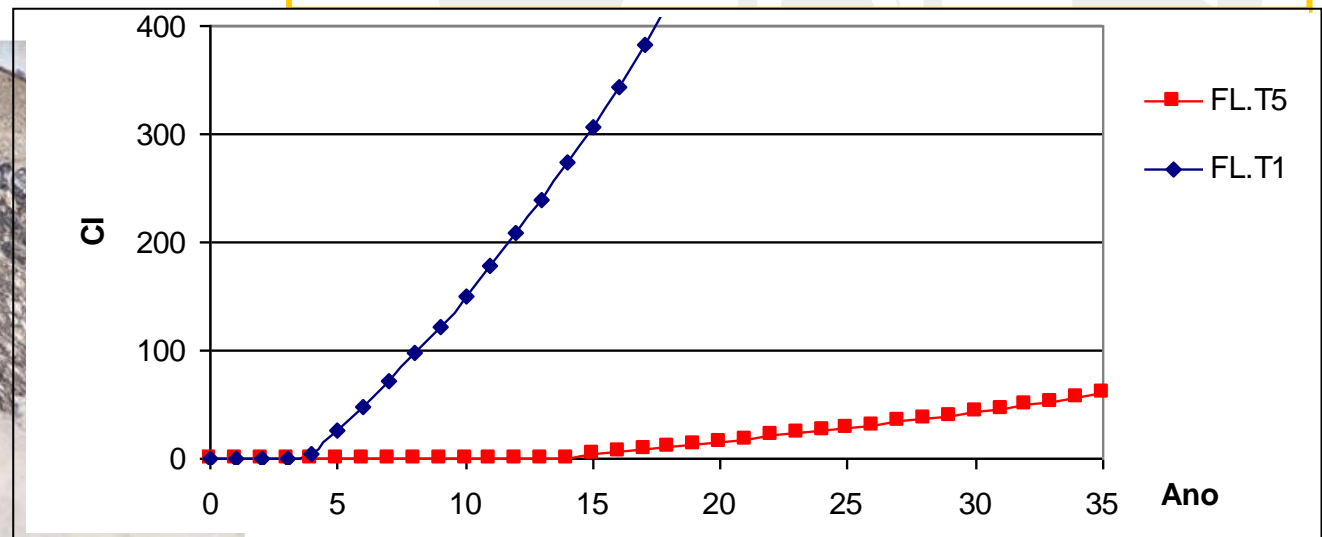
- Fendilhamento por fadiga
- Escalonamento entre lajes nos pav. betão com juntas
- Lasqueamento nos pavimentos em betão com juntas
- Degradação do selante
- Degradação das características superficiais

# Modelos de evolução das degradações nos pavimentos

## Pavimentos flexíveis

### Evolução do fendilhamento à superfície

- Modelos estabelecidos com base em resultados da observação do comportamento de secções piloto em Portugal e outros países Europeus
- Experiência das entidades responsáveis pelas infra-estruturas



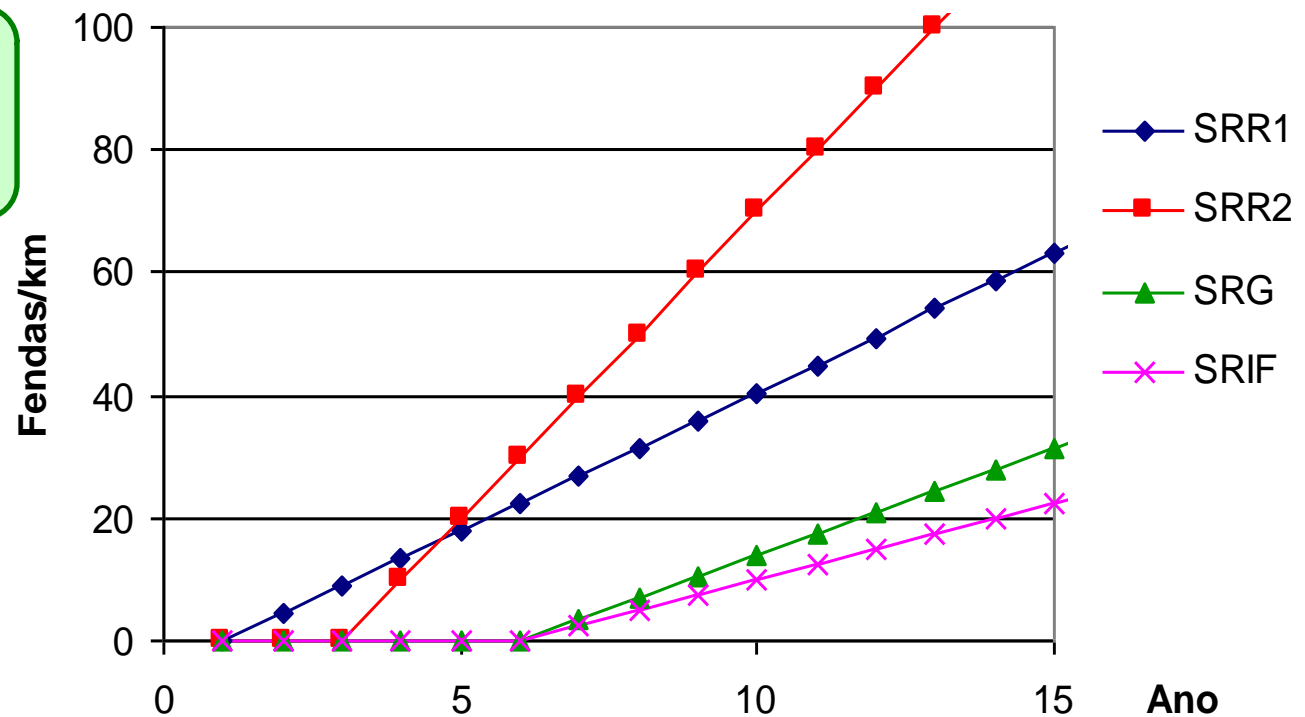


# Modelos de evolução das degradações nos pavimentos

Evolução da reflexão de fendas

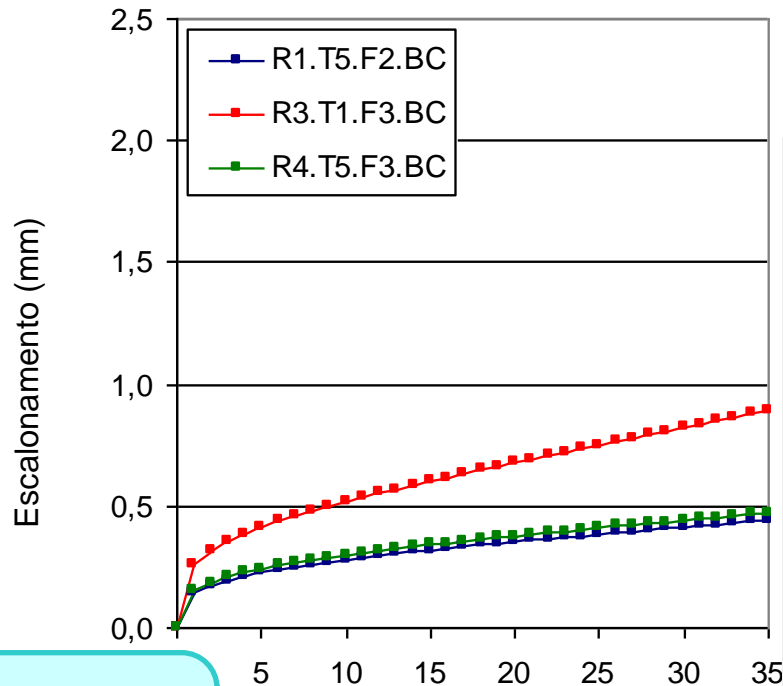
- Modelos estabelecidos com base em resultados da observação do comportamento de secções piloto em Portugal e outros

**Pavimentos semi-rígidos**

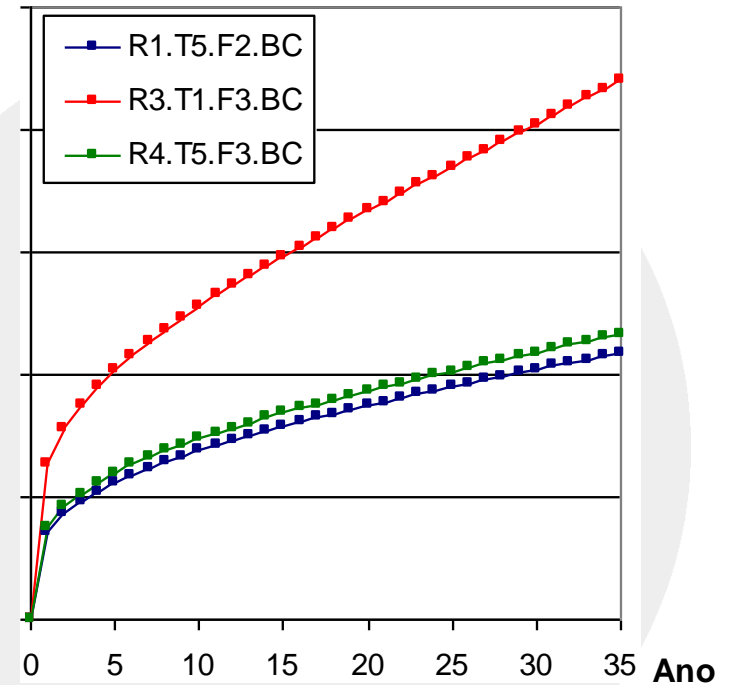


# Modelos de evolução das degradações nos pavimentos

Evolução do escalonamento nas juntas



(a) Juntas sem Passadores (LTE=0%)

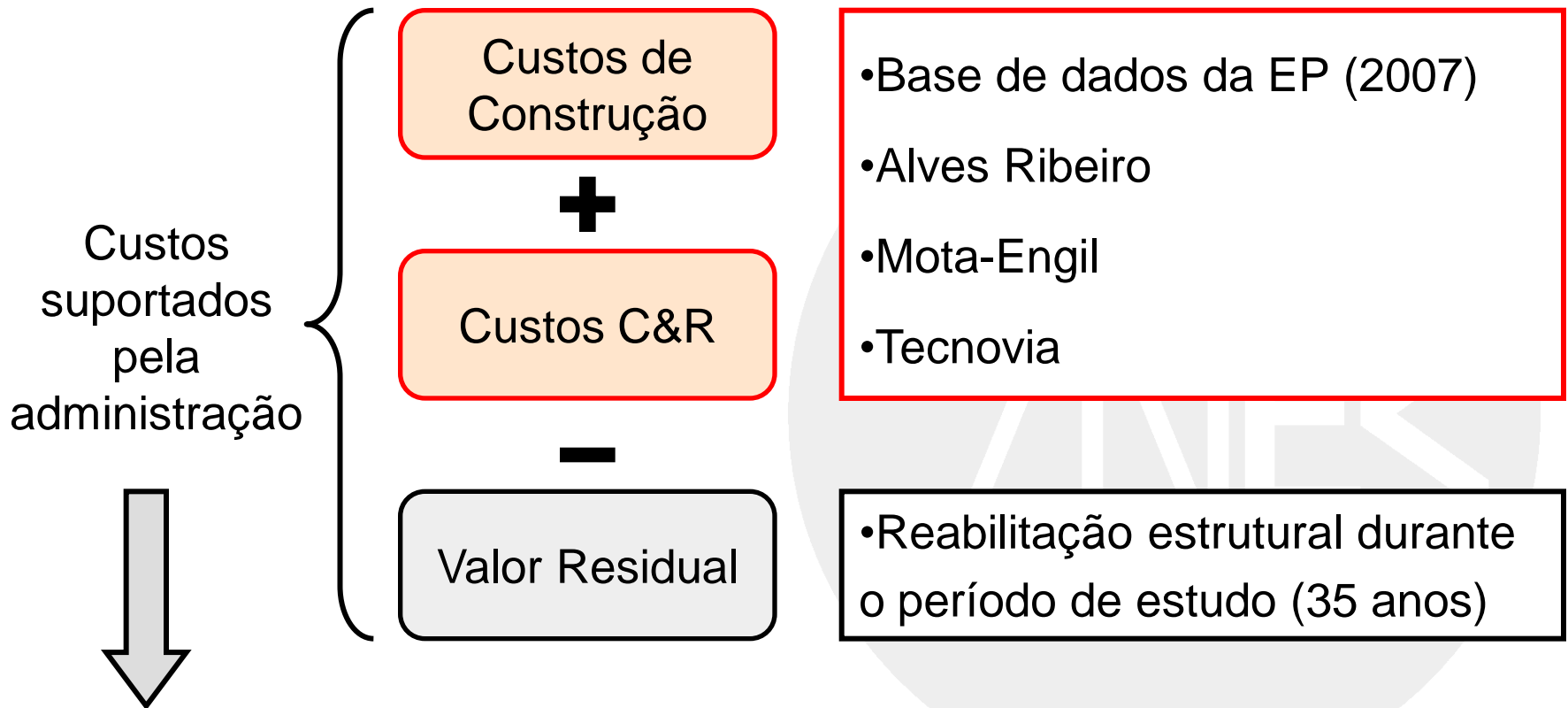


(b) Juntas com passadores de  $\phi=25$  mm (LTE=80%)

Pavimentos rígidos

- Bibliografia
- Experiência das entidades responsáveis pelas infra-estruturas

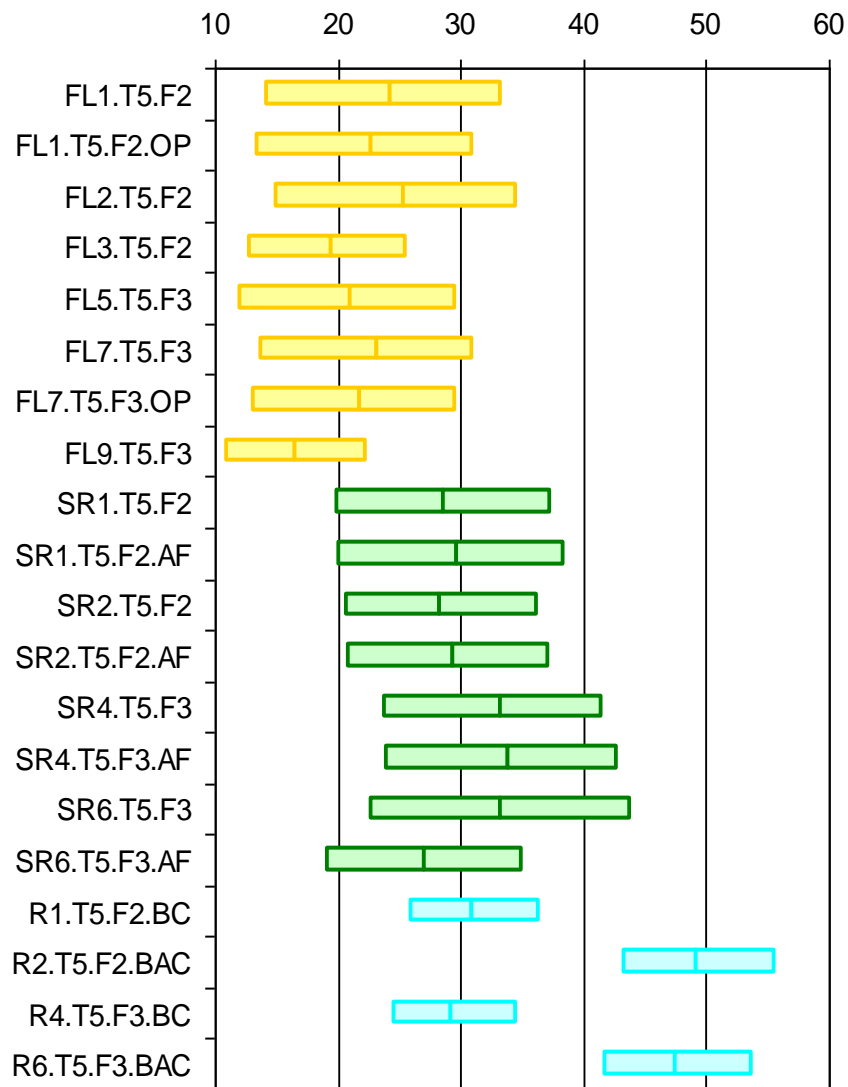
# Custos ao longo do ciclo de vida



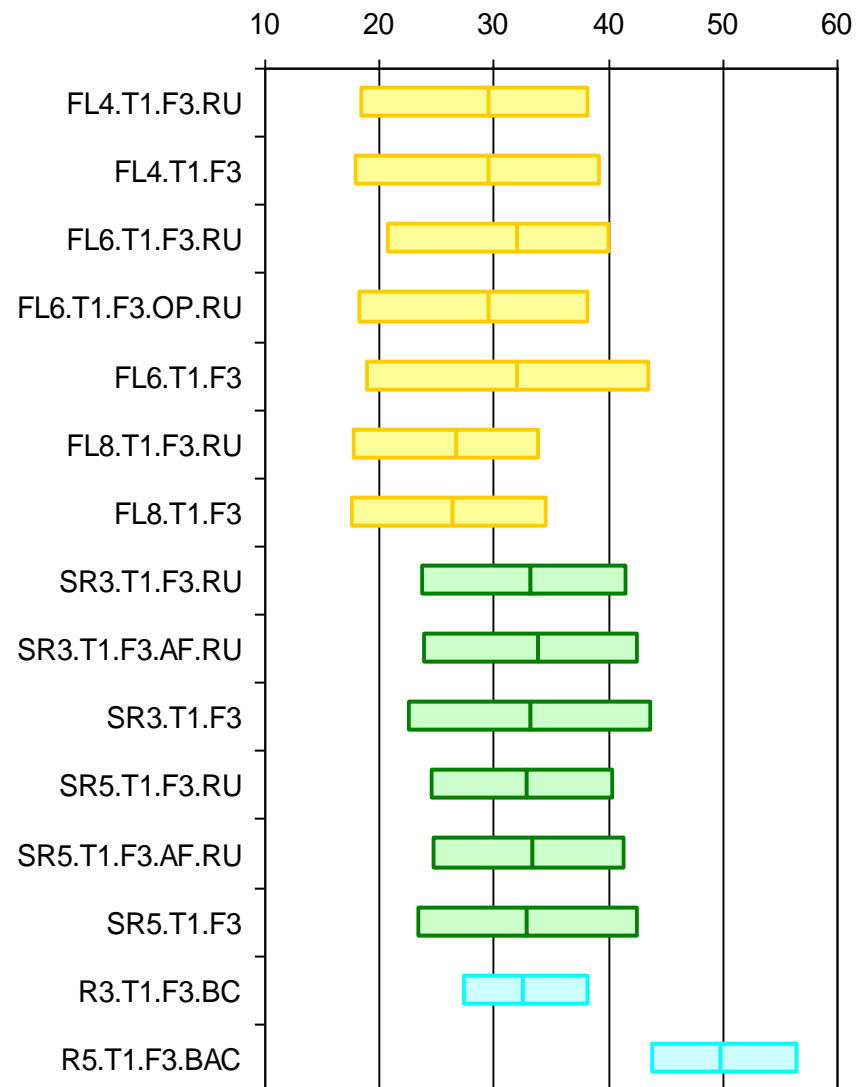
$$VA = \text{Custo de construção} + \sum_{k=1}^N \text{Custo } C\&R_k \left[ \frac{1}{(1+i)^{n_k}} \right] - VR \cdot \left[ \frac{1}{(1+i)^{35}} \right]$$

# Custos de construção (€/m<sup>2</sup>)

## Tráfego T5



## Tráfego T1



# Custos de C&R (€/m<sup>2</sup>)

Id.	Intervenção (combinação de acções)	Custo mín. (€/m <sup>2</sup> )	Custo méd. (€/m <sup>2</sup> )	Custo máx. (€/m <sup>2</sup> )
1	Fresagem e reposição 5 cm, nova camada de desgaste em BD (5 cm)	3,91 €	7,39 €	11,60 €
2	Fresagem e reposição 5 cm, nova camada de desgaste em BDRug (4 cm)	4,71 €	7,03 €	9,08 €
3	Fresagem e reposição 5 cm, reforço em MBD (5 cm), nova camada de desgaste em BD (5 cm)	6,89 €	12,45 €	18,44 €
4	Fresagem e reposição 5 cm, reforço em MB (7 cm), nova camada de desgaste em BD (5 cm)	7,86 €	14,09 €	20,62 €
5	Fresagem e reposição 5 cm, reforço em MB (8 cm), nova camada de desgaste em BDRug (4 cm)	9,63 €	14,58 €	18,43 €
6	Reciclagem com cimento em 20 cm de profundidade, camada de MB com 6 cm	6,72 €	11,26 €	16,58 €
7	Reciclagem com cimento em 20 cm de profundidade, camada de MB com 6 cm, camada de desgaste em BDRug (4 cm)	10,00 €	14,95 €	19,11 €

# Custos de C&R (€/m<sup>2</sup>)

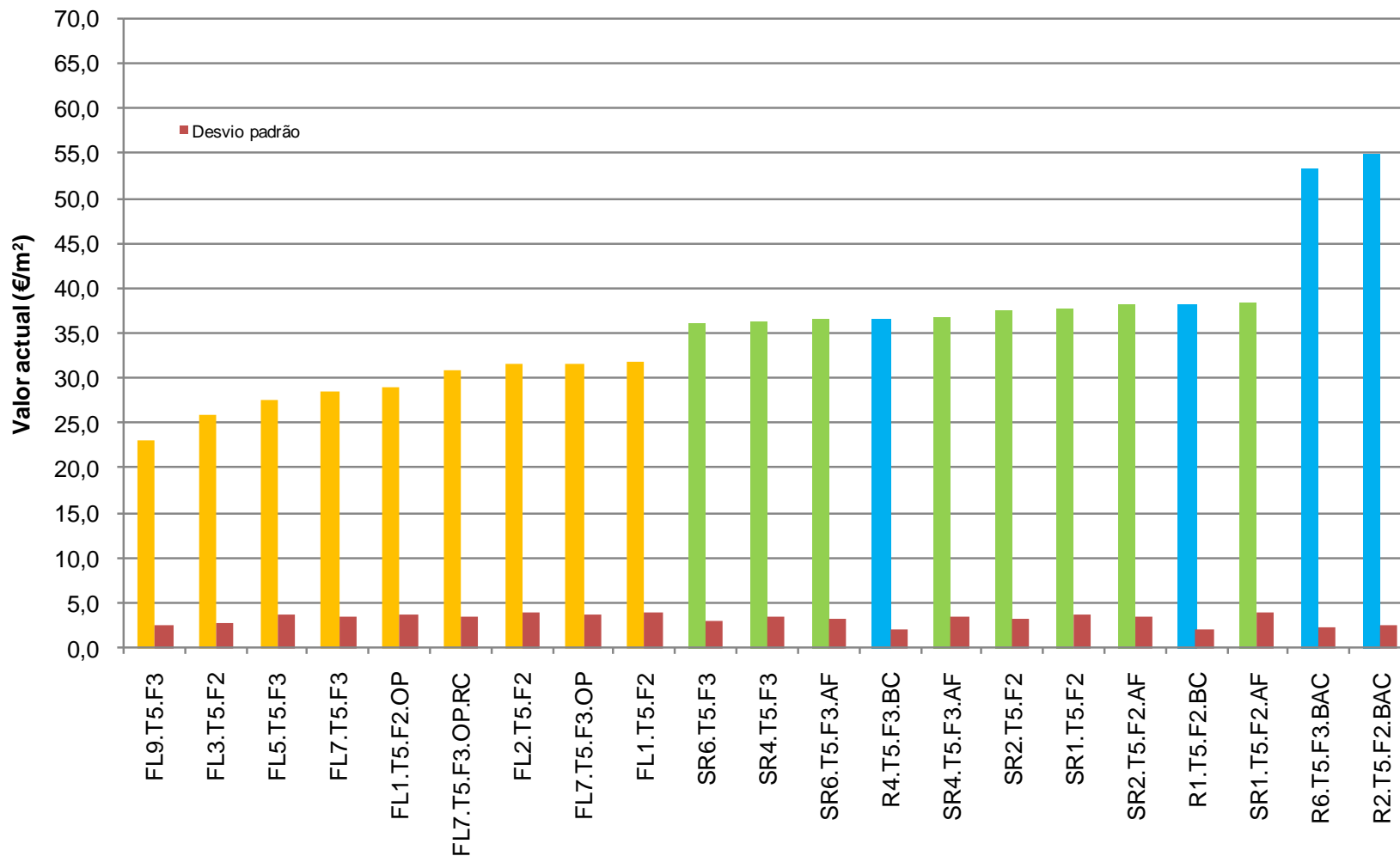
Id.	Intervenção (combinação de ações)	Custo mín. (€/m <sup>2</sup> )	Custo méd. (€/m <sup>2</sup> )	Custo máx. (€/m <sup>2</sup> )
8	Limpeza e selagem de fendas transversais (em pavimentos semi-rígidos)	0,05 €	0,05 €	0,05 €
9	Reparação pontual de juntas transversais (em 5% das juntas), limpeza e selagem de juntas longitudinais e transversais (em BC)	1,53 €	1,72 €	1,91 €
10	Limpeza e selagem de juntas longitudinais (em BAC)	0,95 €	1,07 €	1,19 €
11	Reabilitação da textura superficial através de grenalhagem (em pavimentos rígidos)	1,90 €	1,90 €	1,90 €
12	Microfresagem e colocação de camada de desgaste em BDRug BB (4 cm)	6,29 €	6,36 €	6,46 €
13	Microfresagem, membrana anti-fissuras (SAMI) e colocação de camada de desgaste em BDRug BB (4 cm)	7,44 €	7,92 €	8,05 €

# Programação das acções de C&R

## Exemplo

Estrutura de pavimento	Período de dimensionamento (anos)	Programação das actividades de conservação e reabilitação					
		Ano	10	20	32		
FL6.T1.F3.RU.RC	35	Ano	10	20	32		
		Actividade	2	2	7		
FL6.T1.F3.OP.RU	20	Ano	10	20	30		
		Actividade	2	5	2		
FL6.T1.F3.OP.RU.RC	20	Ano	10	20	30		
		Actividade	2	7	2		
FL7.T5.F3	35	Ano	15	32			
		Actividade	1	3			
FL7.T5.F3.OP	20	Ano	17	32			
		Actividade	3	1			
FL7.T5.F3.OP.RC	20	Ano	17	32			
		Actividade	6	1			
FL8.T1.F3	20	Ano	10	20	30		
		Actividade	1	4	1		
FL8.T1.F3.RU	20	Ano	10	20	30		
		Actividade	2	5	2		
FL8.T1.F3.RU.RC	20	Ano	10	20	30		
		Actividade	2	7	2		
FL9.T5.F3	25	Ano	15	30			
		Actividade	1	3			

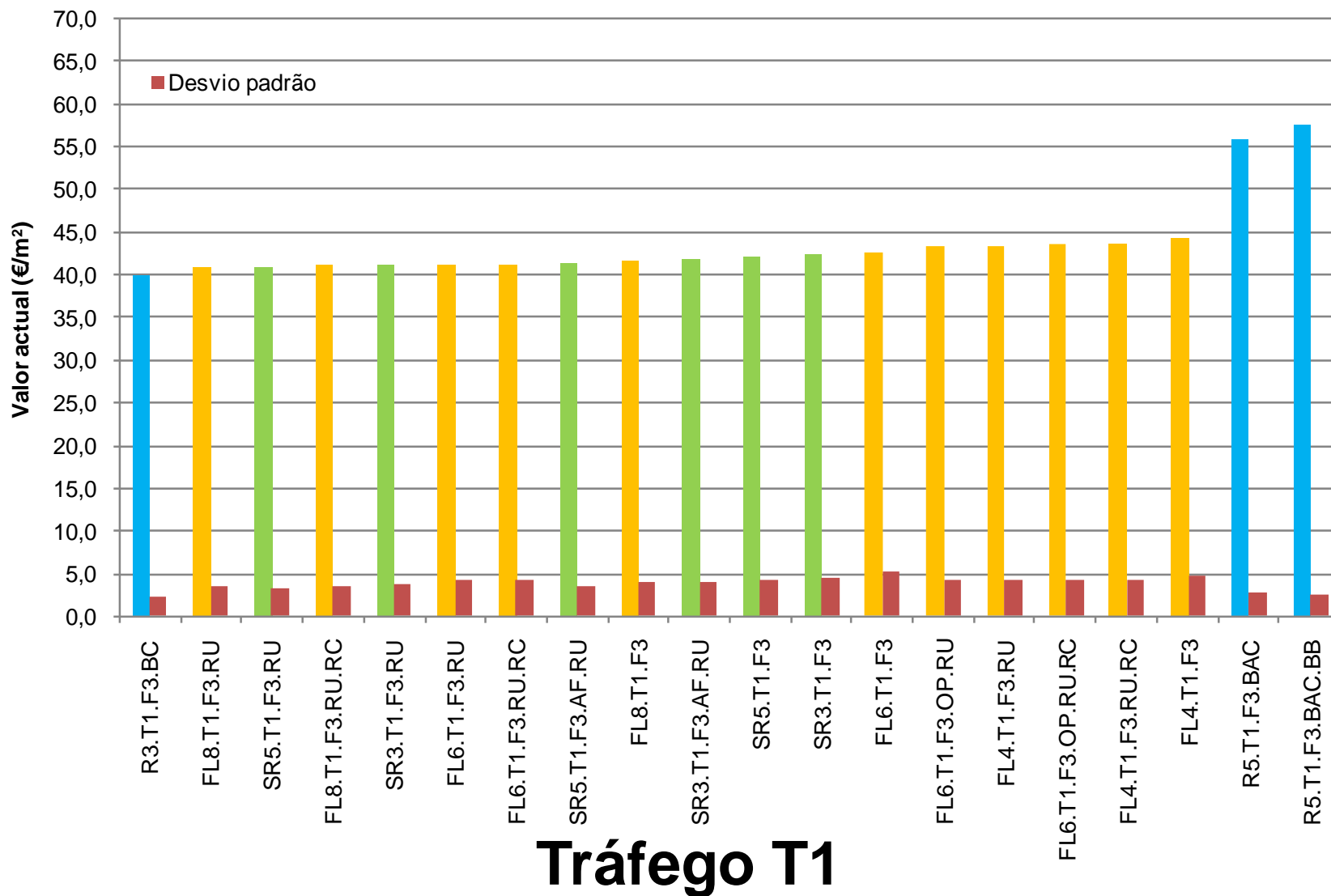
# Valor Actual



## Tráfego T5



# Valor Actual



# Consideração de outros custos

## > Custos suportados pelos utentes

- Custos de operação dos veículos equivalentes em todas as soluções
- Custos devidos aos condicionamentos de tráfego durante as intervenções de C&R proporcionais ao tempo de execução dos trabalhos

## > Custos ambientais

- Emissões de CO<sub>2</sub> difíceis de comparar para as diversas soluções
- Custos devidos ao consumo de recursos naturais proporcionais ao volume de materiais envolvido

## > Utilização de análise multi-critério para avaliar o desempenho

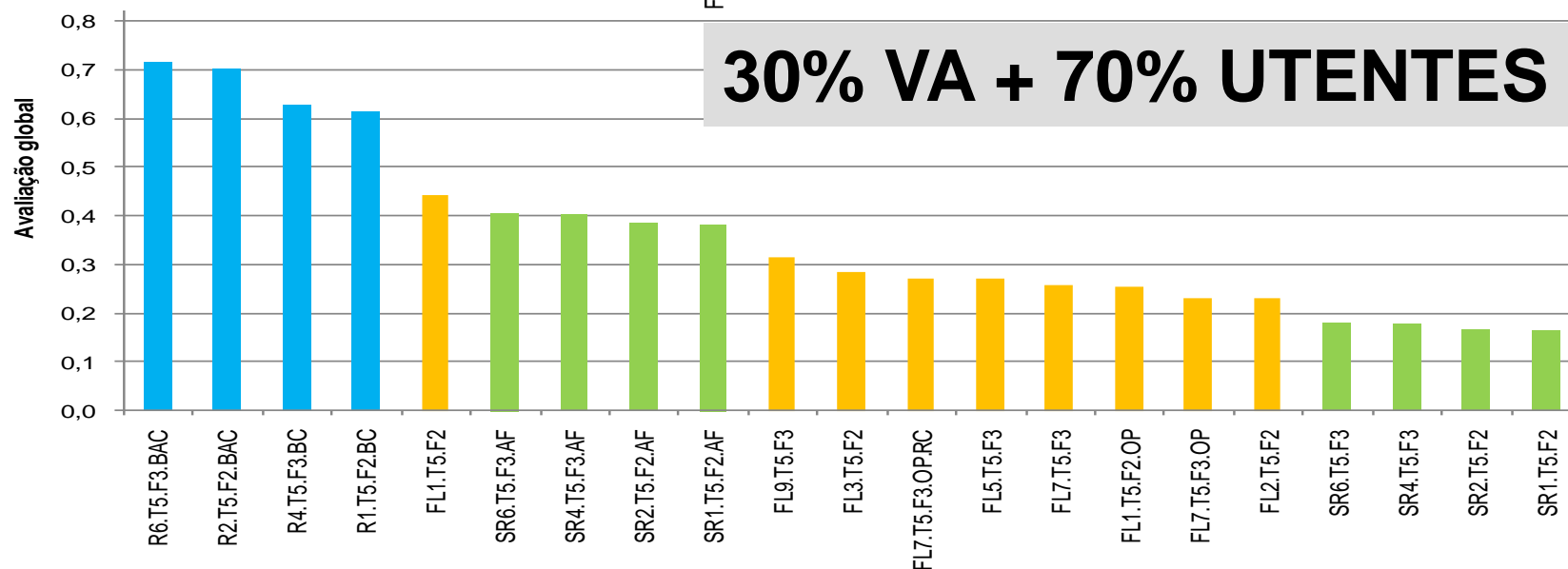
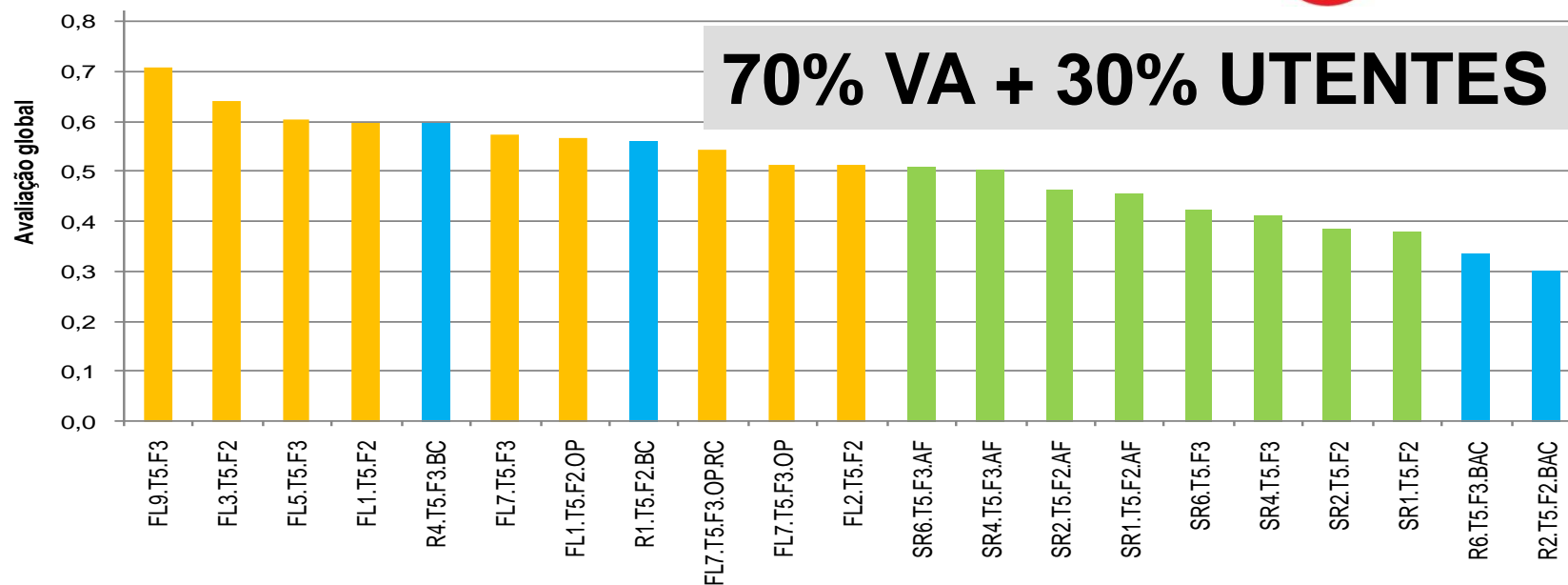
# Custo dos Utentes

Id.	Intervenção (combinação de acções)	Duração
		(dias)
1	Fresagem e reposição 5 cm, nova camada de desgaste em BD (5 cm)	29
2	Fresagem e reposição 5 cm, nova camada de desgaste em BDRug (4 cm)	28
3	Fresagem e reposição 5 cm, reforço em MBD (5 cm), nova camada de desgaste em BD (5 cm)	39
4	Fresagem e reposição 5 cm, reforço em MB (7 cm), nova camada de desgaste em BD (5 cm)	42
5	Fresagem e reposição 5 cm, reforço em MB (8 cm), nova camada de desgaste em BDRug (4 cm)	42
6	Reciclagem com cimento em 20 cm de profundidade, camada de MB com 6 cm	37
7	Reciclagem com cimento em 20 cm de profundidade, camada de MB com 6 cm, camada de desgaste em BDRug (4 cm)	47

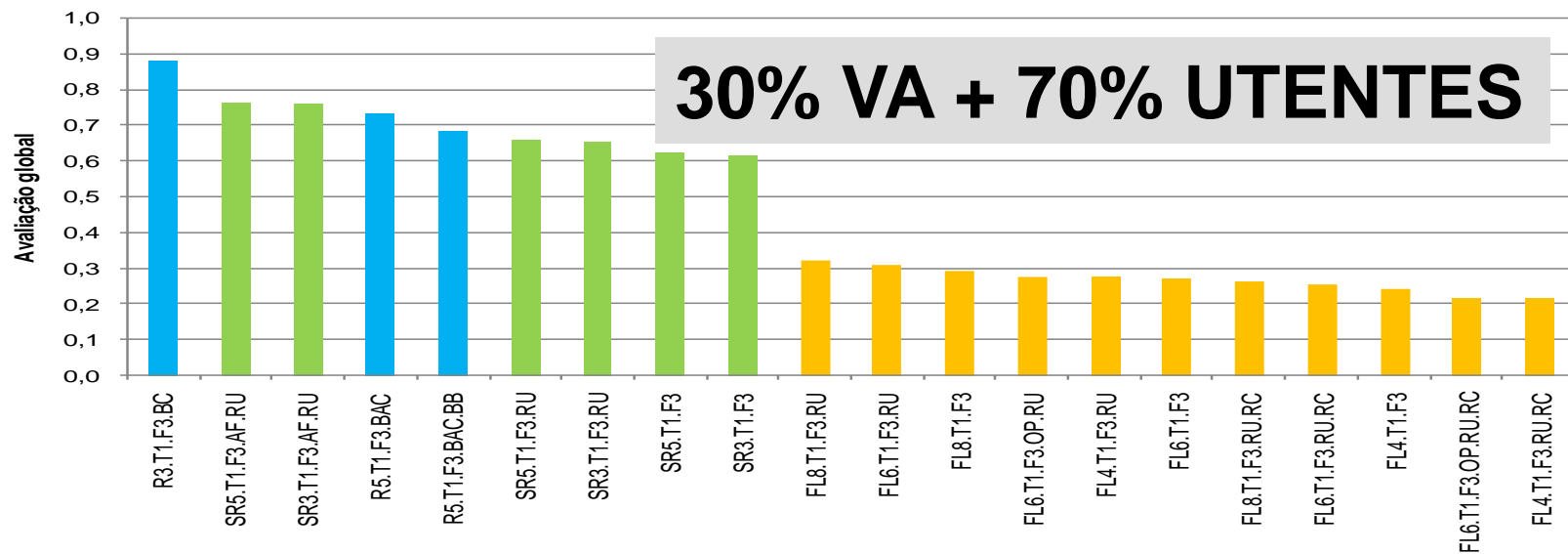
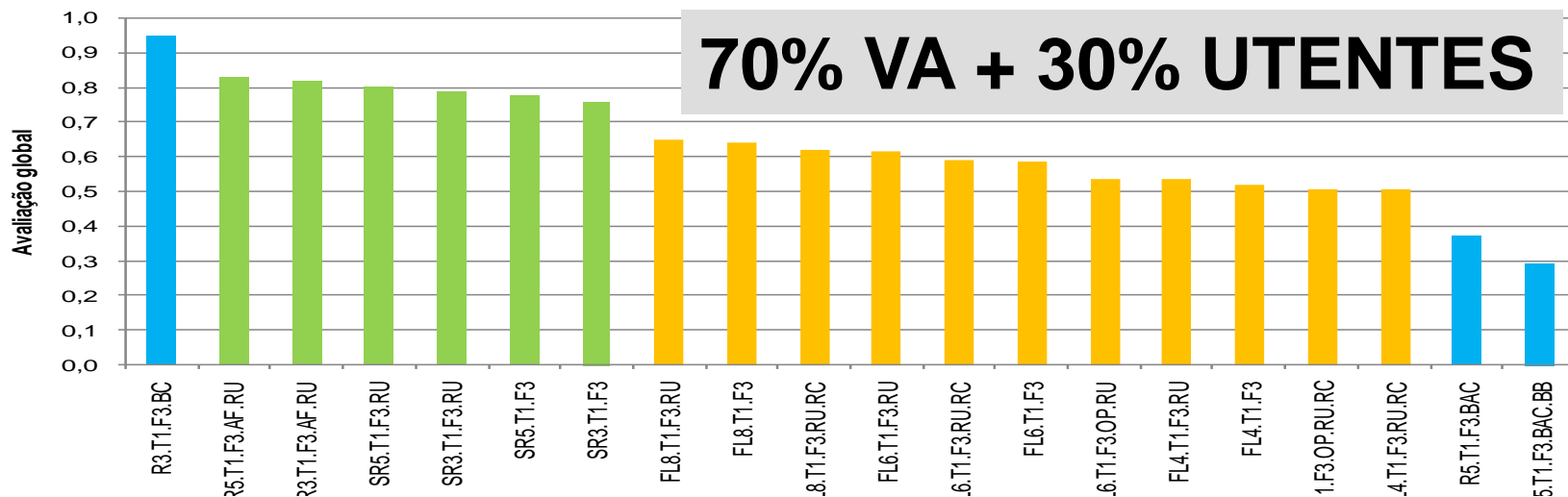
# Custo dos Utentes

Id.	Intervenção (combinação de acções)	Duração
		(dias)
8	Limpeza e selagem de fendas transversais (em pavimentos semi-rígidos)	4
9	Reparação pontual de juntas transversais (em 5% das juntas), limpeza e selagem de juntas longitudinais e transversais (em BC)	14
10	Limpeza e selagem de juntas longitudinais (em BAC)	7
11	Reabilitação da textura superficial através de grenalhagem (em pavimentos rígidos)	18
12	Microfresagem e colocação de camada de desgaste em BDRug BB (4 cm)	19
13	Microfresagem, membrana anti-fissuras (SAMI) e colocação de camada de desgaste em BDRug BB (4 cm)	30

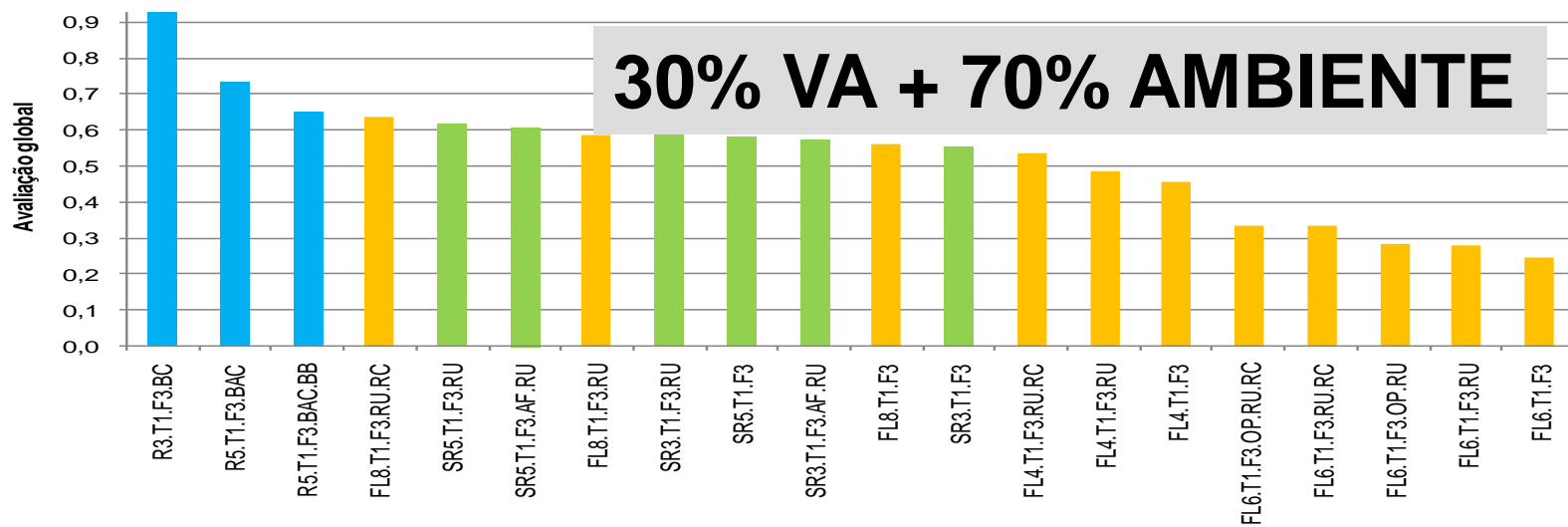
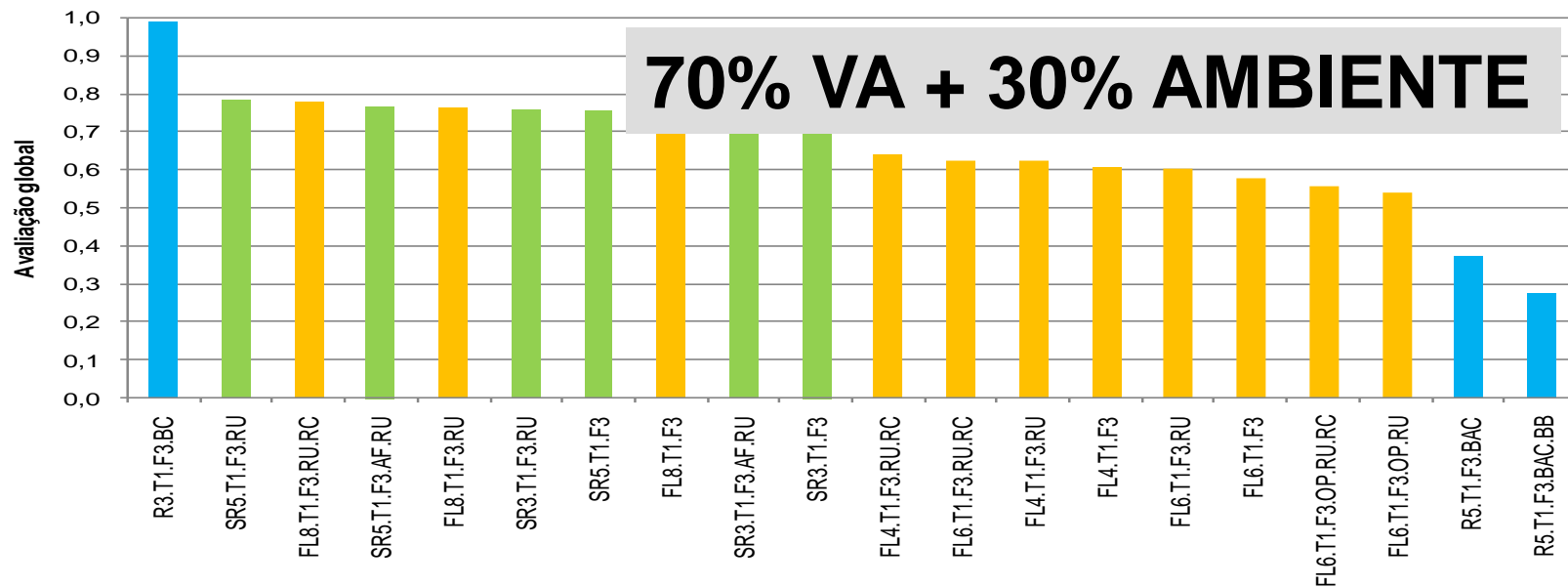
# Análise multi-critério: Tráfego T5



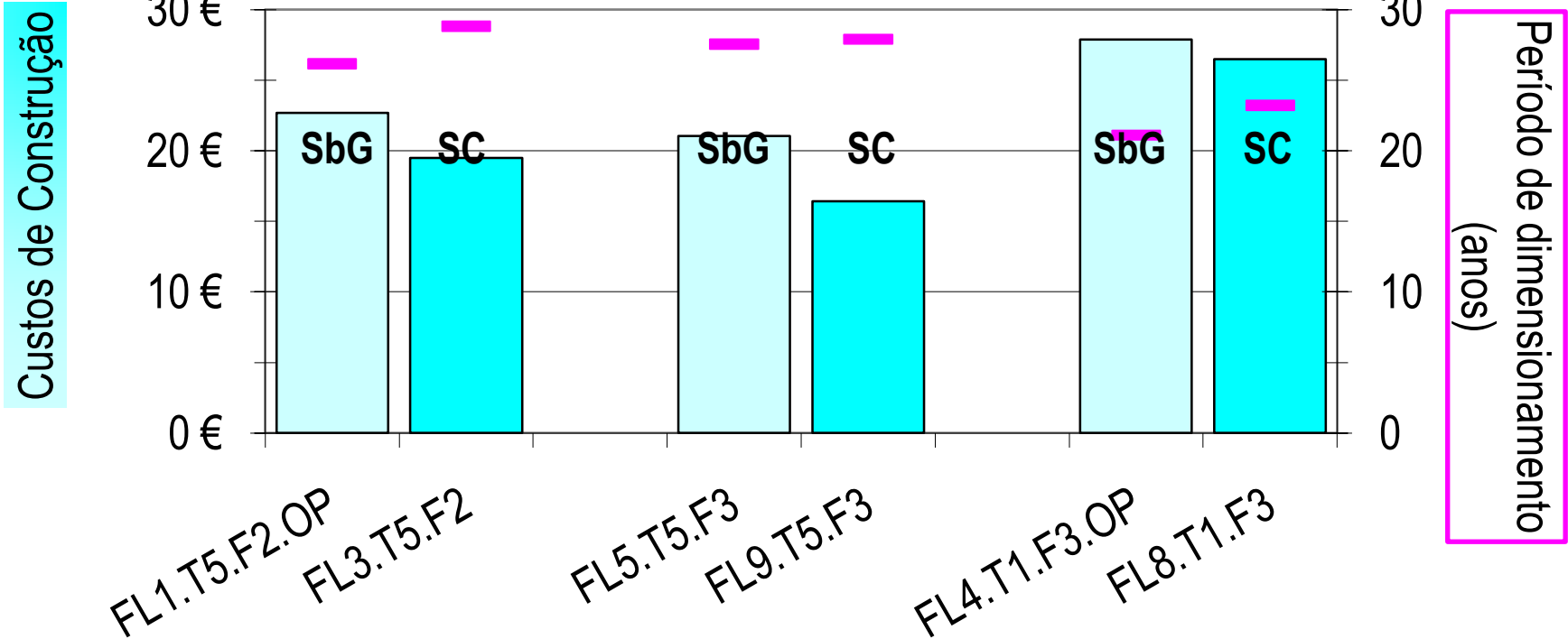
# Análise multi-critério: Tráfego T1



# Análise multi-critério: Tráfego T1



# Materiais com ligantes hidráulicos vs Materiais Granulares em camadas de sub-base





# Utilização de ligantes hidráulicos em leitos de pavimento

<b>Alternativas para obter uma fundação F3 a partir de um Solo inicial S<sub>2</sub></b>			
<b>Tipo de solo</b>	<b>S<sub>3</sub></b>	<b>S<sub>4</sub></b>	<b>ST<sub>2</sub></b>
<b>Espessura</b>	60 cm	30 cm	25 cm
<b>Custo unitário de construção</b>	3,62 €/m <sup>2</sup>	2,70 €/m <sup>2</sup>	1,89 €/m <sup>2</sup>

Nota: Substituição da fundação existente e sua reposição até à cota inicial (não tem em consideração movimentos de terras que possam ser necessários executar por forma a garantir a rasante estabelecida para o pavimento)

# Conclusões

- > A utilização de solo-cimento em camadas de sub-base de pavimentos flexíveis e semi-rígidos é mais económica
- > Para tráfegos mais intensos, os pavimentos semi-rígidos conduzem a menores custos suportados pela Administração ao longo do ciclo de vida
- > Pavimentos em BAC representam a solução com maiores custos; no entanto, a informação relativa a custos de construção destes pavimentos era reduzida.

# Conclusões

- > Análise multi-critério demonstra a importância da utilização de pavimentos rígidos e semi-rígidos na redução dos custos dos utentes e do consumo de matérias primas
- > Quanto maior o factor de ponderação atribuído aos custos dos utentes e ao ambiente, melhor o desempenho económico das estruturas de pavimento rígido e semi-rígido
- > Reciclagem com cimento constitui solução competitiva para a reabilitação de pavimentos

# Colaborações

- > Vânia Marecos (LNEC, Departamento de Transportes)
- > José Neves (IST)
- > João Morgado (IST)



**Obrigada pela vossa atenção!**

2008/03/04