

Incorporação de Agregados Reciclados em Camadas Granulares em Pavimentos de Estradas de Elevado Tráfego

Anabela Martins, Infraestruturas de Portugal, IP, S.A
Rosa Mendes, JJR.



ÍNDICE

1. Introdução e enquadramento
2. Estudo de Caso
 1. Fase de Projeto
 1. Caracterização da situação existente
 2. Soluções preconizadas em projeto
 2. Fase de Obra
 1. Caracterização da situação existente
 2. Solução de pavimentação adaptada
 3. Camadas de misturas não ligadas com agregados reciclados de betão
 4. Trecho experimental
3. Considerações finais

Introdução e enquadramento

A nível mundial cerca de 50% dos materiais extraídos são para fornecimento de agregados para a construção de infraestruturas.

Objetivo: minimizar resíduos e a utilização de recursos através da reutilização do produto em fase final de vida.

Utilização de agregados reciclados em substituição dos agregados naturais, provenientes do próprio setor.



Introdução e enquadramento

Tipologia de pavimentos

1. Flexível
2. Rígido
3. Semirrígido

Reabilitação de pavimentos
rígidos em fim de vida



Caso de estudo: IC2/EN1 Beneficiação – Asseiceira/ Freires

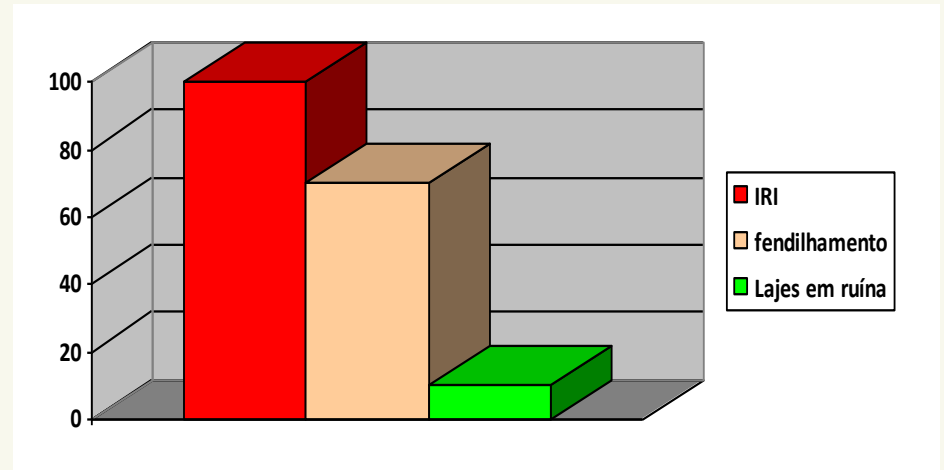
Fase de projeto

1. Troço IC2 (EN1) localiza-se entre a Asseiceira e Freires, concelhos de Rio Maior e Alcobaça, numa extensão total de 20,3 km.
2. Perfil transversal tipo apresenta uma plataforma de 12 m de largura, faixa de rodagem de 7 m e bermas 2,5 m cada.
3. Tráfego pesado muito elevado:

Trecho	Zona	2016	
		TMDAp/ sentido	Classe Tráfego
Km 65+200 - km 77+215	1 - Pavimento rígido	1786	T1
Km 77+215 – km 85+500	2 - Pavimento flexível	2292	T0

Caracterização da Situação Existente

1. O pavimento existente é do tipo rígido, constituído por lajes de betão.
2. Degradação moderada a severa existente: apresentava patologias em quase 70% da área.
3. Classificação do IRI: Mau.
4. A avaliação da capacidade de carga revelou um bom desempenho e garantiu uma vida útil, para cerca de 90% da área, de mais de 10 anos.



Soluções de pavimentação preconizadas em projeto

Propostas de Intervenção - Reabilitação do pavimento rígido

Situação	Solução	Estrutura de pavimentação proposta
Zonas de manutenção das lajes de cimento com más características funcionais	Reforçar o pavimento com duas camadas de misturas betuminosas (100% da extensão)	0,06m SMA16 surf PMB 45/80-75 AF 0,07m AC20 reg 35/50 (MBD)
	+	
	Tratamento de fendas (30%-40% da extensão)	0,23m Laje de betão 0,15m AGECE 0,10m ABGE
	+	
	Eventual tratamento da camada subjacente à laje	
Zonas com lajes de betão degradadas	Reforçar o pavimento com duas camadas de misturas betuminosas (100% da extensão)	0,06m SMA16 surf PMB 45/80-75 AF 0,07m AC20 reg 35/50 (MBD)
	+	
	Demolição/reconstrução das lajes de betão (10% da extensão)	0,23m Laje de betão 0,15m AGECE 0,10m ABGE
	+	
	Eventual tratamento da camada subjacente à laje	

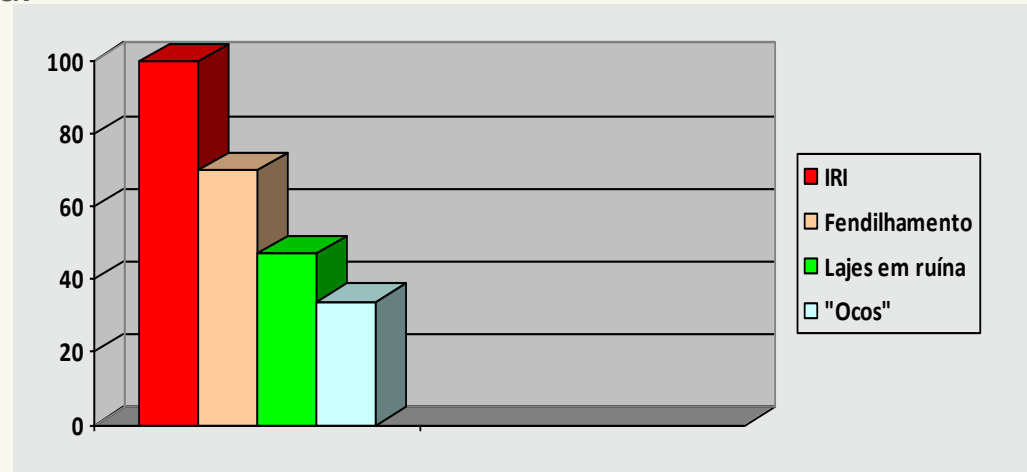
Fase de Obra

Caracterização do estado do pavimento

- Decorridos 5 anos foi realizada nova caracterização do estado do pavimento.
- Incremento de 400% da área das lajes a necessitar de demolição e reconstrução.
- Verificou-se a existência de vazios (ocos) entre a laje de betão e a camada
- Face à evolução do estado de degradação considerou-se que a solução de projeto não apresentava a melhor resposta.

Desenvolvimento de alteração à solução inicial:

Pavimento rígido passou a pavimento semirrígido de estrutura indireta.



Solução de pavimentação adaptada

Proposta de Intervenção - Reabilitação do pavimento rígido

Situação	Solução	Estrutura de pavimentação proposta
Em todas as zonas do troço	Pavimento semirrígido de estrutura indireta	0,06m SMA16 surf PMB 45/80-75 AF
	1 - Manter as misturas betuminosas preconizadas	0,07m AC20 reg 35/50 (MBD)
	2 - Substituição da laje por duas camadas: AC20 base 35/50 (MB) + 15cm de ABGE (70%) + RCD (30%)	0,08m AC20 base 35/50 (MB) 0,15m Mistura de ABGE + RCD
	3 - Manter as camadas de agregado britado com cimento - AGEC e ABGE	0,15m AGEC 0,10m ABGE

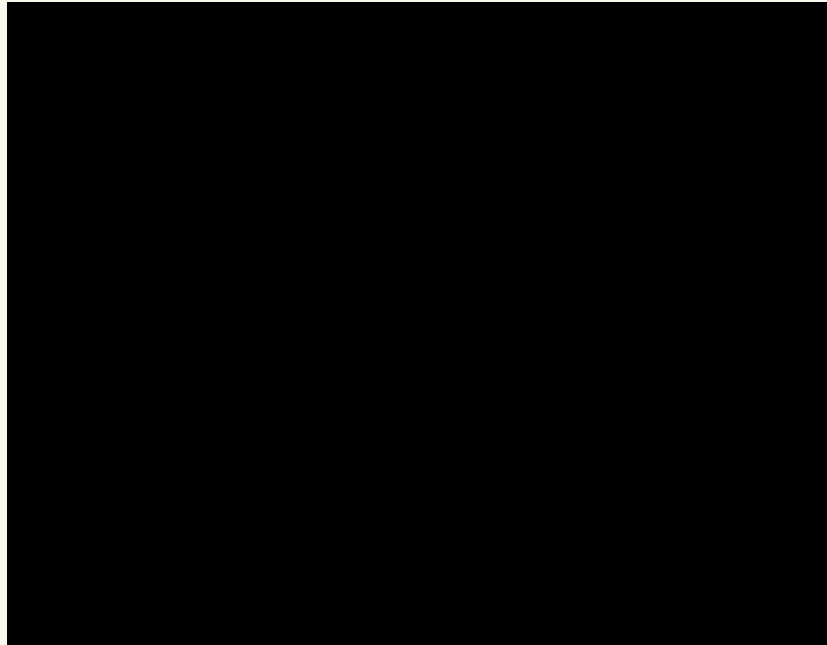
Camadas de misturas não ligadas com agregados reciclados de betão

Trabalho prévio de picagem das lajes.



Camadas de misturas não ligadas com agregados reciclados de betão

Demolição das lajes de betão.



Camadas de misturas não ligadas com agregados reciclados de betão

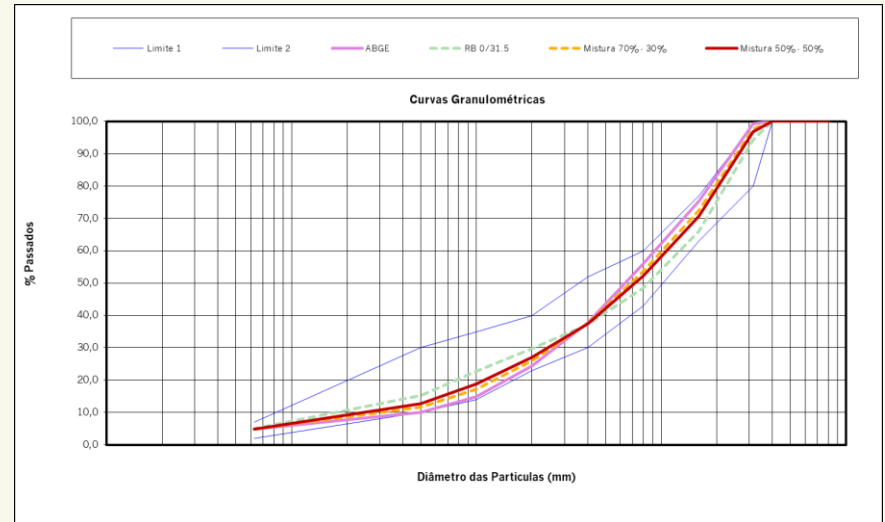
- Transporte dos resíduos para a central de britagem.
- Resíduos foram processados, taqueados e britados.
- Ensaios requeridos para marcação CE.
- Elaboração do estudo laboratorial da própria mistura.



Camadas de misturas não ligadas com agregados reciclados de betão

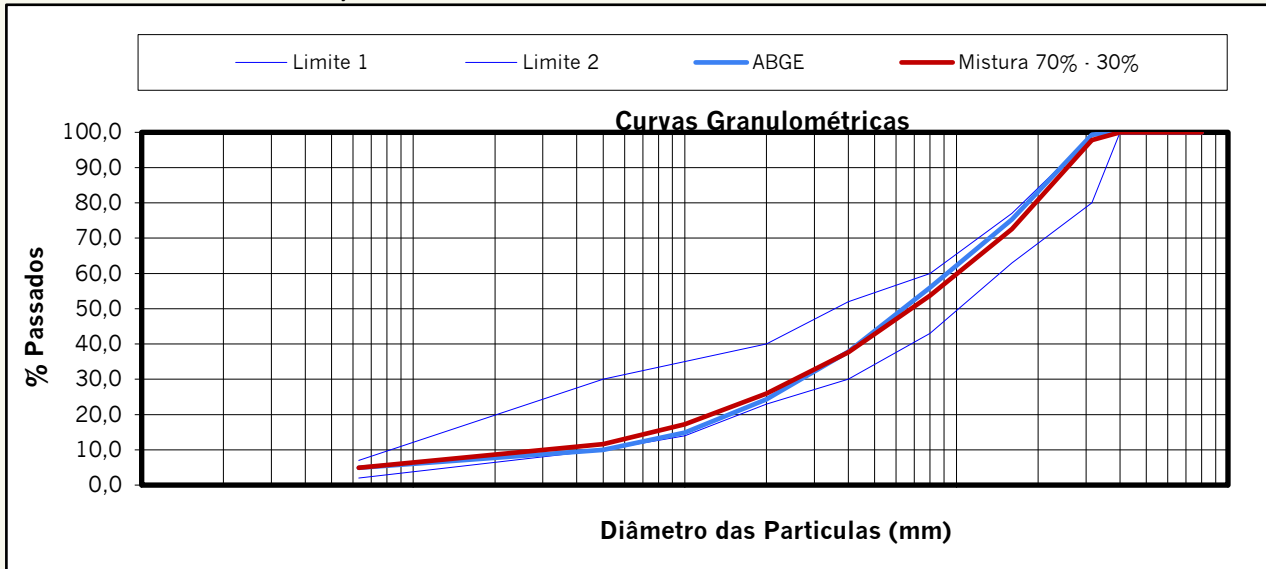
- Elaboração do estudo de composição da mistura Agregado 0/31,5 + Agregado Reciclado RB 0/31,5 nas percentagens 70+30, respetivamente, cumprindo com os parâmetros definidos em caderno de encargos para camada de base;

Peneiros	ABGE	AGREGADO RECICLADO RB 0/315	ABGE+ AGREGADO RECICLADO RB 0/315 (Mistura 70%/30%)	ABGE+ AGREGADO RECICLADO RB 0/315 (Mistura 50%/50%)	Fuso CE	
					Limite Inferior	Limite Superior
Série Base+Série 2						
80,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
60,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
50,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
40,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
31,5	99,3	94,2	97,8	96,8	80,0	99,0
16	75,3	66,1	72,5	70,7	63,0	77,0
8	56,0	48,5	53,7	52,2	43,0	60,0
4	37,8	37,2	37,6	37,5	30,0	52,0
2,0	24,3	29,7	25,9	27,0	23,0	40,0
1,00	14,9	22,7	17,2	18,8	14,0	35,0
0,500	10,0	15,3	11,6	12,7	10,0	30,0
0,063	4,9	5,0	4,9	4,9	2,0	7,0



Camadas de misturas não ligadas com agregados reciclados de betão

- Elaboração do estudo de composição da mistura Agregado 0/31,5 + Agregado Reciclado RB 0/31,5 , respetivamente, cumprindo com os parâmetros definidos em caderno de encargos para camada de base;



Camadas de misturas não ligadas com agregados reciclados de betão

- Características da mistura Agregado 0/31,5 + Agregado Reciclado RB 0/31,5 e características individuais de cada produto

RESUMO DE ENSAIOS

Nº amostra	GRANULOMETRIA (% de passados)									SE	MB	LA	MDE	FI	γ_d (máx.) (Kg/m ³)	w (ópt.) (%)
	40,000 mm	31,500 mm	16,000 mm	8,000 mm	4,000 mm	2,000 mm	1,000 mm	0,500 mm	0,063 mm							
AGREGADO 0/31,5	100	99	75	56	38	24	15	10	4,9	54	0,50	22	10	10	2,36	3,8
AGREGADO RECICLADO RB 0/31,5	100	94	66	48	37	30	23	15	5,0	40	0,50	49	25	26		
MISTURA 50% - 50%	100	97	71	52	37	27	19	13	4,9	55	0,50	39	23		2,4	6,20
MISTURA 70% - 30%	100	98	72	54	38	26	17	12	4,9	55	0,50	33	19	29	2,17	4,50
VALORES A CUMPRIR (CE)	100	99	77	60	52	40	35	30	7,0	≥50 OU SE ≤50 MB ≤2	≤2	40	25	-	NA	
	100	80	63	43	30	23	14	10	2,0							

Trecho experimental

Extensão de 600 m, dividido em secções:

1 – 200 m aplicação de ABGE

2 – 200 m de aplicação da mistura 70% ABGE + 30% agregado reciclado RB 0/31,5

3 – 200 m de aplicação da mistura de 50% ABGE + 50% agregado reciclado RB 0/31,5

Notas:

- % de compactação, aponta para dificuldades em atingir os 98% exigidos no CETO
- Evolução granulométrica do material (análise granulométrica antes e depois da compactação)
- Ensaios de carga com defletómetro de impacto, FWD (antes e depois da camada de interface no trecho experimental)

Trecho experimental

- Execução da camada com a mistura do Agregado 0/31,5 e do Agregado Reciclado RB 0/31,5 , na espessura de 0,15 m;



Trecho experimental

Código da obra: 20.449	Tipo de Material em Estudo
Nome da obra: IC2/EN1 – BENEFICIAÇÃO ENTRE ASSEICEIRA (KM 65+200) E FREIRES (KM 85+500)	ABGE 70% + Agregado Reciclado RB 0/31,5 30%
Dono de Obra: INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, S.A.	

Baridade "in situ"

Código do ensaio: BS	Norma ou especificação: D 2922
----------------------	--------------------------------

N.º	CALIBRAÇÃO DO DIA		DESVIO	
	15	BS - Baridade Standard	5268	0,1%
	MS - Humidade Standard	1569	1,0%	
		1085	0,6%	

Valores dos Ensaios Laboratoriais

Amostra de Ref. :	ESTUDO	Baridade Máxima (kg/m ³)	2170
Teor de Água Ótimo (%)	4,5	Peso Específico (kg/m ³)	

N.º do Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Perfil / Km	67,425	67,450	67,475	67,500	67,525	67,550	67,575	67,600	67,625	67,650
Faixa de Rodagem										
Profundidade (cm)	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS
Baridade Húmida (kg/m ³)	2333	2252	2282	2222	2185	2301	2243	2254	2248	2275
Baridade Seca (kg/m ³)	2216	2147	2147	2110	2093	2179	2120	2124	2111	2146
Teor em Humidade (%)	5,3	4,9	6,3	5,3	5,9	5,6	5,8	6,1	6,5	6,0
Alarg. / Saneamento										
Grau Compactação (%)	102,1	98,9	98,9	97,2	95,1	100,4	97,7	97,9	97,3	98,9
Índice de Vazios										
Camada										

Código da obra: 20.0449	Tipo de Material em Estudo
Nome da obra: IC2/EN1 – BENEFICIAÇÃO ENTRE ASSEICEIRA (KM 65-200) E FREIRES (KM 85-500)	ABGE Calcário 70% + Agregado reciclado 30%
Dono de Obra: INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, S.A.	Amostra n.º

Baridade In Situ (Método Garrafa de Areia)

Código do ensaio: BS	Norma ou especificação: E 204
----------------------	-------------------------------

Baridade máxima	$\gamma_p = 2170$ g/cm ³	Baridade da areia	$\gamma_a = 1458$ g/cm ³
		Natureza do material =	ABGE Calcário 70% + Agregado reciclado 30%

Perfil ou Kilometro	n.º / Km	67+500	67+600
---------------------	----------	--------	--------

			Ensaio 1		Ensaio 2	
			Garrafa	Troxler	Garrafa	Troxler
B	Peso da garrafa (antes)	g	7170		7078	
B	Peso da garrafa (depois)	g	2508		2104	
C - A - B	Peso da areia	g	4662		4974	
D	Peso da areia no cone	g	1790		1790	
E - C - D	Peso da areia na escavação	g	2872		3184	
Vt = E/a * 1000	Volume de escavação	m ³	1970		2184	
Pt	Peso da amostra	g	4483		4961	
$\gamma_h = P/PV \times 1000$	Baridade húmida	g/cm ³	2276	2234	2272	2243,00
w	Teor em água	%	5,23	4,20	5,64	4,70
$\gamma_s = \gamma_h / (1 + w)$	Baridade seca	g/cm ³	2163	2144	2150	2141
$\gamma_m = (\gamma_s \times \gamma_p) / 100$	Baridade relativa	%	99,7	98,8	99,1	98,56
SPEDDY	ÁLCOOL					
	STUFA					

	Recipiente	n.º	1	2
Pt	Peso do recipiente	g	78	78
Pm	Peso do recipiente + Solo húmido	g	4561	5039
Pd	Peso do recipiente + Solo seco	g	4338	4774
Pa = Pt - Pd	Peso da água	g	223	265
Pg = Pd - Pt	Peso do solo seco	g	4260	4696
w = (Pa/Pg) * 100	Teor de humidade	%	5,23	5,64
	Média do Teor de Humidade	%		

Considerações finais

- Aproveitamento dos materiais provenientes da demolição das lajes do pavimento existente e eliminação e redução de produtos sobrantes a levar a destino final adequado
 - Aço encaminhado para operador licenciado
 - Betão 100% reutilizado em obras licenciadas
- Utilização de agregados reciclados em estradas de elevada solicitação
- Maior número de estudos laboratoriais desde a sua caracterização, formulação de misturas e aplicação em obra
- Avaliação do desempenho destes materiais ao longo do tempo

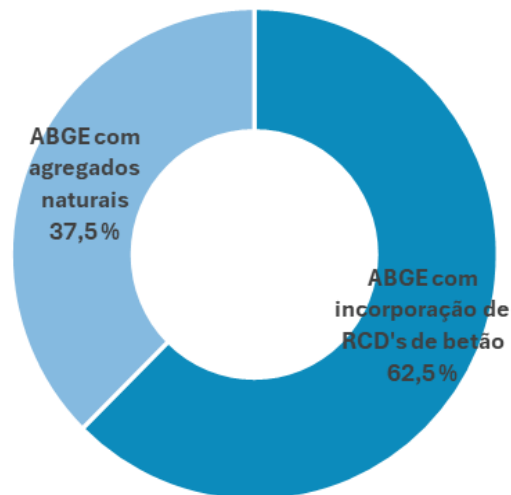


Considerações finais

Resíduo das lajes de betão



Camadas granulares na empreitada





OBRIGADA!

CONTACTOS

- anabela.martins@infraestruturasdeportugal.pt
- rosa@jir.pt

