

# RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO. ANÁLISE DA VIABILIDADE DA SUA APLICAÇÃO EM MISTURAS BETUMINOSAS

Ana Duarte Conceição<sup>1</sup>, Rosa Luzia<sup>2</sup> e Dinis Gardete<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco, Av<sup>a</sup> do Empresário, 6000-767, Castelo Branco, Portugal, email: [acdmconceicao@gmail.com](mailto:acdmconceicao@gmail.com)

<sup>2</sup>Unidade Técnica Científica de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco, Av<sup>a</sup> do Empresário, 6000-767, Castelo Branco, Portugal

---

## Sumário

*A indústria da construção é um grande consumidor de agregados naturais e simultaneamente um importante produtor de resíduos, designadamente em obras de construção, demolição e operações de manutenção e reabilitação. Por outro lado, sendo a construção rodoviária das que mais agregados naturais consomem, pensou-se ser oportuno avaliar a reutilização de RCD's em misturas betuminosas. Nesta comunicação apresentam-se os resultados encontrados bem como a sua análise à luz do Caderno de Encargos Tipo de Obra de Estradas de Portugal, por comparação com as características exigidas ao agregado natural a utilizar em mistura betuminosa de camada de base AC20.*

---

**Palavras-chave:** Agregado; caracterização laboratorial; mistura betuminosa; pavimento rodoviário; resíduo de construção e demolição (RCD).

## 1 INTRODUÇÃO

Nesta comunicação analisa-se a viabilidade de utilização de resíduos de construção e demolição (RCD's) em misturas betuminosas a aplicar em camada de base AC20. Procedeu-se à classificação dos constituintes do agregado bem como à sua caracterização geotécnica em laboratório, nomeadamente no que respeita a granulometria, forma das partículas, qualidade dos finos, massa volúmica e absorção de água, resistência à fragmentação e resistência ao desgaste cujos resultados foram analisados à luz do Caderno de Encargos Tipo de Obra de Estradas de Portugal [1]. O objetivo foi, no âmbito de um trabalho de mestrado, contribuir para o estudo da viabilidade de uma maior utilização de RCD's em pavimentos rodoviários em substituição de recursos naturais.

## 2 MATERIAIS UTILIZADOS

Neste trabalho foi utilizada uma amostra de agregado de Resíduo de Construção e Demolição (ARCD) constituída por uma mistura de betão, tijolo, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos correspondente código (17 01 07) da Lista Europeia de Resíduos [2] e que se apresenta na Figura 1.

A amostra foi recolhida na unidade de Castelo Branco da Ambilei - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S. A., e obtida a partir de resíduos produzidos naquele distrito e entregues nas instalações da unidade.



**Fig.1. Agregado de Resíduo de Construção e Demolição**

### 3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 3.1 Considerações Iniciais

Na presente secção apresentam-se os resultados da caracterização em laboratório das propriedades físicas e geométricas do agregado de resíduo de construção e demolição (ARCD) constituído por betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos (17 01 07) [2].

A amostra recolhida foi reduzida de acordo com a norma NP EN 932-2 [3], atendendo ao facto de se realizar a caracterização com vista à utilização em misturas betuminosas do tipo AC 20 a amostra foi restringida em termos de granulometria ao material passado no peneiro 20 mm.

Todos os ensaios foram realizados em duas amostras e os valores que são apresentados são os valores médios desses ensaios.

#### 3.2 Classificação dos constituintes do agregado

A classificação dos constituintes do agregado foi realizada com base na norma NP EN 933-11 [4].

A amostra de ARCD foi recolhida em conformidade com a norma NP EN 932-1 [5] e reduzida em conformidade com a norma NP EN 932-2 [3], até se obter um provete de 20 kg.

Peneirou-se o provete de forma a separar as partículas correspondentes da fração granulométrica 4/20 mm,  $M_1$ , e pesaram-se as partículas inferiores a 4 mm,  $M_4$ .

No Quadro 1 e na Figura 2 apresentam-se as proporções de cada um dos constituintes para um provete com massa total de 6440,9 g.

Quadro 1. Classificação dos constituintes do agregado

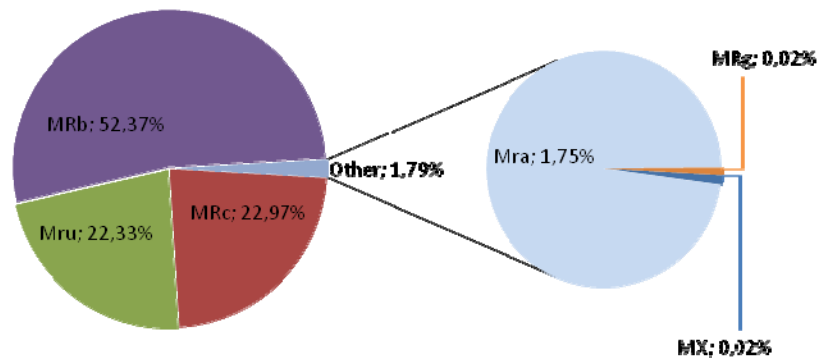
Constituintes	Massas [g]	Proporções
X	$M_X = 3,5$	$100 \times M_X / M_1 = 0,02\%$
Rc	$M_{Rc} = 1487,1$	$100 \times (M_2 / M_1) \times (M_{Rc} \times M_3) = 22,97\%$
Ru	$M_{Ru} = 1445,4$	$100 \times (M_2 / M_1) \times (M_{Ru} \times M_3) = 22,33\%$
Rb	$M_{Rb} = 3390,5$	$100 \times (M_2 / M_1) \times (M_{Rb} \times M_3) = 52,37\%$
Ra	$M_{Ra} = 113,2$	$100 \times (M_2 / M_1) \times (M_{Ra} \times M_3) = 1,75\%$
Rg	$M_{Rg} = 1,2$	$100 \times (M_2 / M_1) \times (M_{Rg} \times M_3) = 0,02\%$
		<b>Total = 99,46%</b>

Sendo que:

$$V_{FL} = 93 \text{ cm}^3;$$
$$\text{Proporção FL} = 6,1 \text{ cm}^3/\text{kg}.$$

Onde:

- $M_1$  Massa do provete;
- $M_2$  Remanescente não flutuante;
- $M_3$  Remanescente não flutuante separado por constituintes;
- $V_{FL}$  Volume das partículas flutuantes;
- $M_x$  Massa do constituinte de materiais coesivos, metais, madeiras não flutuantes, plásticos, borrachas e estuque;
- $M_{Rc}$  Massa do constituinte de betão, produtos de betão, argamassa, blocos de betão de alvenaria;
- $M_{Ru}$  Massa do constituinte de agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos;
- $M_{Rb}$  Massa do constituinte de elementos cerâmicos de alvenaria, blocos sílico-calcários de alvenaria, betão celular não flutuante;
- $M_{Ra}$  Massa do constituinte de materiais betuminosos;
- $M_{Rg}$  Massa do constituinte de vidros;
- FL Proporção do constituinte material flutuante;
- X Proporção do constituinte dos materiais coesivos, metais, madeiras não flutuantes, plásticos, borrachas e estuque;
- $R_c$  Proporção do constituinte de betão, produtos de betão, argamassa, blocos de betão de alvenaria;
- $R_u$  Proporção do constituinte de agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos;
- $R_b$  Proporção do constituinte de elementos cerâmicos de alvenaria, blocos sílico-calcários de alvenaria, betão celular não flutuante;
- $R_a$  Proporção do constituinte de materiais betuminosos;
- $R_g$  Proporção do constituinte de vidros.



**Fig.2. Composição do agregado e proporções dos seus constituintes**

Onde:

- $M_x$  Massa do constituinte de materiais coesivos, metais, madeiras não flutuantes, plásticos, borrachas e estuque;
- $M_{Rc}$  Massa do constituinte de betão, produtos de betão, argamassa, blocos de betão de alvenaria;
- $M_{Ru}$  Massa do constituinte de agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos;
- $M_{Rb}$  Massa do constituinte de elementos cerâmicos de alvenaria, blocos sílico-calcários de alvenaria, betão celular não flutuante;
- $M_{Ra}$  Massa do constituinte de materiais betuminosos;
- $M_{Rg}$  Massa do constituinte de vidros;

### 3.3 Análise Granulométrica

A avaliação da composição granulométrica do ARCD foi feita de acordo com a norma NP EN 933-1 [6]. No Quadro 2 e na Figura 3 apresentam-se os resultados encontrados. Pode observar-se que, contrariamente aos agregados naturais geralmente utilizados no fabrico de misturas betuminosas, que são em geral uniformes apresentando curvas de granulometria pouco extensa, este é um agregado com uma curva de granulometria extensa e contínua.

Quadro 2. Composição granulométrica do ARCD

Dimensão das aberturas do peneiro [mm]	Percentagem cumulativa de material passado
20,0	100,0
16,0	90,4
14,0	83,1
12,5	79,2
10,0	70,5
8,0	62,1
6,3	54,6
4,0	43,7
2,0	33,4
1,0	24,1
0,5	16,9
0,25	11,6
0,125	8,0
0,063	6,5

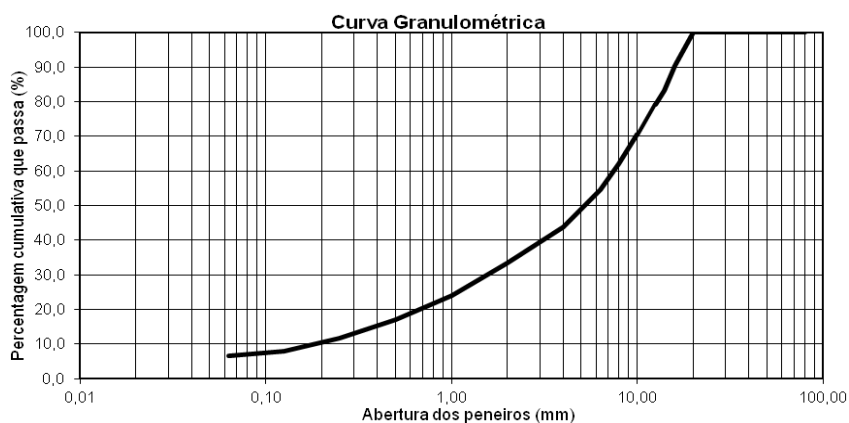


Fig.3. Curva granulométrica do ARCD

### 3.4 Forma das Partículas - Índice de achatamento

A análise do desempenho quanto à forma das partículas fez-se através do ensaio da determinação da forma das partículas – Índice de achatamento, com base na NP EN 933-3 [7].

Da realização do ensaio obteve-se para o ARCD em estudo um índice de achatamento de 16 %.

### 3.5 Qualidade dos Finos – Ensaio do equivalente de areia

O ensaio de equivalente de areia foi realizado segundo a NP EN 933-8 [8], tendo-se obtido para o ARCD em estudo um valor de 56,9 %.

### 3.6 Qualidade dos finos - Ensaio do azul de metileno

A avaliação da qualidade dos finos pelo ensaio do azul de metileno realizou-se, para a fração granulométrica 0/2 mm, segundo a NP EN 933-9 [9] tendo-se obtido um valor de 1,5 gramas de corante por kg de fração 0/2 mm.

No entanto, a norma NP EN 13043 [10] bem como o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] recomendam apenas a avaliação da qualidade dos finos nas situações em que agregado contém entre 3 % e 10 % de material passado no peneiro de 0,063 mm. Neste caso a avaliação deve ser feita sobre a fração 0/0,125 mm, de acordo com a norma NP EN 933-9 [9], obtendo-se o  $MB_F$ .

Sendo a percentagem de passados no peneiro de 0,063 mm do ARCD em média de 6,5 %, foi realizado o ensaio para a determinação do valor de azul de metileno da fração granulométrica 0/0,125 mm [9] tendo sido obtido um valor médio de  $MB_F$  de 5 gramas de corante por kg da fração 0/0,125 mm.

### 3.7 Massa volúmica e absorção de água

A Determinação da massa volúmica e da absorção de água dos ARCD's foi feita de acordo com a norma NP EN 1097-6 [11].

Sendo o agregado de granulometria extensa foi necessário separar a amostra nas frações 0,063/4 mm e 4/20 mm, sendo que, em ambos os provetes é utilizado o método do picnómetro, embora com diferentes volumes devido à máxima dimensão do agregado de cada fração granulométrica. A principal diferença no procedimento de ensaio respeita à secagem da superfície das partículas que é realizada com um pano enquanto na fração mais grossa e ao ar na fração mais fina.

No Quadro 3 apresentam-se os resultados médios obtidos nos ensaios realizados às duas frações granulométricas.

Quadro 3. Massa volúmica e absorção de água

Parâmetros	Unidades	Fração granulométrica	
		0,063 a 4,0 [mm]	4,0 a 31,5 [mm]
Massa volúmica do material impermeável das partículas [ $\rho_a$ ]	Mg/m <sup>3</sup>	2,62	2,57
Massa volúmica das partículas secas em estufa [ $\rho_{rd}$ ]	Mg/m <sup>3</sup>	2,32	2,07
Massa volúmica das partículas saturada com superfície seca [ $\rho_{ssd}$ ]	Mg/m <sup>3</sup>	2,44	2,27
Absorção de água, após 24 horas de imersão em água [ $WA_{24}$ ]	%	4,9	9,4

### 3.8 Determinação da resistência à fragmentação (*Los Angeles*)

A resistência à fragmentação do ARCD foi determinada a partir do ensaio de *Los Angeles*, de acordo com a NP EN 1097-2 [12].

A amostra laboratorial foi lavada nos peneiros de 10 mm, 12,5 mm e 14 mm e seca em estufa, para obtenção das frações separadas. Seguidamente a amostra foi reduzida até à massa de 5000±5 gramas, com uma curva granulométrica de 65 % de passados no peneiro 12,5 mm e foi sujeita ao ensaio, tendo-se obtido um coeficiente de *Los Angeles* de 58 %.

### 3.9 Determinação da resistência ao desgaste (*micro-Deval*)

A resistência ao desgaste por atrito em meio húmido dos agregados foi avaliada através do ensaio de *micro-Deval*, especificado pela norma NP EN 1097-1 [13].

A amostra inicial, constituída por 2 kg de agregado com granulometria compreendida entre 10 mm e 14 mm, foi separada nos peneiros de 10 mm, 12,5 mm e 14 mm, para obter frações distintas, compreendidas entre 10 mm e 12,5 mm e entre 12,5 mm e 14 mm, tendo-se constituído uma amostra com 65 % de material passado no peneiro 12,5 mm. O coeficiente de micro-Deval obtido para o ARCD em estudo foi de 55 %.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Considerações Iniciais

Os resultados da caracterização geotécnica do material foram analisados à luz do Caderno de Encargos Tipo de Obra de Estradas de Portugal [1] com vista à avaliação da adequabilidade de utilização do agregado de Resíduo de Construção e Demolição em estudo em camadas ligadas de pavimentos rodoviários, nomeadamente em camada de base AC20. O Caderno de Encargos Tipo de Obra de Estradas de Portugal [1] apenas prevê a utilização de agregado reciclado em camadas não ligadas não o prevendo para misturas betuminosas. Deste modo, na análise que se segue comparam-se os resultados obtidos na caracterização do ARCD com os valores indicados no Caderno de Encargos Tipo de Obra de Estradas de Portugal [1] para agregado natural.

### 4.2 Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal

No Quadro 4 apresenta-se um resumo da caracterização realizada no presente trabalho sobre o ARCD e comparação com os valores recomendados pelo Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] para agregados naturais a aplicar em misturas betuminosas AC 20 base ligante (MB) correspondendo genericamente ao antigo Macadame Betuminosos Fuso A.

Quadro 4. Comparação valores obtidos no ARCD com o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1]

Norma	Ensaio		Un.	ARCD	Categoria	Caderno de Encargos Tipo Obra, EP		
NP EN 933-3	Índice de achatamento		%	16	FL <sub>20</sub>	FL <sub>30</sub>	V	
NP EN 933-9	Azul metileno	0/2 mm	g/kg	1,5	MB <sub>2</sub>	NR	NA	
		0/0,125m m	g/kg	5,0	MB <sub>F10</sub>	MB <sub>F10</sub>	V	
NP EN 1097-6	Massa volúmica e absorção de água	0,063/4 mm	$\rho_a$	Mg/m <sup>3</sup>	2,62	NA	-	-
			$\rho_{rd}$	Mg/m <sup>3</sup>	2,32	NA	-	-
			$\rho_{ssd}$	Mg/m <sup>3</sup>	2,44	NA	-	-
			WA <sub>24</sub>	%	4,9	NA	≤ 2	X
		4/31,5 mm	$\rho_a$	Mg/m <sup>3</sup>	2,57	NA	-	-
			$\rho_{rd}$	Mg/m <sup>3</sup>	2,07	NA	-	-
			$\rho_{ssd}$	Mg/m <sup>3</sup>	2,27	NA	-	-
			WA <sub>24</sub>	%	9,4	NA	≤ 2	X
NP EN 1097-2	Los Angeles		%	58	-	LA <sub>40</sub>	X	
NP EN 1097-1	micro-Deval		%	55	-	M <sub>DE25</sub>	X	

Legenda: V – Verifica; X – Não Verifica; NA – Não Aplicável; NR – Não Referido

Analisando o Quadro 4 pode verificar-se que, no que diz respeito ao índice de achatamento, o ARCD apresenta um valor de 16% correspondendo à categoria FL<sub>20</sub>. O limite imposto a agregados naturais corresponde a uma categoria FL<sub>30</sub>, pelo que o ARCD pode, segundo este parâmetro, ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base.

No que respeita ao Azul de Metileno tendo-se obtido um MB<sub>F</sub> de 5 gramas de corante por kg da fração 0/0,125 mm, correspondente a uma categoria MB<sub>F</sub>10, verifica-se que o ARCD pode, segundo este parâmetro, ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base.

O Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] não apresenta quaisquer requisitos para as massas volúmicas do agregado. Já no que diz respeito à absorção de água após 24 horas de imersão verifica-se que os valores obtidos para o ARCD, 4,9 % e 9,4 %, para as frações 0,063/4 mm e 4/31,5 mm respetivamente são muito superiores ao requisito de 2 % no máximo, pelo que o ARCD não pode, segundo este parâmetro, ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base. A elevada absorção de água pode ser explicada pela composição do ARCD, já que o mesmo apresenta uma elevada percentagem de material cerâmico o qual tem, em geral, porosidades significativas o que leva a também elevadas absorções de água.

No que respeita à resistência à fragmentação (*Los Angeles*) e à resistência ao desgaste (*micro-Deval*) verifica-se que nenhum dos parâmetros cumpre os requisitos do Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1], pelo que o ARCD não pode, segundo estes parâmetros, ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base. Observa-se que no caso da resistência ao desgaste (*micro-Deval*) o valor obtido é significativamente superior ao exigido, sendo a diferença menor quando se observa o resultado obtido na resistência à fragmentação (*Los Angeles*). Estes resultados podem estar relacionados com o facto de o ensaio de *micro-Deval* ser realizado com água.

Fazendo uma análise conjunta de todos os parâmetros, verifica-se que o ARCD não poderia ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base dados os valores de absorção de água, de resistência à fragmentação e de resistência ao desgaste. No entanto, deve referir-se, uma vez mais, que os valores obtidos no ARCD estão a ser comparados com os requisitos impostos a agregados naturais.

## 5 CONCLUSÕES

O objetivo fundamental do trabalho de investigação que deu origem a esta comunicação foi a caracterização das propriedades físicas e geométricas de um agregado reciclado de construção e demolição e a análise da viabilidade de utilização do mesmo em mistura betuminosa a aplicar em camada de base AC20.

Da análise dos resultados obtidos verifica-se que o material apresenta granulometria extensa e que a percentagem de finos é de 6,5 %. Verifica-se também que, dados os valores de azul de metileno quer para a fração granulométrica 0/2 mm quer para a fração 0/0,125 mm, os finos são poucos sensíveis à água.

No que respeita à forma das partículas obteve-se um índice de achatamento de 16% correspondente a uma categoria FL<sub>20</sub>.

Verifica-se que o ARCD apresenta uma elevada absorção de água, para qualquer das granulometrias consideradas o que se pode ficar a dever à elevada percentagem de material cerâmico presente na mistura.

No que respeita à resistência à fragmentação (*Los Angeles*) e à resistência ao desgaste (*micro-Deval*) o material apresentou valores de 58 % e 55 % respetivamente, superiores às categorias LA<sub>40</sub> e M<sub>DE</sub>25 exigidas no Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1].

Analisando estes resultados à luz do Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] verifica-se que o ARCD não poderia ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base devido à não verificação dos requisitos para os valores de absorção de água, de resistência à fragmentação e de resistência ao desgaste, verificando-se, no entanto, os requisitos no que respeita à forma das partículas e à qualidade dos finos.

Considera-se, no entanto, que a utilização deste tipo de agregados é útil e que isso poderá ser possível em pavimentos em que os requisitos possam ser menos restritivos. Para isso é imprescindível a criação de

especificações que estabeleçam requisitos mínimos e recomendações para a utilização deste tipo de agregados naquele tipo de camadas em pavimentos rodoviários de baixo tráfego.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Ambilei - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S. A. pela disponibilidade para colaborar no desenvolvimento do trabalho de investigação que deu origem a esta comunicação, fornecendo o resíduo de construção e demolição necessário à realização do estudo.

## 7 REFERÊNCIAS

1. E. Portugal. "Caderno de encargos tipo obra. 14.03 - Pavimentos. Características dos materiais." Estradas de Portugal, S.A., Lisboa, 2011
2. Portaria nº 209/2004. Ministérios da Economia, da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, da Saúde e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Diário da República, I Série-B, nº 53 - 3 de Março de 2004
3. IPQ. "Ensaios das propriedades gerais dos agregados. Parte 2: Método de redução de amostra laboratoriais." *NP EN 932-2*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002
4. IPQ. "Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 11: Ensaio para classificação dos constituintes de agregados grossos reciclados." *NP EN 933-11*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2011
5. IPQ. "Ensaio das propriedades gerais dos agregados. Parte 1: Métodos de amostragem". *NP EN 932-1*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002
6. IPQ. "Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração." *NP EN 933-1*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2000
7. IPQ. "Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas. Índice de achatamento." *NP EN 933-3*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002
8. IPQ. "Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do teor de finos. Ensaio de equivalente de areia". *NP EN 933-8*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002
9. IPQ. "Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 9: Determinação do teor de finos. Ensaio de azul de metileno". *NP EN 933-9*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002
10. IPQ. "Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação." *NP EN 13043*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2004
11. IPQ. "Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água." *NP EN 1097-6*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2003
12. IPQ. "Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação". *NP EN 1097-2*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002
13. IPQ. "Ensaios da propriedade mecânica e física dos agregados. Parte 2: Determinação das resistências ao desgaste (micro-Deval)". *NP EN 1097-1*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002