

DESEMPENHO MECÂNICO E DE DURABILIDADE DE BETÕES PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS DE ELEVADO DESEMPENHO PARA A INDÚSTRIA DA PRÉ-FABRICAÇÃO

PROJECTO FCT
PTDC / ECM / 118372 / 2010



Tarefa 2

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BETÕES COM AGREGADOS RECICLADOS DE ELEVADO DESEMPENHO PARA A INDÚSTRIA DA PRÉ-FABRICAÇÃO (EXCELLentSUStainableCONCcrete)

RESULTADOS DOS ENSAIOS AOS AGREGADOS

RELATÓRIO

Março de 2015

Financiamento FCT/POCTI



Governo da República Portuguesa



União Europeia

FEDER

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E DO ENSINO SUPERIOR

Portugal

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. PROPRIEDADES DOS AGREGADOS	1
2.1. Análise granulométrica	1
2.2. Massa volúmica e absorção de água	3
2.3. Baridade e índice de vazios	6
2.4. Índice de forma	8
2.5. Desgaste de Los Angeles	10
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	11
4. BIBLIOGRAFIA	12
ANEXO A - FICHAS TÉCNICAS DOS AGREGADOS NATURAI	A-1
ANEXO B - ENSAIOS AOS AGREGADOS: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	B-1
ANEXO C - ENSAIOS AOS AGREGADOS: MASSA VOLÚMICA E ABSORÇÃO ÁGUA	C-1
ANEXO D - ENSAIOS AOS AGREGADOS: BARIDADE E VOLUME DE VAZIOS	D-1
ANEXO E - ENSAIOS AOS AGREGADOS: ÍNDICE DE FORMA	E-1
ANEXO F - ENSAIOS AOS AGREGADOS: DESGASTE DE LOS ANGELES	F-1

Índice de figuras

Figura 1 - Curvas granulométricas dos agregados naturais	3
--	---

Índice de tabelas

Tabela 1 - Análise granulométrica dos agregados naturais	2
Tabela 2 - Massas volúmicas e absorção de água dos AFN e AFR.....	4
Tabela 3 - Massas volúmicas de AFRB em diversas investigações	5
Tabela 4 - Massas volúmicas e absorção de água dos AGN e AGR	5
Tabela 5 - Massas volúmicas de AGRB em diversas investigações.....	6
Tabela 6 - Baridade (ρ_b) e índice de vazios (I_v) dos AFN e AFR.....	6
Tabela 7 - Baridade (ρ_b) e índice de vazios (I_v) dos AGN e AGR	7
Tabela 8 - Baridade de AFRB em diversas investigações	7
Tabela 9 - Baridade de AGRB em diversas investigações.....	8
Tabela 10 - Índice de forma dos AGN e AGR	8
Tabela 11 - Comparação de valores de SI em diversas investigações	9
Tabela 12 - Desgaste de Los Angeles dos AGN e AGR.....	10
Tabela 13 - Comparação de valores de Los Angeles em diversas investigações	11

Abreviaturas

AFN	Agregados finos naturais
AFRB	Agregados finos reciclados de betão
AGN	Agregados grossos naturais
AGRB	Agregados grossos reciclados de betão
AN	Agregados naturais
AR	Agregados reciclados
BAR	Betões com agregados reciclados
BO	Betões de origem
LC	Betões de laboratório
PF	Betões pré-fabricados
Relação a/c	Relação água / cimento
TP	Trituração primária
TS	Trituração primária mais secundária

1. Introdução

Neste relatório, são apresentados os resultados experimentais, resultantes do cumprimento da tarefa 2.1 do Projecto FCT PTDC/ECM/118372/2010 - “Betão com agregados reciclados de elevado desempenho para a indústria da pré-fabricação (EXCEL-lentSUStainableCONcrete)”.

O objectivo da tarefa foi o de analisar as propriedades físicas dos agregados. O conhecimento destas propriedades é de extrema importância, uma vez que os agregados são os elementos em maior quantidade nas misturas.

Assim, um estudo rigoroso sobre o assunto irá facilitar a interpretação de resultados obtidos em fases posteriores, nomeadamente nos ensaios realizados aos betões.

Durante o período de investigação, foram realizados ensaios aos agregados finos naturais (AFN), grossos naturais (AGN) e finos e grossos reciclados de betão (AFRB e AGRB). Os agregados reciclados (AR) utilizados tiveram origem em produtos rejeitados da pré-fabricação (PF), com classes de resistência à compressão de 20, 45 e 65 MPa, e em betões produzidos em laboratório (LC), com classes idênticas de resistência à compressão.

A cada origem estiveram associados dois processos de britagem: trituração primária (TP) e trituração secundária (TS). A trituração primária teve lugar numa britadeira de maxilas, propriedade do Instituto Superior Técnico. O método de britagem TS ocorreu na Pedreira de Rio Maior, pertencente à Tecnovia.

2. Propriedades dos agregados

Neste trabalho, foram realizados ensaios para a determinação da granulometria, da massa volúmica e absorção de água, da baridade e índice de vazios, do índice de forma (para os AGN e AGRB) e também da resistência à fragmentação (para os AGN e AGRB).

No que respeita à fracção fina dos reciclados, apenas foram considerados os AR pertencentes à classe de resistência de 65 MPa.

2.1. Análise granulométrica

Tendo em conta os vários objectivos do projecto, decidiu-se que todos os agregados reciclados seriam separados em função da sua dimensão, através de peneiração mecânica. A opção foi justificada pela necessidade de aproximar as curvas dos AR, tanto entre si, como também às dos agregados naturais.

Assim, foi considerada uma curva de reciclados, construída à custa da conjugação dos agregados naturais e na proporção indicada pelo método de Faury.

Caso contrário, as diferentes distribuições granulométricas iriam necessariamente alterar a compacidade das misturas. Esta situação seria ainda mais amplificada devido à utilização dos dois métodos de britagem. No caso da britagem primária, esta metodologia permitiu também utilizar diferentes aberturas de maxilas, conduzindo a maiores rendimentos na trituração do betão de origem.

Deste modo, não foram realizados ensaios de análise granulométrica aos AR, pelo que, neste subcapítulo, apenas se apresenta as curvas dos agregados naturais (Tabela 1). Os dados auxiliares relativos a este ensaio são apresentados no Anexo A.

Tabela 1 - Análise granulométrica dos agregados naturais

Abertura peneiros (mm)	Areia fina		Areia grossa		Bago de arroz		Brita 1		Brita 2	
	Média (%)	Desvio-padrão (%)	Média (%)	Desvio-padrão (%)	Média (%)	Desvio-padrão (%)	Média (%)	Desvio-padrão (%)	Média (%)	Desvio-padrão (%)
63	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00
31,5	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00
22,4	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	98,0	1,95
16	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,07	61,6	2,84
11,2	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00	79,1	1,66	9,5	0,85
8	100,0	0,00	99,9	0,05	100,0	0,00	40,2	1,61	1,5	0,45
5,6	100,0	0,00	99,1	0,11	87,3	0,60	6,6	0,43	0,7	0,36
4	100,0	0,02	97,2	0,29	17,6	1,55	2,4	0,17	0,5	0,22
2	100,0	0,12	84,9	0,58	3,3	1,45	0,9	0,23	0,5	0,23
1	98,7	0,33	55,1	1,24	1,1	0,25	0,4	0,02	0,4	0,24
0,5	76,6	0,46	24,6	0,19	0,6	0,24	0,3	0,05	0,4	0,22
0,25	23,8	0,65	7,2	0,19	0,3	0,03	0,2	0,04	0,3	0,15
0,125	1,7	0,30	1,2	0,33	0,2	0,02	0,1	0,03	0,2	0,09
0,063	0,1	0,02	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01
D	1		4		8		16		22,4	
d	0		0		2		4		8	
MF	1,99		3,30		5,77		6,56		7,35	
D/d					4		4		2,8	

Os resultados expostos na Tabela 1 mostram que, em função da sua granulometria, existem dois grandes grupos de agregados: agregados finos e grossos (Castelo Branco, 2009).

No grupo dos agregados finos, incluem-se a areia fina e a areia grossa, uma vez que são constituídos maioritariamente por partículas de dimensão inferior a 4 mm. Relativamente aos agregados grossos, estes são compostos pelo bago de arroz, brita 1 e brita 2 que apresentam, na sua maioria, partículas entre a mínima (d) e a máxima dimensão (D), com (D) maior do que 4 mm.

Observa-se também que as curvas dos agregados finos e grossos estão de acordo com os valores declarados pelos fabricantes (Anexo B) e verificam os requisitos gerais da granulometria, estabelecidos no âmbito da norma NP EN 12620. No que respeita às areias fina e grossa, constata-se que ambas pertencem à categoria granulométrica G_F85. Por seu lado, bago de arroz, brita 1 e brita 2, encontram-se dentro da categoria G_c85/20.

No caso da britas 1 e 2 em que $D > 11,2$ e $D/d > 2$, foi ainda necessário verificar o cumprimento dos limites gerais e tolerâncias para o peneiro intermédio. Este requisito adicional impõe que entre 25 a 70% do material analisado passe num peneiro intermédio, correspondente às malhas 11,2 mm e 16 mm, para as britas 1 e 2, respectivamente. Analisando a Tabela 2, constata-se que ambas as britas cumprem este critério granulométrico. Contudo, na brita 1 é necessário recorrer-se às tolerâncias de granulometria.

Analisando a Figura 1, verifica-se que a composição granulométrica das curvas dos agregados naturais consegue cobrir todo o intervalo considerado nas composições dos betões, situado entre 0 e 22,4 mm.

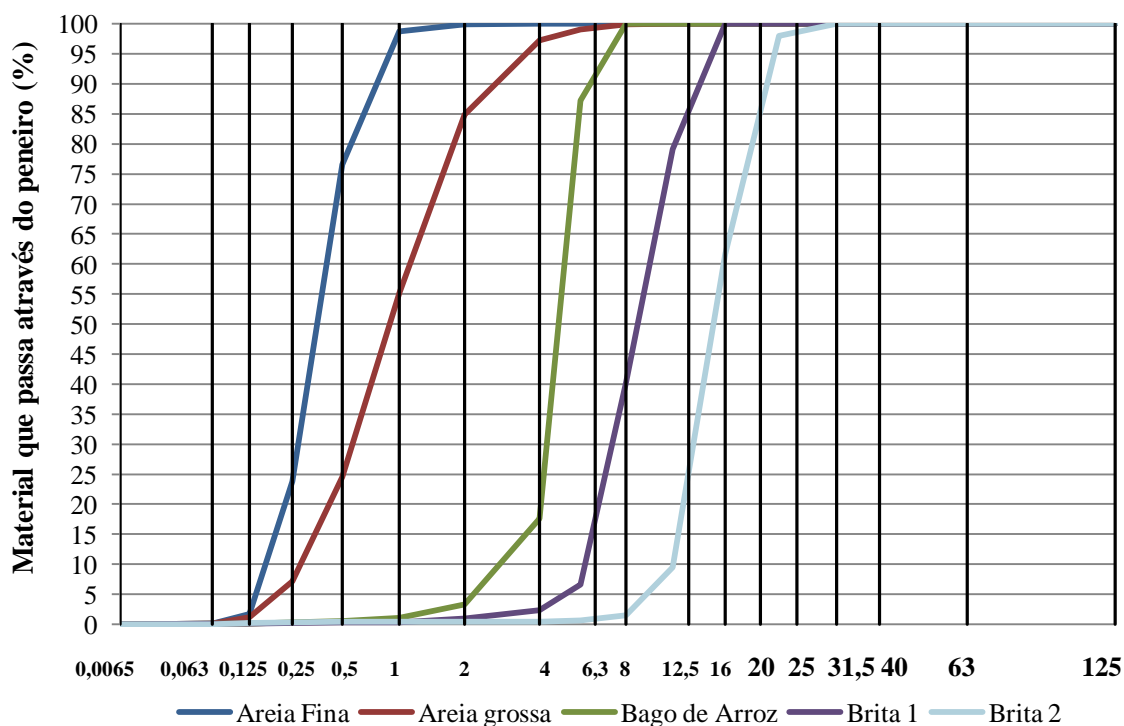


Figura 1 - Curvas granulométricas dos agregados naturais

2.2. Massa volúmica e absorção de água

Este ensaio foi realizado com base na norma NP EN 1097-6 (2003). As amostras relativas aos agregados reciclados foram preparadas recorrendo à curva granulométrica pre-

conizada por Faury. Deste modo, pretendeu-se dar importância ao modo como os AR iriam ser incorporados no betão, tendo os AGRB e AFRB seguido as composições das tarefas 2 e 3, respectivamente. Um procedimento idêntico foi utilizado para os agregados naturais sujeitos trituração primária. Nas tabelas seguintes, são apresentados os resultados obtidos. Os dados auxiliares relativos a este ensaio são apresentados no Anexo C.

Tabela 2 - Massas volúmicas e absorção de água dos AFN e AFR

Agregados finos	Tipo de trituração	Designação	Massa volúmica (g/cm ³)			Absorção de água (%)
			Material impermeável	Material seco	Material saturado com superfície seca	
Recicladados	TS	LC-65PS	2,70	2,32	2,46	6,1
		PF-65PS	2,68	2,30	2,44	6,1
		Areia fina	2,69	2,67	2,67	0,2
		Areia grossa	2,69	2,67	2,67	0,3

Analisando a Tabela 2, constata-se que os valores obtidos para as massas volúmicas dos AFN são bastante similares, variando entre 2,67 e 2,69 g/cm³. Além disso, encontram-se bastante próximos dos especificados pelos fornecedores (Anexo B). Relativamente à absorção de água dos mesmos agregados, os valores registados são inferiores a 1%, encontrando-se dentro das expectativas existentes (Coutinho, 1997).

No que respeita à massa volúmica dos AFRB, observa-se uma diminuição dos valores face aos agregados finos naturais. Contudo, as reduções máximas são inferiores a 15% e podem ser explicadas pela argamassa aderida aos reciclados (Hansen, 1992 e Evangelista e Brito, 2007). Este facto contribuiu também para as diferenças de massa volúmica seca e massa volúmica saturada com superfície seca registadas entre AFN e AFRB. A massa volúmica impermeável dos agregados reciclados exibiu valores muito próximos aos dos naturais. No entanto, uma vez que os agregados finos LC-65 PS apresentam até valores superiores aos dos AFN, é possível que exista alguma imprecisão no ensaio. De facto, Evangelista (2014) relatou que a determinação das massas volúmicas e de absorção dos agregados finos reciclados se reveste de dificuldades acrescidas. O autor justifica esta situação através da capacidade coesiva e ligante que os AFRB apresentam, devida à presença de partículas de cimento que poderão estar parcialmente hidratadas e à presença de filer com granulometria abaixo de 63 µm. De modo a minimizar os fenómenos aglomerantes dos AFRB, sugere a utilização de uma solução de hexametáfosfato de sódio a 1 g/l.

Relativamente à absorção de água dos AFRB tanto os agregados reciclados de laboratório como os da pré-fabricação obtiveram um valor bem mais elevado de cerca de 6,1%. Dada a situação, foi necessário proceder a uma correcção dos valores de absorção por incremento da água de amassadura. Os resultados de massa volúmica e absorção de

água dos agregados finos reciclados encontram-se dentro do intervalo de valores registados em outras investigações (Tabela 3).

No que concerne aos agregados grossos, os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3 – Massas volúmicas de AFRB em diversas investigações

Autor	AFRB			
	ρ_a (g/cm ³)	ρ_{rd} (g/cm ³)	ρ_{ssd} (g/cm ³)	Absorção de água (%)
Katz (2003)	-	2,23	-	12,7
Khatib (2005)		2,34	-	6,25
Solyman (2005)	2,56	2,36	2,48	8
Evangelista (2007)	2,56	1,91	2,16	13,10
Kou e Poon (2009)	-	2,34	-	11,86
Yaprak <i>et al.</i> (2011)	-	2,31	-	4,28
Evangelista (2014)	2,53	2,0	2,21	10,43

Tabela 4 - Massas volúmicas e absorção de água dos AGN e AGR

Agregados grossos	Tipo de trituração	Designação	Massa volúmica (g/cm ³)			Absorção de água (%)
			Material impermeável	Material seco	Material saturado com superfície seca	
Reciclados	TP	LC-20P	2,76	2,28	2,45	7,8
		LC-45P	2,64	2,23	2,39	6,9
		LC-65P	2,50	2,27	2,36	4,2
		PF-20P	2,75	2,28	2,46	7,5
		PF-45P	2,71	2,31	2,45	6,4
		PF-65P	2,66	2,39	2,50	4,2
	TS	LC-20PS	2,69	2,23	2,40	7,6
		LC-45PS	2,70	2,36	2,48	5,4
		LC-65PS	2,48	2,28	2,36	3,6
		PF-20PS	2,72	2,29	2,45	6,9
		PF-45PS	2,69	2,32	2,46	5,8
		PF-65PS	2,61	2,37	2,46	3,9
Naturais	TP	AGP	2,59	2,50	2,54	1,3
	TS	Bago de arroz	2,71	2,63	2,66	1,0
		Brita 1	2,71	2,62	2,66	1,5
		Brita 2	2,71	2,61	2,65	1,3

Observando a tabela, constata-se que, também na fracção grossa, existe uma diferença significativa entre os valores de absorção dos agregados naturais e reciclados. Contudo, os AGRB parecem apresentar valores mais baixos comparativamente aos AFRB. Verifica-se aliás que, para a gama de resistência de 65 MPa, os agregados finos reciclados apresentam valores de absorção superiores em cerca de 56% comparativamente aos agregados grossos reciclados.

Um outro aspecto importante está relacionado com a influência dos betões de origem (BO) e do método de britagem dos AGRB. Esta situação não se verifica nos AFRB, uma vez que nestes agregados apenas foi considerada a resistência de 65 MPa e o processo de trituração TS. Assim, através da Tabela 4, é também possível concluir que

o desempenho dos agregados grossos reciclados melhora com o aumento da resistência do seu BO e quando na sua trituração é utilizada a britagem primária mais secundária.

Em termos de massa volúmica, as diferenças não são tão significativas quer entre AFRB e AGRB quer entre AGRB e AGN. Em relação a estes dois últimos tipos de agregados, as variações não ultrapassam novamente 15%.

Comparando os valores obtidos com outros autores, constata-se que a massa volúmica e a absorção de água dos AGRB deste trabalho estão próximos do intervalo de resultados (Tabela 5).

Tabela 5 - Massas volúmicas de AGRB em diversas investigações

Autor	AGRB			
	ρ_a (g/cm ³)	ρ_{rd} (g/cm ³)	ρ_{ssd} (g/cm ³)	Absorção de água (%)
Limbachiya <i>et al.</i> (2000)	-	-	2,41	5,05
Ferreira <i>et al.</i> (2011)	2,66	2,30	2,44	5,80
Gomes (2007)	2,66	2,45	2,53	8,50
Fonseca <i>et al.</i> (2011)	2,69	2,31	2,45	6,10
Matias <i>et al.</i> (2013)	2,61	2,36	2,45	4,12

Convém salientar que, excluindo os agregados da família de 20 MPa, todos os outros deste projecto cumprem os requisitos da especificação LNEC E 471 (2009), a qual refere que os agregados grossos reciclados devem possuir uma massa volúmica superior a 2200 kg/m³ e uma absorção de água inferior a 7%.

2.3. Baridade e índice de vazios

A determinação da baridade e índice de vazios realizou-se de acordo com a norma NP EN 1097-3 (2002). Tal como nas propriedades anteriores, as amostras correspondentes aos agregados reciclados e aos agregados naturais com trituração primária foram compostas de acordo com o seu modo de incorporação no betão. Nas Tabelas 6 e 7, são apresentados os resultados obtidos. Os dados auxiliares relativos a este ensaio são apresentados no Anexo D.

Tabela 6 - Baridade (ρ_b) e índice de vazios (I_v) dos AFN e AFR

Agregados	Valor médio (kg/m ³)	Desvio-padrão (kg/m ³)	Índice de vazios (%)
Areia fina	1571	8,5	41,3
Areia grossa	1537	7,6	42,4
LC-65PS	1373	3,7	40,8
PF-65PS	1351	3,4	41,2

Tabela 7 - Baridade (ρ_b) e índice de vazios (I_v) dos AGN e AGR

Agregados	Valor médio (kg/m^3)	Desvio-padrão (kg/m^3)	Índice de vazios (%)
LC-20P	1025	14,0	55,0
LC-45P	1026	10,2	54,0
LC-65P	1118	12,9	50,7
PF-20P	1029	12,0	54,9
PF-45P	1042	12,9	54,8
PF-65P	1175	36,6	50,9
LC-20PS	1034	15,2	53,6
LC-45PS	1076	9,1	54,3
LC-65PS	1172	19,3	48,6
PF-20PS	1057	17,4	53,8
PF-45PS	1077	8,7	53,6
PF-65PS	1177	27,1	50,4
Bago de arroz	1407	11,9	46,6
Brita 1	1378	15,0	47,4
Brita 2	1356	11,9	48,3
AGP	1385	12,1	44,7

Analisando as Tabelas 6 e 7, verifica-se que os agregados finos naturais apresentam valores de baridade superiores, em cerca de 15%, em relação aos agregados grossos naturais. Esta diferença parece dever-se à granulometria mais contínua dos AFN, responsável por uma melhor ocupação dos espaços. Esta explicação é corroborada pelos valores do índice de vazios que decrescem dos AGN para os AFN.

Ao nível dos AR, observa-se uma tendência idêntica. Tanto os finos LC-65PS como os PF-65 PS obtiveram valores de baridade superiores aos dos AGR correspondentes.

Através das tabelas, constata-se também que os valores de baridade dos agregados reciclados são inferiores aos registados pelos agregados naturais. Na fracção fina, observa-se variações de aproximadamente 11-16% enquanto na fracção grossa as variações são de 13-27%. Uma justificação poderá estar relacionada com a argamassa aderida aos reciclados. Os resultados dos AFRB e AGRB parecem estar concordantes com os de outras investigações (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8 - Baridade de AFRB em diversas investigações

Autor	Baridade (kg/m^3)
	AFRB
Katz (2003)	1320
Evangelista e Brito (2007)	1234
Pereira <i>et al.</i> (2011)	1276
Evangelista (2014)	1330
Presente investigação	1351-1373

Tabela 9 - Baridade de AGRB em diversas investigações

Autor	Baridade (kg/m ³)
	AFRB
Fonseca <i>et al.</i> (2011)	1170
Ferreira <i>et al.</i> (2011)	1140
Matias <i>et al.</i> (2013)	1262
Presente investigação	1025-1177

Em termos de índice de vazios, apesar de a variação não ultrapassar 5%, os agregados finos reciclados possuem valores inferiores aos dos AFN. Esta situação deve-se essencialmente ao facto de a curva dos AFRB corresponder a uma composição das duas curvas dos AFN e, portanto, ser mais compacta. Contudo, nos agregados grossos, observa-se que a percentagem de vazios é maior nos reciclados.

2.4. Índice de forma

Este ensaio foi realizado com base na norma NP EN 933-4 (2002). No estudo desta propriedade, apenas foram considerados os agregados grossos, uma vez que a referida norma não inclui procedimentos para finos. Para cada tipo de agregado, foi ensaiada uma amostra. Na Tabela 10, são apresentados os resultados obtidos. Os dados auxiliares relativos a este ensaio são apresentados no Anexo E.

Tabela 10 - Índice de forma dos AGN e AGR

Agregados	(SI)
Bago de arroz	16,4
Brita 1	19,7
Brita 2	14,5
ANP	29,0
LC-20P	22,9
LC-45P	22,1
LC-65P	20,8
PF-20P	20,0
PF-45P	20,9
PF-65P	21,2
LC-20PS	15,9
LC-45PS	13,8
LC-65PS	13,2
PF-20PS	16,6
PF-45PS	13,3
PF-65PS	12,2

Os resultados mostram que a forma dos agregados e o método de trituração estão intimamente ligados. Os agregados sujeitos apenas a trituração primária apresentam um índice de forma superior (21,2-29,0) aos dos agregados sujeitos a trituração primária mais secundária (12,2-19,7). De acordo com a norma NP EN 12620 (2010), todos os agregados obtidos por TP se enquadram na categoria SI_{40} enquanto os agregados do processo TS atingem no máximo a categoria SI_{20} . Isto significa que o método de britagem TP conduz a agregados mais angulares e alongados.

Em relação às diferenças entre agregados naturais e agregados reciclados, constata-se que, na sua maioria, os AR possuem uma forma mais arredondada do que os AN (valores de índice de forma inferiores em ambos os processos de trituração). Observa-se ainda que o índice de forma parece depender da origem dos agregados. Esta situação é mais perceptível nos AR obtidos por TS, onde os dados mostram que, à medida que a resistência do betão de origem (BO) dos AR aumenta, o índice de forma tende a diminuir.

Os resultados de outras investigações parecem validar os do presente trabalho (Tabela 11).

Tabela 11 - Comparação de valores de SI em diversas investigações

Autor	$SI_{\text{médio}}$ (%)	
	AGN	AGRB
Larrañaga (2004)	24,7	27,7
Etxeberria <i>et al.</i> (2007)	25,0	28,0
Soares <i>et al.</i> (2014)	17,5	11,9
Presente estudo (agregados TP)	29,0	21,3
Presente estudo (agregados TS)	16,9	14,2

Por exemplo, nas investigações de Larrañaga (2004) e Etxeberria *et al.* (2007), verifica-se que, para métodos de britagem semelhantes, existe uma proximidade entre valores obtidos por AR e AN.

Em Soares *et al.* (2014) são obtidas conclusões idênticas mas com os AGRB a apresentarem um índice de forma inferior aos agregados naturais, tal como verificado nesta campanha. Nota-se ainda que, em termos absolutos, estes dois estudos apresentam valores bastante semelhantes, para os agregados com trituração primária mais secundária. Esta situação é justificada pela origem idêntica dos AN, por utilizarem o mesmo processo de trituração (TS) e pelo facto dos BO utilizados possuírem características próximas entre si, à excepção do BO dos AR de 20 MPa. Aliás, neste caso, observa-se já um maior distanciamento entre os valores obtidos.

Deste modo, conclui-se sobre a importância quer do processo de britagem quer da origem dos AR.

2.5. Desgaste de Los Angeles

A determinação do desgaste de *Los Angeles* teve por base a metodologia e princípios descritos na norma NP EN 1097-2 (2011).

Este ensaio foi realizado apenas para os agregados grossos envolvidos neste estudo (brita 1, brita 2 e agregados grossos reciclados). Para cada tipo de agregado, foi ensaiada uma amostra.

Na Tabela 12, são apresentados os resultados obtidos. Os dados auxiliares relativos a este ensaio são apresentados no Anexo E.

Tabela 12 - Desgaste de Los Angeles dos AGN e AGR

Agregado	Δ LA (%)
Brita 1	27,2
Brita 2	28,4
ANP	31,6
LC-20P	45,9
LC-45P	44,3
LC-65P	36,1
PF-20P	42,7
PF-45P	42,3
PF-65P	36,2
LC-20PS	38,2
LC-45PS	37,3
LC-65PS	33,0
PF-20PS	37,9
PF-45PS	36,9
PF-65PS	32,3

Os valores mostram que existe um desgaste superior nos AGRB comparativamente aos AGN. Esta situação deve-se à menor capacidade resistente da argamassa aderida aos agregados reciclados.

No que respeita ao conjunto dos AGRB, observa-se que os agregados provenientes dos BO mais resistentes e sujeitos ao processo de trituração TS apresentam melhores desempenhos. O agregado PF-65 PS obteve, deste modo, o menor desgaste, evidenciando perdas desempenho de 15 e 12%, em relação à brita 1 e brita 2, respectivamente.

Todos os agregados avaliados cumprem o requisito exigido pela especificação

LNEC E-373 (1993). Este documento estipula um limite de 50% de desgaste máximo, para agregados utilizados no fabrico de betões estruturais. Através do seu cumprimento, é esperado que a resistência dos agregados não assuma particular importância na resistência do betão, até porque as misturas produzidas no projecto procuraram, na sua maioria, replicar a resistência do betão de origem dos AR. Apenas nas últimas tarefas, em que serão produzidos BAR de elevado desempenho, é que esta problemática se poderá colocar, caso a resistência dos agregados seja cerca de duas vezes inferior à da pasta de cimento (Brito, 2005 e Coutinho, 1997).

Na Tabela 13, é realizada uma comparação entre o levantamento bibliográfico efectuado e os valores obtidos neste estudo. Os resultados mostram que tanto os agregados naturais como os agregados reciclados estão de acordo com as demais investigações.

Tabela 13 - Comparação de valores de desgaste de Los Angeles em diversas investigações

Autor	SI _{médio} (%)	
	AGN	AGRB
Fonseca <i>et al.</i> (2011)	29,5	42,7
Larrañaga (2004)	19,9	34,1
Rao <i>et al.</i> (2011)	21,6	38,8
Soares <i>et al.</i> (2014)	27,0	37,3
Presente estudo (agregados TP)	31,6	41,3
Presente estudo (agregados TS)	27,8	35,9

3. Considerações finais

Com o presente relatório, pretendeu-se analisar as propriedades dos vinte tipos de agregados (reciclados e naturais) utilizados durante a campanha experimental do projecto.

Os resultados mostraram que os AR exibem desempenhos inferiores aos agregados naturais, devido à presença de argamassa aderida. Vários investigadores relatam que esta argamassa é responsável por diminuir a massa volúmica, aumentar a absorção de água e porosidade dos AR (Padmini *et al.*, 2009; Kou e Poon, 2010; Tam e Tam, 2007)

Neste estudo, a massa volúmica dos AFRB e AGRB foi ligeiramente inferior à dos seus homólogos naturais. As variações máximas não ultrapassaram 15%. Nesta propriedade, não foram observadas diferenças significativas entre reciclados de diferentes origens e sujeitos a processos de trituração distintos.

Contrariamente, a absorção de água dos AR foi bastante superior à dos AN. Por exemplo, nos finos reciclados, onde apenas foram utilizados os AR de melhor qualidade

(pertencentes ao BO de 65 MPa) verificaram-se valores de cerca de 6,1%, muito acima de 0,2 e 0,3% evidenciados pelos agregados finos naturais. Apesar de terem apresentado melhores desempenhos, os agregados grossos reciclados exibiram valores cerca de 4 vezes superiores aos AGN. Nesta fracção, observou-se também que o desempenho dos AGRB melhorou com o aumento da resistência do seu BO e quando na sua trituração foi utilizada a britagem primária mais secundária.

A elevada absorção de água dos AR exigiu cuidados especiais na formulação dos betões, nomeadamente para evitar situações que conduzissem a uma diminuição da quantidade de água eficaz para o processo de hidratação. Este tipo de situações está geralmente associado a ITZ's (*Interfacial Transition Zone*) mais fracas entre o agregado e a pasta de cimento (7-Tarefa 2.4)

Tal como a massa volúmica, a baridade dos AR foi inferior à dos AN (redução na ordem de 15% e 25%, para os AFRB e AGRB, respectivamente). No que respeita ao índice de vazios, ocorreram valores semelhantes entre finos naturais e reciclados. Lembra-se que a curva dos AFR correspondeu a uma composição das duas curvas dos AFN, contribuindo para esta situação. No caso dos AGRB, observa-se nos resultados a influência do processo de trituração e da origem dos reciclados, de forma análoga ao sucedido na massa volúmica.

Relativamente ao índice de forma, foram obtidos valores inferiores nos AGRB comparativamente aos AGN. Esta situação não era expectável e mostrou que os AR possuem uma forma mais arredondada, o que se deveu ao seu processo de trituração.

Finalmente, na propriedade de desgaste de *Los Angeles*, os valores máximos ocorreram nos agregados reciclados. Deste modo, constatou-se que os AR apresentam um desgaste superior ao dos naturais, situação expectável devido à menor capacidade resistente da pasta de cimento. Mais uma vez, entre os reciclados, foram os agregados provenientes dos BO de 65 MPa e triturados segundo o processo TS que apresentaram os melhores resultados.

4. Bibliografia

Castelo Branco, F. - Levantamento das características dos agregados produzidos em Portugal. Relatório provisório. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra 2009.

NP EN 12620+A1 - Agregados para betão. IPQ. Lisboa 2010.

NP EN 1097-6 - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: determinação da massa volúmica e da absorção de água. IPQ. Lisboa 2003.

Coutinho, A. - Fabrico e propriedades do betão. Vol. I, II, III. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa 1997.

Evangelista, L.; Brito, J. - Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Composites. Vol. 29. N.º 5. 2007. pp. 397-401.

Hansen, T. - Recycling of demolished concrete and masonry. Report of technical committee 37-DRC. Demolition and Reuse of Concrete. Taylor & Francis. London 1992.

Evangelista, L. - Comportamento de betões com agregados finos reciclados de betão. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade de Lisboa. Lisboa 2014.

LNEC E-471 - Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos. LNEC. Lisboa 2009.

NP EN 1097-3 - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: determinação da baridade e do volume de vazios. IPQ. Lisboa 2002.

Katz, A. - Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. Cement and Concrete Research. Vol. 33. 2003. pp. 703-711.

Pereira, P.; Evangelista, L.; de Brito, J. - The effect of superplasticizers on the workability and compressive strength of concrete made with fine recycled concrete aggregates. Construction and Building Materials. Vol. 28. N.º 1. 2011. pp. 722-9.

Fonseca, N.; de Brito, J.; Evangelista, L. - The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with coarse recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Composites. Vol. 33. N.º 6. 2011. pp. 637-643.

Ferreira, L.; de Brito, J.; Barra, M. - Influence of the pre-saturation of recycled coarse concrete aggregates on the fresh and hardened properties of concrete. Magazine of Concrete Research. Vol. 63. N.º 8. 2011. pp. 617-27.

Matias, D.; de Brito, J.; Rosa, A.; Pedro, D. - Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates - Influence of the use of superplasticizers. Construction and Building Materials. Vol. 44. 2013. pp. 101-109.

Limbachiya, M. C.; Dhir, R. K.; Leelawat, T. - Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. Vol. 33. N.º 9. 2000. pp. 574-580.

Gomes, M. - Betões estruturais com incorporação de agregados reciclados de betão e cerâmicos com reboco. Dissertação de Mestrado em Construção. Instituto Superior Técnico, Lisboa 2007.

NP EN 933-4 - Ensaio geométricos dos agregados. Parte 4: determinação da forma das partículas - Índice de forma. IPQ. Lisboa 2002.

Larrañaga, M. E. - Experimental study on microstructure and structural behaviour of recycled aggregate concrete. Tese de Doutoramento, Universidade Politécnica da Catalunha. Barcelona 2004.

Etxeberria, M.; Vázquez, E.; Marí, A.; Barra, M. - Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. Cement and Concrete Research. Vol. 37. 2007. pp. 735-742.

Soares, D.; Brito, J.; Ferreira, J.; Pacheco, J. - In situ materials characterization of full-scale recycled aggregates concrete structures. Construction and Building Materials. Vol. 71. 2014. pp. 237-245.

NP EN 1097-2 - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: métodos para a determinação da resistência à fragmentação. IPQ. Lisboa 2011.

LNEC E-373 - Inertes para argamassas e betões. Características e verificação da conformidade. LNEC. Lisboa 1993.

Brito, J. - Agregados reciclados e a sua influência nas propriedades dos betões. Lição de síntese para provas de agregação em Engenharia Civil. Lisboa 2005.

Padmini, A.; Ramamurthy, K.; Mathews, M. - Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials. Vol. 23. 2009. pp. 829-836.

Kou, S.; Poon, C. - Properties of concrete prepared with PVA-impregnated recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Composites. Vol. 32. 2010. pp. 649-659.

Tam, V.; Tam, C. - Assessment of durability of recycled aggregate concrete produced by two-stage mixing approach. Journal of Materials Science. Vol. 42. 2007. pp. 3592-602.

Lisboa, 23 de Março de 2015

Autores

Diogo Pedro
Bolsheiro de Investigação

Jorge de Brito
Professor Catedrático

Luís Evangelista
Professor Adjunto

Pedro Silva
Professor Adjunto

ANEXO A

Ensaaios aos agregados: análise granulométrica

Areia fina

Amostra 1	M₁ (g)	985,8	M₂ (g)	978,3
------------------	--------------------------	-------	--------------------------	-------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
	(g)	(%)	Retida (%)	Passada (%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	0	0,0	0,0	100,0
8	0	0,0	0,0	100,0
5,6	0	0,0	0,0	100,0
4	0,3	0,0	0,0	100,0
2	2,1	0,2	0,2	99,8
1	13,7	1,4	1,6	98,4
0,5	209,5	21,4	23,1	76,9
0,25	512,7	52,4	75,5	24,5
0,125	226	23,1	98,6	1,4
0,063	12,8	1,3	99,9	0,1
Refugo	0,9	0,1	100,0	0,0
Total	978	100,0		

Módulo de finura	1,99	f	0,85
-------------------------	------	----------	------

Amostra 2	M₁ (g)	1089,8	M₂ (g)	1082,4
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
	(g)	(%)	Retida (%)	Passada (%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	0	0,0	0,0	100,0
8	0	0,0	0,0	100,0
5,6	0	0,0	0,0	100,0
4	0	0,0	0,0	100,0
2	0,3	0,0	0,0	100,0
1	11,2	1,0	1,1	98,9
0,5	247,8	22,9	24,0	76,0
0,25	571,8	52,8	76,8	23,2
0,125	229,8	21,2	98,0	2,0
0,063	20,7	1,9	99,9	0,1
Refugo	0,6	0,1	100,0	0,0
Total	1082,2	100,0		

Módulo de finura	2,00	f	0,73
-------------------------	------	----------	------

Amostra 3	M₁ (g)	1029,7	M₂ (g)	1023,1
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
	(g)	(%)	Retida (%)	Passada (%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	0	0,0	0,0	100,0
8	0	0,0	0,0	100,0
5,6	0	0,0	0,0	100,0
4	0	0,0	0,0	100,0
2	0,6	0,1	0,1	99,9
1	10,5	1,0	1,1	98,9
0,5	227,4	22,2	23,3	76,7
0,25	541,1	52,9	76,2	23,8
0,125	224,3	21,9	98,1	1,9
0,063	18,3	1,8	99,9	0,1
0,0065	0,7	0,1	100,0	0,0
Total	1022,9	100,0		

Módulo de finura	1,99	f	0,71
-------------------------	------	----------	------

Areia grossa

Amostra 1	M₁ (g)	1189,2	M₂ (g)	1174,1
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
			Retida	Passada
	(g)	(%)	(%)	(%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	0	0,0	0,0	100,0
8	2,2	0,2	0,2	99,8
5,6	9,8	0,8	1,0	99,0
4	20,3	1,7	2,8	97,2
2	140,9	12,0	14,8	85,2
1	338,04	28,8	43,6	56,4
0,5	374,12	31,9	75,5	24,5
0,25	203,04	17,3	92,8	7,2
0,125	73,2	6,2	99,0	1,0
0,063	10,6	0,9	99,9	0,1
Refugo	0,72	0,1	100,0	0,0
Total	1172,92	100,0		

Módulo de finura	3,29	f	1,33
-------------------------	------	----------	------

Amostra 2	M₁ (g)	1140,6	M₂ (g)	1125,2
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
			Retida	Passada
	(g)	(%)	(%)	(%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	0	0,0	0,0	100,0
8	1	0,1	0,1	99,9
5,6	9,3	0,8	0,9	99,1
4	24,3	2,2	3,1	96,9
2	142,8	12,7	15,8	84,2
1	340,3	30,3	46,0	54,0
0,5	328,5	29,2	75,2	24,8
0,25	195,5	17,4	92,6	7,4
0,125	65	5,8	98,4	1,6
0,063	16,9	1,5	99,9	0,1
Refugo	1	0,1	100,0	0,0
Total	1124,6	100,0		

Módulo de finura	3,31	f	1,44
-------------------------	------	----------	------

Amostra 3	M₁ (g)	1109,7	M₂ (g)	1097,1
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
			Retida	Passada
	(g)	(%)	(%)	(%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	0	0,0	0,0	100,0
8	1,3	0,1	0,1	99,9
5,6	7,5	0,7	0,8	99,2
4	18,5	1,7	2,5	97,5
2	134,7	12,3	14,8	85,2
1	332,7	30,3	45,1	54,9
0,5	334,4	30,5	75,6	24,4
0,25	190,7	17,4	93,0	7,0
0,125	64,5	5,9	98,9	1,1
0,063	11,3	1,0	99,9	0,1
0,0065	0,8	0,1	100,0	0,0
Total	1096,4	100,0		

Módulo de finura	3,30	f	1,21
-------------------------	------	----------	------

Bago de arroz

Amostra 1	M₁ (g)	1515,3	M₂ (g)	1505,4
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida (g) (%)		Massa acumulada	
			Retida (%)	Passada (%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	0	0,0	0,0	100,0
8	0	0,0	0,0	100,0
5,6	181,6	12,1	12,1	87,9
4	1075,8	71,7	83,8	16,2
2	211,4	14,1	97,9	2,1
1	18,4	1,2	99,1	0,9
0,5	6,2	0,4	99,5	0,5
0,25	2,5	0,2	99,7	0,3
0,125	2	0,1	99,8	0,2
0,063	1,5	0,1	99,9	0,1
Refugo	1,1	0,1	100,0	0,0
Total	1500,5	100,0		

Módulo de finura	5,80	f	0,73
-------------------------	------	----------	------

Amostra 2	M₁ (g)	1622,7	M₂ (g)	1611,7
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida (g) (%)		Massa acumulada	
			Retida (%)	Passada (%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	0	0,0	0,0	100,0
8	0	0,0	0,0	100,0
5,6	206,4	12,8	12,8	87,2
4	1120,5	69,7	82,5	17,5
2	235,3	14,6	97,2	2,8
1	28,5	1,8	99,0	1,0
0,5	9,7	0,6	99,6	0,4
0,25	2,2	0,1	99,7	0,3
0,125	1,8	0,1	99,8	0,2
0,063	1,4	0,1	99,9	0,1
Refugo	1,6	0,1	100,0	0,0
Total	1607,4	100,0		

Módulo de finura	5,78	f	0,78
-------------------------	------	----------	------

Amostra 3	M₁ (g)	1305,4	M₂ (g)	1295,7
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida (g) (%)		Massa acumulada	
			Retida (%)	Passada (%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	0	0,0	0,0	100,0
8	0	0,0	0,0	100,0
5,6	171,12	13,3	13,3	86,7
4	868,5	67,4	80,7	19,3
2	185,2	14,4	95,1	4,9
1	45,6	3,5	98,6	1,4
0,5	6,5	0,5	99,1	0,9
0,25	6,5	0,5	99,6	0,4
0,125	2,8	0,2	99,9	0,1
0,063	0,6	0,0	99,9	0,1
0,0065	1,2	0,1	100,0	0,0
Total	1288,02	100,0		

Módulo de finura	5,73	f	0,83
-------------------------	------	----------	------

Brita 1

Amostra 1	M₁ (g)	2550,2	M₂ (g)	2518,65
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	---------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
			Retida	Passada
	(g)	(%)	(%)	(%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	2,95	0,1	0,1	99,9
11,2	566,5	22,5	22,6	77,4
8	930,1	37,0	59,6	40,4
5,6	855,55	34,0	93,6	6,4
4	96,5	3,8	97,4	2,6
2	36,3	1,4	98,9	1,1
1	18,9	0,8	99,6	0,4
0,5	1,7	0,1	99,7	0,3
0,25	1,9	0,1	99,7	0,3
0,125	2,1	0,1	99,8	0,2
0,063	2,2	0,1	99,9	0,1
Refugo	2	0,1	100,0	0,0
Total	2516,7	100,0		

Módulo de finura	6,55	f	1,32
-------------------------	------	----------	------

Amostra 2	M₁ (g)	2652,3	M₂ (g)	2621,4
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
			Retida	Passada
	(g)	(%)	(%)	(%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	506,4	19,3	19,3	80,7
8	1022,3	39,0	58,4	41,6
5,6	904,8	34,5	92,9	7,1
4	123,4	4,7	97,6	2,4
2	44,5	1,7	99,3	0,7
1	8,9	0,3	99,6	0,4
0,5	3,2	0,1	99,8	0,2
0,25	1,6	0,1	99,8	0,2
0,125	1,5	0,1	99,9	0,1
0,063	1,4	0,1	99,9	0,1
Refugo	1,6	0,1	100,0	0,0
Total	2619,6	100,0		

Módulo de finura	6,54	f	1,23
-------------------------	------	----------	------

Amostra 3	M₁ (g)	2374,8	M₂ (g)	2350,4
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
			Retida	Passada
	(g)	(%)	(%)	(%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,0	100,0
11,2	485,7	20,7	20,7	79,3
8	960,3	40,9	61,5	38,5
5,6	755,5	32,2	93,7	6,3
4	95,4	4,1	97,8	2,2
2	30,2	1,3	99,0	1,0
1	13,4	0,6	99,6	0,4
0,5	2,4	0,1	99,7	0,3
0,25	1,5	0,1	99,8	0,2
0,125	2,2	0,1	99,9	0,1
0,063	1,8	0,1	99,9	0,1
0,0065	1,2	0,1	100,0	0,0
Total	2349,6	100,0		

Módulo de finura	6,57	f	1,08
-------------------------	------	----------	------

Brita 2

Amostra 1	M₁ (g)	3108,4	M₂ (g)	3091,95
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	---------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
	(g)	(%)	Retida	Passada
			(%)	(%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	0	0,0	0,0	100,0
16	1084,2	35,4	35,4	64,6
11,2	1660,9	54,2	89,6	10,4
8	262	8,5	98,1	1,9
5,6	25,3	0,8	98,9	1,1
4	10,2	0,3	99,3	0,7
2	0,1	0,0	99,3	0,7
1	0,7	0,0	99,3	0,7
0,5	2,2	0,1	99,4	0,6
0,25	4,9	0,2	99,5	0,5
0,125	6,5	0,2	99,7	0,3
0,063	6,4	0,2	99,9	0,1
Refugo	2	0,1	100,0	0,0
Total	3065,4	100,0		

Módulo de finura	7,30	f	0,59
-------------------------	------	----------	------

Amostra 2	M₁ (g)	3196,5	M₂ (g)	3180,4
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
	(g)	(%)	Retida	Passada
			(%)	(%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	124,3	3,9	3,9	96,1
16	1112,4	34,9	38,8	61,2
11,2	1651,4	51,9	90,7	9,3
8	264,2	8,3	99,0	1,0
5,6	18,6	0,6	99,6	0,4
4	3,1	0,1	99,7	0,3
2	0,6	0,0	99,7	0,3
1	1,0	0,0	99,7	0,3
0,5	1,1	0,0	99,7	0,3
0,25	1,5	0,0	99,8	0,2
0,125	2,1	0,1	99,9	0,1
0,063	2,5	0,1	99,9	0,1
Refugo	2,0	0,1	100,0	0,0
Total	3184,8	100,0		

Módulo de finura	7,36	f	0,57
-------------------------	------	----------	------

Amostra 3	M₁ (g)	3110,5	M₂ (g)	3094,2
------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Peneiro (mm)	Massa retida		Massa acumulada	
	(g)	(%)	Retida	Passada
			(%)	(%)
125	0	0,0	0,0	100,0
63	0	0,0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	0,0	100,0
22,4	65,4	2,1	2,1	97,9
16	1200,5	38,9	41,0	59,0
11,2	1550,8	50,2	91,2	8,8
8	221,5	7,2	98,4	1,6
5,6	35,2	1,1	99,5	0,5
4	3,1	0,1	99,6	0,4
2	0,6	0,0	99,6	0,4
1	1	0,0	99,7	0,3
0,5	1,1	0,0	99,7	0,3
0,25	1,5	0,0	99,8	0,2
0,125	4,1	0,1	99,9	0,1
0,063	2	0,1	100,0	0,0
0,0065	1,2	0,0	100,0	0,0
Total	3088	100,0		

Módulo de finura	7,38	f	0,56
-------------------------	------	----------	------

ANEXO B

Fichas técnicas dos agregados naturais

Areia fina



FICHA TÉCNICA DE PRODUTO



Produto: Origem:
 Aplicação:
 Tipo:

CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

Distribuição granulométrica ¹⁾

Peneiro (mm)	Valores típicos (%)	Limites Mínimos (%)	Limites Máximos (%)
31,5	100		
25	100		
20	100		
16	100		
12,5	100		
10	100		
8	100		
6,3	100		
4	100	100	100
2	100	95	100
1	99	79	100
0,5	77		
0,25	18	0	43
0,125	1		
0,063	0,5	0,0	3,0

¹⁾ Valores em percentagem de passados

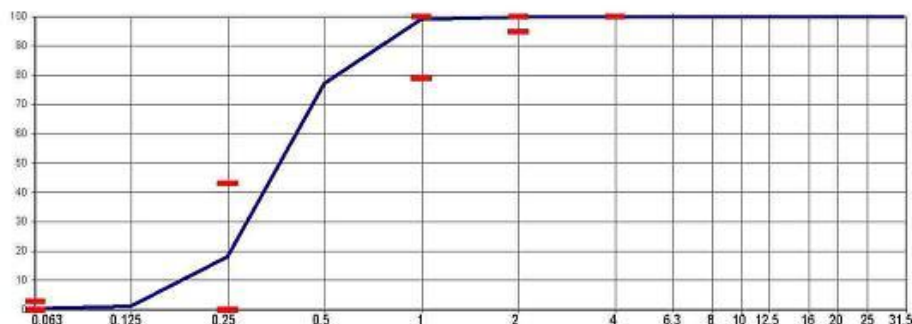
Controlo da produção

Parâmetro	Típico	Mínimo	Máximo
MF	2,03	1,53	2,53
CF	2,27	1,77	2,77

Outras características

Característica	NP EN 12620	NP EN 13043
Dimensão nominal (d/D)	0/2	
Granulometria	G ₈₅	G ₈₅ -G ₁₀ -20
Massa Volumica:		
-- Material impermeável	2,63 Mg/m ³	
-- Partículas secas em estufa	2,62 Mg/m ³	
-- Partículas saturadas	2,62 Mg/m ³	
Absorção de água	0,2%	
Teor de finos	f ₃	NA
Qualidade dos finos	NA	
Teor de cloretos	≤ 0,01%	
Sulfatos solúveis em ácido	AS _{0,9}	
Enxofre total	0,04%	
Teor de Húmido	Mais claro	
Teor de cont. orgânicos leves	DND	
Teor de carbonato de cálcio	DND	
Retração por secagem	0,019%	
Teor de carbonato de cálcio	DND	
Resistência gelo/degelo	DND	
Reactividade álcali-silica	DND	
Resistência choque térmico	DND	

NA-Não aplicável DND- Desempenho não determinado



Data: 02 / 01 / 2007

O Director Produção:

F 06.01 - 16/09/2005

Areia grossa



FICHA TÉCNICA DE PRODUTO



Produto:	Areia Lavada 0/4- P. Conde Cunha 4	Origem:	Pinhal Conde Cunha 4 - Seixal
Aplicação:	Betão (NP EN 12620) e Misturas betuminosas (NP EN 13043)		
Tipo:	Quartzito, quartzito, feldspato (partículas subangulosas a subarredondadas)		

CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

Distribuição granulométrica ¹⁾

Peneiro (mm)	Valores típicos (%)	Limites Mínimos (%)	Limites Máximos (%)
31,5	100		
25	100		
20	100		
16	100		
12,5	100		
10	100		
8	100	100	100
6,3	100	98	100
4	97	92	99
2	85	65	99
1	52	32	72
0,5	12		
0,25	3	0	23
0,125	1		
0,063	0,4	0,0	3,0

¹⁾ Valores em percentagem de passados

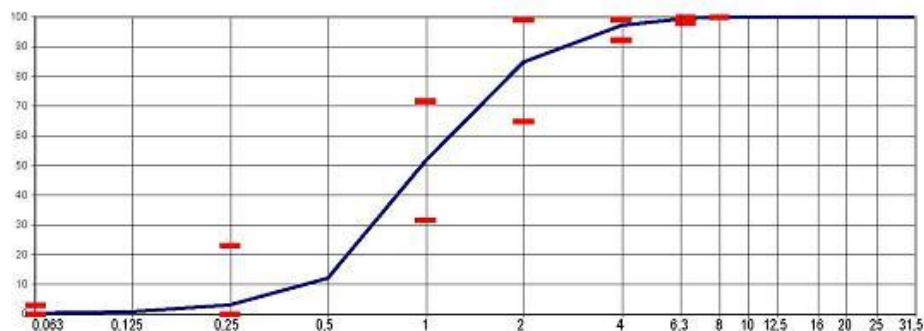
Controlo da produção

Parâmetro	Típico	Mínimo	Máximo
MF	3,49	2,99	3,99
CF	3,81	3,31	4,31

Outras características

Característica	NP EN 12620	NP EN 13043
Dimensão nominal (d/D)	0/4	
Granulometria	G ₈₅	G ₉₀ -G _{T0} 20
Massa Volumica:		
-- Material impermeável	2,64 Mg/m ³	
-- Partículas secas em estufa	2,61 Mg/m ³	
-- Partículas saturadas	2,62 Mg/m ³	
Absorção de água	0,5%	
Teor de finos	f ₃	NA
Qualidade dos finos	NA	
Teor de cloretos	≤ 0,01%	
Sulfatos solúveis em ácido	AS ₀₂	
Enxofre total	0,07%	
Teor de Húmus	Mais claro	
Teor de cont. orgânicos leves	DND	
Teor de carbonato de cálcio	DND	
Retração por secagem	0,020%	
Teor de carbonato de cálcio	DND	
Resistência gelo/degelo	DND	
Reactividade alcalis-silica	DND	
Resistência choque térmico	DND	

NA- Não aplicável DND-Desempenho não determinado



Data: 02 / 01 / 2007

O Director Produção:

F 06.01 - 16/09/2005

Bago de arroz



Declaração de Desempenho

Nº 02 – Agregado 2/6



1029
05

Código de identificação único do produto tipo: Agregado 2/6 (Bago de Arroz).

Utilizações previstas: Agregado para Betão; Agregado para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação.

Fabricante: José Marques Gomes Galo, SA
Apartado 1003
Zambujal – 2971-908 Sesimbra

Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho (AVCP): Sistema 2+

Norma harmonizada: EN 12620:2002+A1:2008 - Agregados para Betão
EN 13043:2002+AC:2004 - Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação

Organismo Notificado: SGS-ICS – Serviços Internacionais de Certificação

Desempenho Declarado

Descrição Petrográfica:		Calcário compacto de grão fino de cor branca acinzentada, pertencente ao Jurássico Superior		
Distribuição Granulométrica		EN 12620	EN13043	
Categoria Granulométrica		Gc:85/20	Gc:90/15	
Peneiro Intermediário		NA	G ₂₀₁₅	
Série base + Série 2	Granulometria Típica			
Peneiro ^{a)} (mm)	% Passada	Limite Inferior	Limite Superior	
63,0	100			
40,0	100			
31,5	100			
20,0	100			
16,0	100			
14,0	100			
12,5	100	100	100	
10,0	100			
8,0	100	98	100	
6,3	98	90	100	
4,0	27	20	43	
2,0	5	0	15	
1,0	3	0	5	
0,500	2			
0,250	2			
0,125	2			
0,063	1,7	0,0	4,0	
^{a)} Abertura quadrada dos peneiros em mm		Valores em Percentagem passada Acumulada		
Outras Características do produto		EN 12620	EN13043	
Massa Volumica do material impermeável cas partículas (Mg/m ³)		2,71 ± 0,05		
Massa Volumica das partículas saturadas com a superfície seca ao ar (Mg/m ³)		2,69 ± 0,05		
Massa Volumica das partículas secas em estufa (Mg/m ³)		2,68 ± 0,05		
Absorção de água (%)		WA ₂₄ 0,5%	WA ₂₄ 1	
Teor de firos		f ₄	f ₄	
Índice de Achamento		F ₁₅₅	F ₁₅₅	
Índice de Forma		SI ₄₀	SI ₅₀	
Resistência à fragmentação ^{b)}		LA ₃₀		
Resistência ao desgaste ^{b)}		Mpe20		
Retração por secagem ^{b)}		≤0,033%WS	NA	
Porcentagem de partículas esmagadas		NA	C _{100/0}	
Teor de Húmus ^{b)}		Isento	NA	
Contaminantes Orgânicos Leves ^{b)}		≤0,1%	m _{PCO,1}	
Constituintes que alteram o tempo de presa e a resistência à compressão ^{b)}		≤120min ≤20%	NA	
Resistência ao Polimento		PSV _{NIR}	FSV _{NIR}	
Resistência à Abrasão provocada por Pneu Pitonadcs		A _N NR	A _N NR	
Resistência ao Choque Térmico		NA	DND	
Teor de Conchas do Agregado Grosso		SC _{NIR}	NA	
Composição Química		NA	DND	
Substâncias Perigosas		DND	NA	
Teor de Carbonatos ^{b)}		>42%CO ₂ ≥96%CaCO ₃	NA	
Teor de Cloretos ^{b)}		≤0,001%Cl	NA	
Sulfatos Solúveis em Ácido ^{b)}		A _{S0,2}	NA	
Enxofre Total ^{b)}		≤1%S	NA	
Resistência ao Gelo/Degelo do Agregado Grosso		F _{NIR}	F _{NIR}	
Afinidade do Agregado Grosso com o ligante betuminoso		NA	DND	
Reactividade Alcalis-Silica ^{b)}		Classe I	NA	
Baridade (Mg/m ³)		[1,31 ; 1,34]		

NA: Não aplicável

DND: Desempenho Não Determinado

^{b)}Valor determinado num agregado com a mesma origem

O desempenho do produto identificado acima está em conformidade com o conjunto de desempenhos declarados.

A presente declaração de desempenho é emitida, em conformidade com o Regulamento (EU) n.º 305/2011, sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado acima.

Assinado por e em nome do Fabricante por:

Clélia Galo

Em Sesimbra, em 09 de Julho de 2014

FG.03.40 (02)

16-05-2014

Pág.1/1

Brita 1



Declaração de Desempenho

Nº 03 – Agregado 6/12



1029
05

Código de identificação único do produto tipo: Agregado 6/12 (Brita 1).

Utilizações previstas: Agregado para Betão; Agregado para misturas betumínicas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação.

Fabricante: José Marques Gomes Galo, SA
Apartado 1003
Zambujal – 2971-908 Sesimbra

Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho (AVCP): Sistema 2+

Norma harmonizada: EN 12620:2002+A1:2008 - Agregados para Betão
EN 13043:2002+AC:2004 - Agregados para misturas betumínicas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação

Organismo Notificado: SGS-ICS – Serviços Internacionais de Certificação

Desempenho Declarado

Descrição Petrográfica:		Calcário compacto de grão fino de cor branca acinzentada, pertencente ao Jurássico Superior	
Distribuição Granulométrica		EN 12620	EN13043
Categoria Granulométrica		G _c 85/20	G _c 90/20
Peneiro Intermédio		NA	G ₂₅₀ 15
Série base + Série 2	Granulometria Típica		
Peneiro ^{a)} (mm)	% Passada	Limite Inferior	Limite Superior
63,0	100		
40,0	100		
31,5	100		
20,0	100	100	100
16,0	100	98	100
14,0	100		
12,5	97	90	100
10,0	71		
8,0	39	25	54
6,3	12	0	20
4,0	2	0	5
2,0	1		
1,0	1		
0,500	1		
0,250	1		
0,125	1		
0,063	0,7	0,0	1,5
Outras Características do produto		EN 12620	EN13043
Massa Volúmica do material impermeável das partículas (Mg/m ³)		2,70 ± 0,05	
Massa Volúmica das partículas saturadas com a superfície seca ao ar (Mg/m ³)		2,68 ± 0,05	
Massa Volúmica das partículas secas em estufa (Mg/m ³)		2,67 ± 0,05	
Absorção de água (%)		WA ₂₄ 0,6%	WA ₂₄ 1
Teor de finos		f _{1,2}	f ₂
Índice de Achatamento		F ₁₂₀	F ₁₂₀
Índice de Forma		S ₁₄₀	S ₁₄₀
Resistência à fragmentação ^{b)}		LA ₃₀	
Resistência ao desgaste ^{b)}		M ₁₀ 20	
Retração por secagem ^{b)}		≤0,030%WS	NA
Porcentagem de partículas esmagadas		NA	C ₁₀₀₀
Teor de Húmus ^{b)}		Isento	NA
Contaminantes Orgânicos Leves ^{b)}		≤0,1%	m ₁₀ 20 0,1
Constituintes que alteram o tempo de presa e a resistência à compressão ^{b)}		≤120min	NA
Resistência ao Polimento		PSV _{NR}	PSV _{NR}
Resistência à Abrasão provocada por Pneus Fitonados		A _u NR	A _u NR
Resistência ao Choque Térmico		NA	DND
Teor de Conchas do Agregado Grosso		SC _{NR}	NA
Composição Química		NA	DND
Substâncias Perigosas		DND	NA
Teor de Carbonatos ^{b)}		≥42%CC ₂	NA
Teor de Cloretos ^{b)}		≤0,001%Cl	NA
Sulfatos Solúveis em Ácido ^{b)}		AS _{0,2}	NA
Enxofre Total ^{b)}		≤1%S	NA
Resistência ao Gelo/Degelo do Agregado Grosso		F _{NR}	F _{NR}
Afinidade do Agregado Grosso com o ligante betumíneo		NA	DND
Reactividade Alcalis-Silica ^{b)}		Classe I	NA
Baridade (Mg/m ³)		[1,38 ; 1,39]	

^{a)}Abertura quadrada dos peneiros em mm Valores em Percentagem passada Acumulada

NA: Não aplicável DND: Desempenho Não Determinado ^{b)}Valor determinado num agregado com a mesma origem

O desempenho do produto identificado acima está em conformidade com o conjunto de desempenhos declarados.

A presente declaração de desempenho é emitida, em conformidade com o Regulamento (EU) n.º 305/2011, sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado acima.

Assinado por e em nome do Fabricante por:

Clélia Galo

Em Sesimbra em 09 de Julho de 2014

FG.02.40 (02)

15-06-2014

Pág.1/1

Brita 2



Declaração de Desempenho

Nº 05 – Agregado 12/20



Código de identificação único do produto tipo: Agregado 12/20 (Brita 2).

Utilizações previstas: Agregado para Betão; Agregado para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação.

Fabricante: José Marques Gomes Galo, SA
Apartado 1003
Zambujal – 2971-908 Sesimbra

Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho (AVCP): Sistema 2+

Norma harmonizada: EN 12620:2002+A1:2008 - Agregados para Betão
EN 13043:2002+AC:2004 - Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação

Organismo Notificado: SGS-ICS – Serviços Internacionais de Certificação

Desempenho Declarado

Descrição Petrográfica:		Cálçário compacto de grão fino de cor branca acinzentada, pertencente ao Jurássico Superior	
Distribuição Granulométrica		EN 12620	EN 13043
Categoria Granulométrica		Gc85/20	Gc85/20
Peneiro Intermédio		NA	NA
Série base + Série 2	Granulometria Típica		
Peneiro ¹⁾ (mm)	% Passada	Limite Inferior	Limite Superior
83,0	100		
40,0	100	100	100
31,5	100	98	100
20,0	96	85	100
16,0	52		
14,0	27		
12,5	12	0	20
10,0	2		
8,0	1		
6,3	1	0	5
4,0	1		
2,0	1		
1,0	1		
0,500	1		
0,250	1		
0,125	1		
0,063	0,5	0,0	1,5

Outras Características do produto		EN 12620	EN 13043
Massa Volúmica do material impermeável das partículas (Mg/m ³)		2,71 ± 0,05	
Massa Volúmica das partículas saturadas com a superfície seca ao ar (Mg/m ³)		2,69 ± 0,05	
Massa Volúmica das partículas secas em estufa (Mg/m ³)		2,67 ± 0,05	
Absorção de água (%)	WA ₂₄ 0,6%		WA ₂₄ 1
Teor de finos	f _{1,5}		f ₂
Índice de Achatamento			F _{1,5}
Índice de Forma			S _{1,5}
Resistência à fragmentação ²⁾			LA ₂₀
Resistência ao descaсте ³⁾			M _{0,20}
Retração por secagem ⁴⁾	≤0,030%WS		NA
Percentagem de partículas esmagadas	NA		C ₁₀₀₀
Teor de Húmus ⁵⁾	Isento		NA
Contaminantes Orgânicos Leves ⁶⁾	≤0,1%		m _{LE} 0,1
Constituintes que alteram o tempo de presa e a resistência à compressão ⁷⁾	≤120min ≤20%		NA
Resistência ao Polimento	PSV _{IR}		PSV _{IR}
Resistência à Abrasão provocada por Pneus Pitonados	A ₁ NR		A ₁ NR
Resistência ao Choque Térmico	NA		DND
Teor de Conchas do Agregado Grosso	SC _{IR}		NA
Composição Química	NA		DND
Substâncias Perigosas	DND		NA
Teor de Carbonatos ⁸⁾	≥42%CO ₂ ≥96%CaCO ₃		NA
Teor de Cloretos ⁹⁾	≤0,01%Cl		NA
Sulfatos Solúveis em Ácido ¹⁰⁾	AS _{0,2}		NA
Enxofre Total ¹¹⁾	≤1%S		NA
Resistência ao Gelo/Degelo do Agregado Grosso	F _{IR}		F _{IR}
Afinidade do Agregado Grosso com o ligante betuminoso	NA		DND
Reactividade Alcalis-Silica ¹²⁾	Classe I		NA
Baridade (Mg/m ³)		[1,36 ; 1,43]	

¹⁾Abertura quadrada dos peneiros em mm
²⁾Valores em Percentagem passada Acumulada

NA: Não aplicável
DND: Desempenho Não Determinado
³⁾Valor determinado num agregado com a mesma origem

O desempenho do produto identificado acima está em conformidade com o conjunto de desempenhos declarados.

A presente declaração de desempenho é emitida, em conformidade com o Regulamento (EU) n.º 305/2011, sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado acima.

Assinado por e em nome do Fabricante por:

Clélia Galo

Em Sesimbra, em 09 de Julho de 2014

FG.02.40 (02)

16-06-2014

Pág. 1 / 1

ANEXO C

Ensaio aos agregados: massa volúmica e absorção de água

	Areia fina			Areia grossa			Bago de arroz		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
M₀ (g)	1163,5	1125,2	1102,1	1113,5	1321,0	1386,1	2200,7	2285,4	2013,0
M₁ (g)	1125,4	1114,7	1097,2	1103,2	1303,9	1374,7	2096,7	2275,6	2020,3
M₂ (g)	2391,6	2371,4	2357,0	2359,1	3905,4	3942,9	6622,4	6811,5	6489,2
M₃ (g)	1675,9	1676,0	1677,0	1675,9	3083,6	3079,3	5308,1	5386,0	5237,9
M₄ (g)	1124,0	1113,2	1095,2	1098,9	1301,6	1371,9	2074,1	2254,0	1998,9
ρ_a (kg/m³)	2752,9	2664,4	2637,8	2643,5	2712,8	2699,0	2729,8	2720,6	2673,8
ρ_{rd} (kg/m³)	2743,5	2654,9	2625,1	2616,4	2699,9	2684,2	2650,9	2651,5	2599,3
ρ_{sss} (kg/m³)	2746,9	2658,5	2629,9	2626,7	2704,6	2689,7	2679,8	2676,9	2627,2
WA₂₄ (%)	0,1%	0,1%	0,2%	0,4%	0,2%	0,2%	1,1%	1,0%	1,1%

	Brita 1			Brita 2			AGP		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
M₀ (g)	3000,0	3038,5	3042,8	5500,0	5555,8	5572,7	-	-	-
M₁ (g)	3017,4	3055,9	3060,2	5457,4	5513,2	5530,1	5457,4	5454,4	-
M₂ (g)	4994,6	5033,1	5037,4	17488,0	17543,8	17560,7	7488,0	7448,0	-
M₃ (g)	3131,4	3169,9	3174,2	14170,0	14225,8	14242,7	4170,0	4155,0	-
M₄ (g)	2976,1	3011,6	3012,9	5379,3	5443,1	5466,5	5387,3	5380,3	-
ρ_a (kg/m³)	2674,2	2622,4	2620,6	2609,7	2561,3	2544,3	2603,4	2577,6	-
ρ_{rd} (kg/m³)	2578,5	2525,0	2517,0	2514,4	2479,5	2471,2	2518,1	2489,3	-
ρ_{sss} (kg/m³)	2614,3	2562,2	2556,6	2550,9	2511,5	2499,9	2550,9	2523,5	-
WA₂₄ (%)	1,4%	1,5%	1,6%	1,5%	1,3%	1,2%	1,3%	1,4%	-

	LC-65TS (finos)			PF-65TS (finos)		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
M₀ (g)	-	-	-	-	-	-
M₁ (g)	1143,7	1145,3	1142,9	1374,3	1367,9	1370,2
M₂ (g)	2295,0	2296,3	2293,8	2483,4	2488,2	2489,1
M₃ (g)	1616,2	1616,3	1615,9	1677,1	1676,9	1677,2
M₄ (g)	1078,7	1079,8	1078,1	1293,5	1289,9	1290,4
ρ_a (kg/m³)	2697,4	2700,9	2693,9	2655,0	2695,2	2696,8
ρ_{rd} (kg/m³)	2320,3	2320,7	2318,5	2277,3	2317,5	2311,3
ρ_{sss} (kg/m³)	2460,1	2461,4	2457,8	2419,5	2457,6	2454,2
WA₂₄ (%)	6,0%	6,1%	6,0%	6,2%	6,0%	6,2%

	LC-20P			LC-45P			LC-65P		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
M₀ (g)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M₁ (g)	3695,0	3731,5	3759,2	3645,2	3626,1	-	3583,3	3554,0	-
M₂ (g)	7335,6	7339,3	7249,9	7337,3	7363,9	-	7294,5	7407,6	-
M₃ (g)	5150,8	5077,9	5077,8	5236,6	5240,5	-	5241,7	5345,8	-
M₄ (g)	3435,0	3495,0	3449,0	3409,5	3390,0	-	3439,7	3410,0	-
ρ_a (kg/m³)	2747,6	2833,2	2701,1	2605,1	2676,5	-	2480,1	2529,3	-
ρ_{rd} (kg/m³)	2274,5	2377,4	2173,1	2207,6	2255,9	-	2247,4	2285,2	-
ρ_{sss} (kg/m³)	2446,7	2538,3	2368,6	2360,2	2413,1	-	2341,3	2381,7	-
WA₂₄ (%)	7,6%	6,8%	9,0%	6,9%	7,0%	-	4,2%	4,2%	-

	PF-20P			PF-45P			PF-65P		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
M₀ (g)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M₁ (g)	3675,0	3662,5	-	3565,2	3572,2	-	3678,7	3683,7	-
M₂ (g)	7315,6	7311,6	-	7331,3	7381,3	-	7417,6	7437,6	-
M₃ (g)	5140,2	5137,2	-	5238,1	5245,1	-	5218,7	5223,7	-
M₄ (g)	3415,0	3408,6	-	3355,5	3350,5	-	3534,7	3529,7	-
ρ_a (kg/m³)	2754,9	2761,8	-	2658,3	2759,3	-	2646,1	2682,6	-
ρ_{rd} (kg/m³)	2277,3	2290,6	-	2279,6	2333,3	-	2388,6	2401,5	-
ρ_{sss} (kg/m³)	2450,7	2461,2	-	2422,1	2487,7	-	2485,9	2506,3	-
WA₂₄ (%)	7,6%	7,4%	-	6,2%	6,6%	-	4,1%	4,4%	-

	LC-20PS			LC-45PS			LC-65PS		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
M₀ (g)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M₁ (g)	3681,0	3684,5	-	2036,9	2027,4	-	3573,3	3565,3	-
M₂ (g)	7397,3	7401,5	-	6470,5	6441,9	-	7290,5	7283,1	-
M₃ (g)	5250,8	5250,5	-	5250,6	5233,7	-	5231,2	5225,2	-
M₄ (g)	3414,0	3432,0	-	1932,9	1922,1	-	3442,5	3447,5	-
ρ_a (kg/m³)	2693,5	2679,2	-	2710,9	2692,4	-	2488,8	2480,9	-
ρ_{rd} (kg/m³)	2224,8	2238,0	-	2365,9	2346,3	-	2273,8	2287,1	-
ρ_{sss} (kg/m³)	2398,8	2402,7	-	2493,1	2474,9	-	2360,2	2365,2	-
WA₂₄ (%)	7,8%	7,4%	-	5,4%	5,5%	-	3,8%	3,4%	-

	PF-20PS			PF-45PS			PF-65PS		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
M₀ (g)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M₁ (g)	3675,0	3678,5	-	3545,2	3552,2	-	3698,7	3671	-
M₂ (g)	7312,6	7317,2	-	7330,1	7341,2	-	7437,6	7442,7	-
M₃ (g)	5138,8	5142,8	-	5227,8	5233,6	-	5248,7	5252,6	-
M₄ (g)	3435,0	3441,5	-	3355,5	3350,5	-	3556,7	3535,5	-
ρ_a (kg/m³)	2723,6	2716,0	-	2677,5	2695,7	-	2600,3	2627,8	-
ρ_{rd} (kg/m³)	2288,2	2288,1	-	2325,5	2319,3	-	2355,7	2387,4	-
ρ_{sss} (kg/m³)	2448,0	2445,6	-	2457,0	2459,0	-	2449,8	2478,9	-
WA₂₄ (%)	7,0%	6,9%	-	5,7%	6,0%	-	4,0%	3,8%	-

ANEXO D

Ensaio aos agregados: massa volúmica aparente e volume de vazios

	Areia fina			Areia grossa			Bago de arroz		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
V (l)	3			3			3		
M₁ (g)	1857,6	1857,6	1857,7	1857,6	1857,7	1857,7	1857,8	1857,8	1857,6
M₂ (g)	6540,7	6583,2	6586,2	6440,9	6479,5	6481,8	6058,8	6120,1	6057,7
ρ_b (kg/m³)	1561,0	1575,2	1576,2	1527,8	1540,6	1541,4	1400,3	1420,8	1400,0
ρ_b (média) (kg/m³)	1570,8			1536,6			1407,0		
ρ_{rd} (kg/m³)	2674,0			2667,0			2633,9		
% de vazios	0,41			0,42			0,47		

	Brita 1			Brita 2			AGP		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
V (l)	10			10			10		
M₁ (g)	8972,8	8972,6	8972,5	8973,0	8972,8	8972,7	8973	8972,8	8972,9
M₂ (g)	22593,2	22768,6	22890,3	22393,0	22586,0	22610,0	22893,0	22686,0	22900,0
ρ_b (kg/m³)	1362,0	1379,6	1391,8	1342,0	1361,3	1363,7	1392,0	1371,3	1392,7
ρ_b (média) (kg/m³)	1377,8			1355,7			1385,3		
ρ_{rd} (kg/m³)	2620,0			2622,9			2503,0		
% de vazios	0,47			0,48			0,45		

	LC-65TS (finos)			PF-65TS (finos)		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
V (l)	3			3		
M₁ (g)	1857,8	1857,7	1857,7	1857,7	1857,7	1857,7
M₂ (g)	5973,4	5965,4	5987,5	5921,6	5909,5	5901,4
ρ_b (kg/m³)	1371,9	1369,2	1376,6	1354,6	1350,6	1347,9
ρ_b (média) (kg/m³)	1372,6			1351,0		
ρ_{rd} (kg/m³)	2320,0			2297,0		
% de vazios	0,41			0,41		

	LC-20P (grossos)			LC-45P (grossos)			LC-65P (grossos)		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
V (l)	10			10			10		
M₁ (g)	8973,0	8972,8	8972,8	8972,6	8972,6	8972,8	8973	8973,4	8973,8
M₂ (g)	19066,2	19341,4	19247,5	19125,2	19258,5	19325,6	20024,5	20153,5	20282,8
ρ_b (kg/m³)	1009,3	1036,9	1027,5	1015,3	1028,6	1035,3	1105,2	1118,0	1130,9
ρ_b (média) (kg/m³)	1024,6			1026,4			1118,0		
ρ_{rd} (kg/m³)	2275,0			2231,0			2266,0		
% de vazios	0,55			0,54			0,51		

	PF-20P			PF-45P			PF-65P		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
V (l)	10			10			10		
M₁ (g)	8974,2	8974,1	8974,2	8974,1	8974	8974	8973,5	8973,8	8973,7
M₂ (g)	19325,2	19340,5	19125,8	19352,1	19544,2	19298,5	20301,5	20887,4	20975,8
ρ_b (kg/m³)	1035,1	1036,6	1015,2	1037,8	1057,0	1032,5	1132,8	1191,4	1200,2
ρ_b (média) (kg/m³)	1029,0			1042,4			1174,8		
ρ_{rd} (kg/m³)	2283,0			2306,0			2395,0		
% de vazios	0,55			0,55			0,51		

	LC-20PS			LC-45PS			LC-65PS		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
V (l)	10			10			10		
M₁ (g)	8973,7	8973,6	8973,7	8974	8974,1	8974,2	8974,3	8974,4	8974,3
M₂ (g)	19344,5	19452,4	19152,5	19642,2	19728,6	19825,3	20903,2	20654,6	20523,4
ρ_b (kg/m³)	1037,1	1047,9	1017,9	1066,8	1075,5	1085,1	1192,9	1168,0	1154,9
ρ_b (média) (kg/m³)	1034,3			1075,8			1171,9		
ρ_{rd} (kg/m³)	2231,0			2356,0			2280,0		
% de vazios	0,54			0,54			0,49		

	PF-20PS			PF-45PS			PF-65PS		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
V (l)	10			10			10		
M₁ (g)	8974,5	8974,6	8974,7	8974,6	8974,5	8974,7	8974,2	8974,1	8974,2
M₂ (g)	19584,6	19354,8	19697,2	19755,2	19825,2	19652,3	20454,3	20781,5	20991,5
ρ_b (kg/m³)	1061,0	1038,0	1072,3	1078,1	1085,1	1067,8	1148,0	1180,7	1201,7
ρ_b (média) (kg/m³)	1057,1			1077,0			1176,8		
ρ_{rd} (kg/m³)	2288,0			2322,0			2371,0		
% de vazios	0,54			0,54			0,50		

ANEXO E

Ensaaios aos agregados: índice de forma

Bago de arroz				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0	0,0	-	-
16 - 22,4	0	0,0	-	-
11,2 - 16	0	0,0	-	-
8 - 11,2	0	0,0	-	-
5,6 - 8	53,4	15,6	-	6,5
4 - 5,6	288,3	84,4	-	49,6

M₀ (g)	341,7	SI (%)	16,4
--------------------------	-------	---------------	-------------

Brita 1				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0	0,0	-	-
16 - 22,4	0	0,0	-	-
11,2 - 16	175	12,1	175,5	24,2
8 - 11,2	421,4	29,2	116,8	28,5
5,6 - 8	486,3	33,7	124,9	28,7
4 - 5,6	361,2	25,0	95,5	19,7

M₀ (g)	1443,9	SI (%)	19,7
--------------------------	--------	---------------	-------------

Brita 2				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	347,9	8,5	-	-
16 - 22,4	1919,4	46,9	-	234,3
11,2 - 16	1423	34,7	-	250,2
8 - 11,2	312,6	7,6	-	-
5,6 - 8	45,8	1,1	-	-
4 - 5,6	47,7	1,2	-	-

M₀ (g)	4096,4	SI (%)	14,5
--------------------------	--------	---------------	-------------

ANP				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0	0,0	-	-
16 - 22,4	1012,8	31,7	945,4	193,1
11,2 - 16	997,1	31,2	475,0	145,2
8 - 11,2	389,9	12,2	181,5	93,6
5,6 - 8	384,4	12,0	77,0	55,3
4 - 5,6	290,0	9,1	-	-

M₀ (g)	3074,2	SI (%)	29,0
--------------------------	--------	---------------	-------------

LC-20P				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45		0,0	-	-
22,4 - 31,5		0,0	-	-
16 - 22,4	1148,0	33,7	826,3	127,5
11,2 - 16	1102,0	32,3	452,8	135,4
8 - 11,2	430,1	12,6	159,8	52,1
5,6 - 8	422,3	12,4	47,9	25,0
4 - 5,6	308,7	9,0	-	-

M₀ (g)	3411,1	SI (%)	22,9
--------------------------	--------	---------------	-------------

LC-45P				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0	0,0	-	-
16 - 22,4	1248,4	33,9	902,4	135,2
11,2 - 16	1179,1	32,0	494,5	142,4
8 - 11,2	460,2	12,5	174,5	42,3
5,6 - 8	451,9	12,3	52,3	38,4
4 - 5,6	340,9	9,3	-	-

M₀ (g)	3680,5	SI (%)	22,1
--------------------------	--------	---------------	-------------

LC-65P				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0	0,0	-	-
16 - 22,4	1061,0	33,2	722,8	108,9
11,2 - 16	1045,0	32,7	587,1	133,6
8 - 11,2	405,9	12,7	219,4	60,5
5,6 - 8	410,1	12,8	55,4	27,4
4 - 5,6	275,5	8,6	-	-

M₀ (g)	3197,4	SI (%)	20,8
--------------------------	--------	---------------	-------------

PF-20P				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0	0,0	-	-
16 - 22,4	1068,6	33,7	769,4	109,9
11,2 - 16	1025,8	32,3	421,6	102
8 - 11,2	400,4	12,6	148,8	58
5,6 - 8	393,1	12,4	44,6	6,5
4 - 5,6	287,4	9,1	-	-

M₀ (g)	3175,2	SI (%)	20,0
--------------------------	--------	---------------	-------------

PF-45P				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	0,0	-
22,4 - 31,5	0	0,0	0,0	-
16 - 22,4	1091,2	34,5	774,0	87,7
11,2 - 16	1030,0	32,6	321,1	111,7
8 - 11,2	410,1	13,0	93,7	38,2
5,6 - 8	337,6	10,7	38,4	18,3
4 - 5,6	294,5	9,3	-	-

M₀ (g)	3163,4	SI (%)	20,9
--------------------------	--------	---------------	-------------

PF-65P				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0	0,0	-	-
16 - 22,4	1139,0	33,6	767,5	109,6
11,2 - 16	1104,9	32,6	397,1	69,4
8 - 11,2	433,8	12,8	160,6	85,7
5,6 - 8	424,4	12,5	58,3	28,8
4 - 5,6	282,8	8,4	-	-

M₀ (g)	3384,9	SI (%)	21,2
--------------------------	--------	---------------	-------------

LC-20PS				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0,0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0,0	0,0	-	-
16 - 22,4	1255,6	34,5	804,1	83
11,2 - 16	1175,3	32,3	408,2	65,2
8 - 11,2	433,5	11,9	170,5	45,1
5,6 - 8	442,3	12,1	51,5	35,2
4 - 5,6	334,9	9,2	-	-

M₀ (g)	3641,6	SI (%)	15,9
--------------------------	--------	---------------	-------------

LC-45PS				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0	0,0	-	-
16 - 22,4	1117,5	34,5	720,7	53,4
11,2 - 16	1038,1	32,0	342,7	58,2
8 - 11,2	402,8	12,4	164,5	39,7
5,6 - 8	392,5	12,1	65,6	27,5
4 - 5,6	290,0	8,9	-	-

M₀ (g)	3240,94	SI (%)	13,8
--------------------------	---------	---------------	-------------

LC-65PS				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0	0,0	-	-
16 - 22,4	1381,4	36,6	819,2	77,9
11,2 - 16	1166,2	30,9	329,1	40,8
8 - 11,2	457,2	12,1	165,3	14,1
5,6 - 8	476,6	12,6	45,5	46
4 - 5,6	298,0	7,9	-	-

M₀ (g)	3779,4	SI (%)	13,2
--------------------------	--------	---------------	-------------

PF-20PS				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0	0,0	-	-
16 - 22,4	1201,2	35,1	788,4	93,5
11,2 - 16	1115,1	32,6	443,7	55,9
8 - 11,2	424,7	12,4	190,7	65,1
5,6 - 8	391,5	11,4	69,7	33
4 - 5,6	291,5	8,5	-	-

M₀ (g)	3423,885	SI (%)	16,6
--------------------------	----------	---------------	-------------

PF-45PS				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	-
22,4 - 31,5	0	0,0	-	-
16 - 22,4	1239,0	34,1	912,7	117
11,2 - 16	1149,3	31,6	381,7	38,3
8 - 11,2	451,2	12,4	121,3	33,8
5,6 - 8	469,5	12,9	46,2	6
4 - 5,6	324,1	8,9	-	-

M₀ (g)	3633,1	SI (%)	13,3
--------------------------	--------	---------------	-------------

PF-65PS				
Fracção granulométrica (mm)	M₁ (g)	V_i (%)	M₁: mínimo 100 partículas (g)	M₂ (g)
31,5 - 45	0	0,0	-	
22,4 - 31,5	0	0,0	-	
16 - 22,4	1161,3	38,0	724,2	51,3
11,2 - 16	1063,5	34,8	366,1	58,4
8 - 11,2	414,8	13,6	144,0	36,1
5,6 - 8	411,8	13,5	51,5	10,6
4 - 5,6	1,5	0,0	-	-
M₀ (g)	3052,8	SI (%)	12,2	

ANEXO F

Ensaaios aos agregados: desgaste de *Los Angeles*

Agregado	Massa inicial (g)	Fracção 11,2-14 mm (g)	Fracção 10-11,2 mm (g)	Retido no peneiro 1,6 mm (g)	Δ LA (%)
Brita 1	5000,5	3475,3	1525,2	3639,6	27,22
Brita 2	5000,7	3475,5	1525,2	3582,5	28,36
ANP	5000,4	3475,3	1525,1	3422,6	31,55
LC-20P	5000,2	3475,1	1525,1	2705,5	45,89
LC-45P	5000,8	3475,6	1525,2	2784,5	44,32
LC-65P	5000,6	3475,4	1525,2	3195,8	36,09
PF-20P	5000,2	3475,1	1525,1	2864,2	42,72
PF-45P	5000,4	3480,3	1520,1	2883,4	42,34
PF-65P	5001	3485,7	1515,3	3189,7	36,22
LC-20PS	5000,9	3475,6	1525,3	3091,5	38,18
LC-45PS	5000,4	3460,3	1540,1	3133,5	37,34
LC-65PS	5001	3465,7	1535,3	3350,5	33,00
PF-20PS	5000,6	3480,4	1520,2	3104,1	37,93
PF-45PS	5000,1	3485,1	1515,0	3152,7	36,95
PF-65PS	5000,8	3495,6	1505,2	3385,1	32,31