



DECivil

Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura

**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 5

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

**PLANEAMENTO DA TAREFA**

**RELATÓRIO**

Janeiro 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**

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. ENQUADRAMENTO E CONTEXTO</b>	<b>1</b>
<b>3. CAMPANHA EXPERIMENTAL</b>	<b>2</b>
3.1. Primeira fase experimental	2
3.2. Segunda fase experimental	3
3.3. Terceira fase experimental	4
3.4. Formulação dos betões	5
3.5. Composição dos betões de referência	7
3.6. Composição dos betões reciclados	8
3.7. Produção das amassaduras de betão	8
<b>4. CALENDARIZAÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>10</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>11</b>
<b>ANEXO</b>	<b>1</b>

## **Índice de figuras**

Figura 1 - Diagrama da Tarefa 5.....	5
Figura 2 - Curvas granulométricas obtidas pela execução do <i>software Sikacomp 2.5</i> .....	6
Figura 3 - Aspecto da amassadura ao fim de 3 minutos .....	8
Figura 4 - Aspecto da amassadura ao fim de sete minutos .....	8
Figura 5 - Calendarização da Tarefa 5 .....	9

## **Índice de tabelas**

Tabela 1 - Ensaio ao betão no estado fresco .....	3
Tabela 2 - Ensaio mecânico ao betão.....	3
Tabela 3 - Ensaio de durabilidade ao betão .....	3
Tabela 4 - Composições da fase 1 .....	3
Tabela 5 - Composições da fase 2 .....	4
Tabela 6 - Composições da fase 3 .....	4
Tabela 7 - Ensaio ao betão fase 3.....	5
Tabela 8 - Constituição dos BR da 1ª fase para uma amassadura de 1 m <sup>3</sup> .....	7
Tabela 9 - Constituição dos BR da 2ª fase para uma amassadura de 1 m <sup>3</sup> .....	7

## 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
BED	Betões de elevado desempenho
BR	Betão de referência
MEV	Microscopia electrónica de varrimento
PF	Família de betão pré-fabricado
Relação a/l	Relação água / ligante
SF	Sílica de fumo

## 1. Introdução

O presente relatório apresenta o planeamento da Tarefa 5 relativa ao Projecto FCT PTDC/ECM/118372/2010 (EXCELlentSUStainableCONcrete). Tem por objectivo definir as *guidelines* necessárias à avaliação da incorporação de agregados reciclados (AR) em betões de elevado desempenho (BED). Deste modo, define os materiais, a metodologia e os ensaios que se pretendem adoptar na realização da referida tarefa.

O planeamento elaborado procurou considerar uma análise em termos mecânicos, reológicos e de durabilidade. Para isso, foram considerados os seguintes ensaios: resistência à compressão em cubos; resistência à tracção por compressão diametral; módulo de elasticidade; ultra-sons; aderência aço-betão; absorção de água por imersão e capilaridade; resistência à penetração de cloretos; resistência à carbonatação; permeabilidade ao oxigénio; retracção e fluência. Foram ainda considerados ensaios de microscopia electrónica de varrimento (MEV).

## 2. Enquadramento e contexto

Os betões de elevado desempenho são constituídos por cimento, água, agregados finos, grossos, adjuvantes (superplastificante) e/ou adições minerais (por exemplo, cinzas volantes, escória de alto forno, pó de sílica) (Bharatkumar et al., 2001; Lim et al., 2004).

Habitualmente utilizam cimentos CEM I, da classe 42.5 ou 52.5, em quantidades elevadas, cerca de 400-550 kg/m<sup>3</sup> e com relações água / ligante entre 0,25 e 0,35 (Neville e Aïtcin, 1998; Aïtcin, 2003).

Estes betões são dotados de resistências mecânicas (nomeadamente a resistência à compressão) superiores às dos betões convencionais. Apesar disto, a resistência não é sempre a principal propriedade requerida.

Em situações onde sejam exigidas maiores trabalhabilidades e melhores resistências a ataques químicos poderão também implicar a utilização de betões de elevado desempenho (Tu et al., 2006).

No entanto, devido às elevadas quantidades de cimento, os BED apresentam impactos ambientais superiores aos dos betões convencionais.

Deste modo, no contexto da sustentabilidade da indústria da construção, é importante a criação de um conjunto de estratégias relativamente à sua utilização.

Considerando que os agregados correspondem a 55-80% do volume de betão (Tu et al., 2006), o presente estudo centra-se na utilização de agregados reciclados, vector que permite não só a poupança de recursos naturais como também a libertação de espaço nos aterros.

Além disso, contempla como materiais substitutos / complementares do cimento os subprodutos da produção de silício (sílica de fumo) e da queima de carvão mineral para a produção de energia (cinzas volantes).

### **3. Campanha experimental**

A campanha experimental desta tarefa, composta por 3 fases, será conduzida, de forma a avaliar a capacidade de produção de BED incorporando agregados reciclados. As duas primeiras fases serão constituídas por três famílias de betão que, irão diferir entre si, pela proporção de sílica de fumo (SF) utilizada:

- **0% SF** - família sem sílica de fumo na sua composição;
- **5% SF** - família com 5% (da massa de ligante) de sílica de fumo;
- **10 % SF** - família com 10% (da massa de ligante) de sílica de fumo.

No que respeita à terceira fase, serão escolhidos os betões que apresentarem melhores resultados nas fases anteriores.

Para a avaliar a influência de SF nos betões com agregados reciclados (BAR), cada família compreenderá quatro betões que se distinguem no que à taxa de substituição de agregados finos naturais (AFN) por agregados finos reciclados (AFRB) e de agregados grossos naturais por agregados grossos reciclados (AGRB) diz respeito:

- **BR 0/0** - 0% de substituição;
- **B 50/50** - 50% de substituição de AFN por AFRB e 50% de AGN por AGRB;
- **B 0/100** - 100% de substituição de AGN por AGRB;
- **B 100/100** - 100% de substituição de AN por AR.

Nos subcapítulos seguintes, pretende-se abordar a metodologia e o planeamento da campanha experimental, descrevendo cada uma das fases que a constituem.

#### **3.1. Primeira fase experimental**

A primeira fase da campanha experimental consistirá na composição, produção e caracterização de betões constituídos por uma quantidade constante de ligante de 400

kg/m<sup>3</sup>. A selecção deste valor deve-se ao facto de corresponder ao limite inferior do que é geralmente utilizado (Neville e Aïtcin, 1998).

A sílica de fumo será introduzida nas amassaduras como um substituto do cimento, segundo as condições referidas. As quantidades de SF foram definidas em função da literatura existente. Os estudos mostram que a sílica de fumo, quando utilizada, representa 5 a 15% da massa de ligante, estando o valor ideal próximo de 10% (Neville e Aïtcin, 1998).

As propriedades dos betões no estado fresco e endurecido serão avaliadas através dos ensaios referidos nas Tabelas 1, 2 e 3.

**Tabela 1 - Ensaios ao betão no estado fresco**

Estado fresco	Ensaio de abaixamento	NP EN 12350-2:2009
	Massa volúmica	NP EN 12350-6:2009

**Tabela 2 - Ensaios mecânicos ao betão**

Estado endurecido	Resistência à compressão	NP EN 12390-3:2011
	Resistência à tracção por compressão diametral	NP EN 12390-6:2011
	Módulo de elasticidade	LNEC E 397:1993
	Ultra-sons	NP EN 12504-4:2007

**Tabela 3 - Ensaios de durabilidade ao betão**

Durabilidade	Resistência à carbonatação	LNEC E 391:1993
	Absorção de água por capilaridade	LNEC E 393:1993
	Absorção de água por imersão	LNEC E 394:1993
	Resistência à penetração por cloretos	LNEC E 463:2004

No total, pretende-se caracterizar dozes tipos de amassaduras (Tabela 4), o que implicará produzir cerca de 1000 litros de betão.

**Tabela 4 - Amassaduras da fase 1**

Tipo de betão	0% SF	5% SF	10% SF
BR 0/0	M1	M5	M9
B 50/50	M2	M6	M10
B 0/100	M3	M7	M11
B 100/100	M4	M8	M12

### 3.2. Segunda fase experimental



A segunda fase será idêntica à primeira, quer nas propriedades que serão avaliadas (Tabelas 1, 2 e 3) quer na quantidade de betão a produzir, cerca de 1000 litros (Tabela 5). A única diferença está relacionada com a quantidade de ligante que passará do limite inferior ( $400 \text{ kg/m}^3$ ) para o limite superior de  $550 \text{ kg/m}^3$  (Neville e Aïtcin, 1998). Assim, nesta fase, pretende-se otimizar, ainda mais, os desempenhos dos betões.

**Tabela 5 - Amassaduras da fase 2**

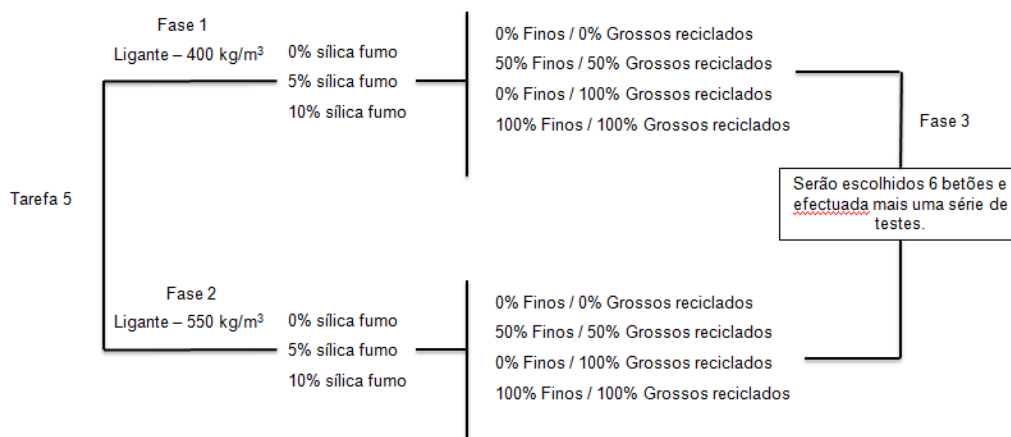
Tipo de betão	0% SF	5% SF	10% SF
BR 0/0	M13	M17	M21
B 50/50	M14	M18	M22
B 0/100	M15	M19	M23
B 100/100	M16	M20	M24

### 3.3. Terceira fase experimental

Finalmente, a terceira fase, consistirá em escolher seis dos betões que apresentarem melhores resultados nas fases anteriores (Tabela 6 e Figura 1) e efectuar nesses betões mais uma série de testes de modo a se obter uma caracterização mais pormenorizada. Estima-se um volume de produção de cerca de 300 litros.

**Tabela 6 - Amassaduras da fase 3**

Amassaduras a seleccionar das fases 1 e 2
M25
M26
M27
M28
M29
M30



**Figura 1 - Diagrama da tarefa 5**

Esta fase incluirá a uma avaliação de carácter reológico, pretendendo-se também realizar ensaios de microscopia electrónica de varrimento (MEV), com o objectivo de analisar detalhadamente a estrutura superficial dos betões. Outros ensaios como a permeabilidade ao oxigénio e aderência aço-betão serão também realizados (Tabela 7).

**Tabela 7 - Ensaio ao betão fase 3**

Reologia	Retracção	LNEC E 398:1993
	Fluência	LNEC E 399:1993
Outros ensaios	Permeabilidade ao oxigénio	LNEC E 392:1993
	Aderência aço-betão	RILEM 7.11.128:1970
	Microscopia eletrónica de varrimento	-

### **3.4. Formulação dos betões**

A composição das amassaduras da presente campanha experimental terá como base, em cada família, a formulação obtida para o betão de referência (BR). Para os restantes betões, será necessário substituir os agregados naturais pelos agregados reciclados na proporção correspondente à taxa de substituição e ajustar as relações a/l.

De forma a comparar as propriedades dos BR, de cada família, com as propriedades dos restantes betões reciclados, será definido um intervalo de  $190 \pm 20$  mm para o ensaio de abaixamento. Assim, pretende-se fixar a “trabalhabilidade” das amassaduras, procurando que todas elas apresentem valores de abaixamento enquadráveis na classe S4, de acordo com a norma NP EN 206-1 (2005).

A formulação dos diversos betões será feita de acordo com a metodologia proposta por Faury (1958). Em seguida, lista-se algumas características que serão adoptadas:

- **classe de resistência:** > C50/60, para a 1ª fase e > C60/75, para a 2ª fase;
- **classe de consistência:** S4;
- **D<sub>máx</sub>:** 22,4 mm (poderá ser reduzido na 2ª fase, em função dos resultados);
- **cimento:** CEM I 52,5 R;
- **adjuvantes:** superplastificante (SikaPlast 898);
- **adições:** cinzas volantes e sílica de fumo;
- **água de amassadura:** água potável, da rede de abastecimento pública;
- **local de fabrico:** Laboratório de Construção do Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos do Instituto Superior Técnico

Na primeira fase, o cimento CEM I 52,5R será utilizado em quantidades de 360, 340 e 320 kg/m<sup>3</sup> para as famílias com 0, 5 e 10% de sílica de fumo, respectivamente. Na segunda fase, para as mesmas famílias, serão usadas quantidades de 495, 467,5 e 440 kg/m<sup>3</sup>.

Relativamente às cinzas volantes, serão empregues na 1ª e 2ª fase valores de 40 e 55 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, correspondendo a 10% da massa de ligante.

A quantidade de água a utilizar nos betões de referência da primeira fase será cerca de 148 l/m<sup>3</sup>, estimando-se obter relações a/l próximas de 0,37. No que concerne aos betões da segunda fase, são esperadas relações a/l próximas de 0,28. Estes valores foram confirmados através de realização de betonagens experimentais para as amassaduras de referência com 0% SF.

Finalmente, em ambas as fases, será adicionado superplastificante (SikaPlast 898) na proporção de 2% da massa de ligante (cimento, cinzas e sílica), diluído na água de amassadura.

De referir que, para a realização dos cálculos necessários recorreu-se ao *software Sikacomp 2.5* que, sendo baseado no método dos mínimos quadrados, permite um acerto rigoroso das proporções de agregados. Na Figura 2, apresenta-se as curvas granulométricas dos agregados naturais e as curvas reais e de referência que serão utilizadas no fabrico das amassaduras de betão. Estas curvas foram calculadas para o BR 0% SF, da 1ª fase.

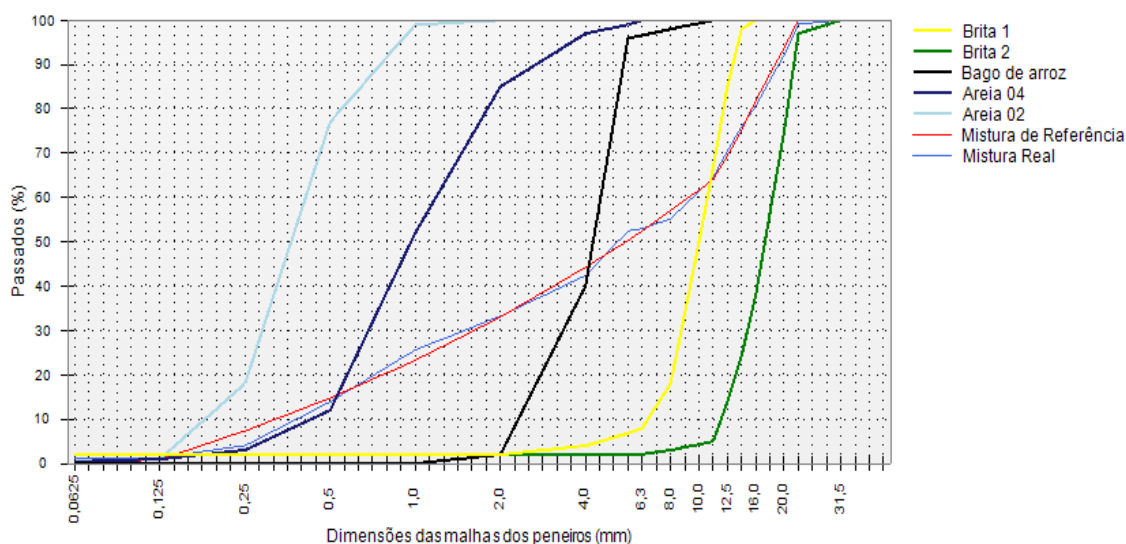


Figura 2 - Curvas granulométricas obtidas pela execução do *software Sikacomp 2.5*

No que respeita aos agregados reciclados, uma vez que, serão previamente separados, serão incorporados na amassadura de acordo com a curva de referência. A separação será realizada em função da sua dimensão através das seguintes aberturas de malha:

0,25; 0,50; 1; 2; 4; 5,6; 8; 11,2; 16 e 22,4 mm. Deste modo, a curva granulométrica usada para os AR será semelhante à curva de referência enquanto a utilizada para os AN será idêntica à curva real. As proporções dos agregados e as curvas granulométricas serão mantidas constantes nos diversos betões. Esta situação será revista se, na 2ª fase, for alterado o  $D_{máx}$ .

De referir que os AR terão origem em produtos rejeitados da pré-fabricação (PF), com resistências à compressão na ordem de 65 MPa. Esta selecção foi apoiada em resultados das tarefas anteriores que mostraram que estes agregados são os que permitem obter os melhores desempenhos.

### 3.5. Composição dos betões de referência

De acordo com os pressupostos assumidos, nas Tabelas 8 e 9, são apresentadas as composições dos BR a produzir.

**Tabela 8 - Constituição dos BR 1ª fase para uma amassadura de 1 m<sup>3</sup>**

Constituintes	Quantidades		
	BR 0% SF	BR 5% SF	BR 10% SF
Relação a/l	0,37	0,37	0,37
Cimento (kg)	360	340	320
Cinzas volantes (kg)	40	40	40
Sílica de fumo	0	20	40
Areia fina (kg)	300	300	300
Areia grossa (kg)	482	482	482
Bago de arroz (kg)	273	273	273
Brita 1 (kg)	288	288	288
Brita 2 (kg)	524	524	524
Água (l)	148	148	148

**Tabela 9 - Constituição dos BR 2ª fase para uma amassadura de 1 m<sup>3</sup>**

Constituintes	Quantidades		
	BR 0% SF	BR 5% SF	BR 10% SF
Relação a/l	0,28	0,28	0,28
Cimento (kg)	495	467,5	440
Cinzas volantes (kg)	55	55	55
Sílica de fumo	0	27,5	55
Areia fina (kg)	276	276	276
Areia grossa (kg)	444	444	444
Bago de arroz (kg)	252	252	252
Brita 1 (kg)	266	266	266
Brita 2 (kg)	483	483	483
Água (l)	154	154	154

### 3.6. Composição dos betões reciclados

As composições dos betões reciclados serão definidas considerando uma substituição, em volume, de agregados naturais por agregados reciclados.

Os BAR serão necessariamente constituídos por maiores quantidades de água, devido à maior absorção de água dos AR face aos AN. Esta água extra não será incluída na relação  $a/l_{efectiva}$  (ou apenas relação  $a/l$ ) mas sim na relação  $a/l_{aparente}$  que engloba também a água correspondente à absorção dos AR. Deste modo, no caso dos BR, a relação  $a/l_{efectiva}$  será idêntica à sua relação  $a/l_{aparente}$ , sendo que, no caso dos BAR, a segunda terá que ser necessariamente superior à primeira. Em anexo, apresenta-se as composições calculadas para estes betões.

### 3.7. Produção das amassaduras de betão

Na amassadura dos betões, será empregue um processo semelhante ao utilizado em fases anteriores. O processo terá a duração de 10 minutos e consistirá nos seguintes passos:

- ligar a betoneira;
- colocar agregados naturais e reciclados com uma quantidade de água correspondente a  $2/3$  do previsto para a amassadura mais a água extra a ser absorvida pelos AR;
- esperar seis minutos e introduzir cimento, cinzas volantes, sílica de fumo e o restante  $1/3$  da água de amassadura misturada com o superplastificante;
- esperar mais quatro minutos, para homogeneização da amassadura, e desligar betoneira.



Figura 3 - Aspecto da amassadura ao fim de 3 minutos



Figura 4 - Aspecto da amassadura ao fim de sete minutos

## 4. Calendarização

O plano da tarefa de investigação será realizado de acordo com a calendarização preliminar apresentada na Figura 5.

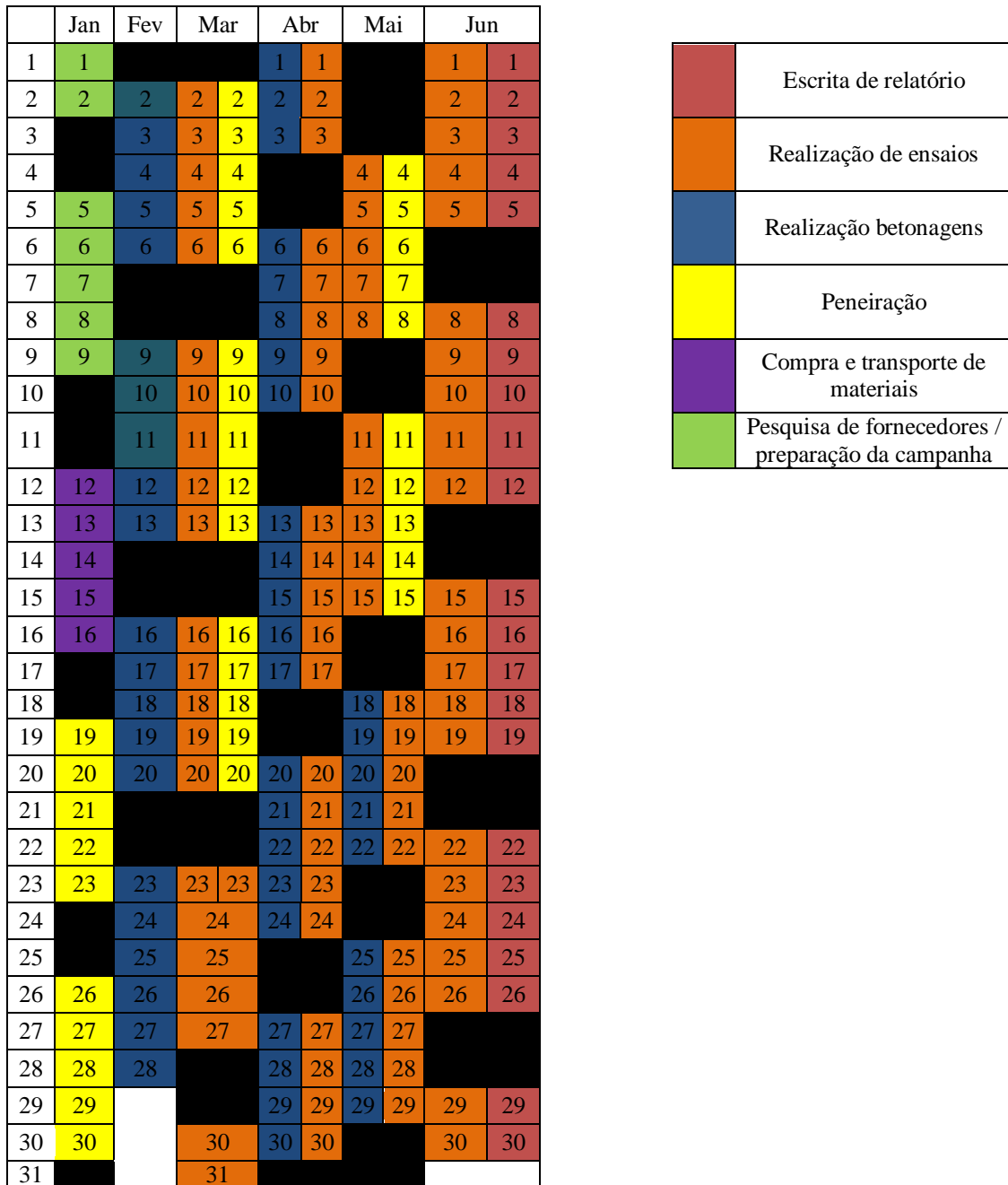


Figura 5 - Calendarização da tarefa 5

Apesar de o planeamento da Tarefa 5 ir até Junho, os ensaios de longo prazo (fluência e retração) apenas irão terminar no final de Agosto. Por conseguinte, o relatório de resultados da 3ª fase apenas será entregue no início de Setembro.

## 5. Considerações finais

Através do planeamento realizado, pretende-se avaliar o potencial de betões com agregados reciclados atingirem desempenhos similares aos de betões de elevado desempenho.

Apesar de existir alguma informação sobre BED convencional, o conhecimento sobre BED reciclado é ainda reduzido. As investigações estudam maioritariamente o desempenho mecânico, apresentando várias limitações, nomeadamente em termos de taxas de substituição analisadas.

Deste modo, com esta campanha experimental, pretende-se estudar o desempenho, em termos mecânicos, reológicos e de durabilidade, de BED incorporando diferentes quantidades de AR e de SF.

Para isso, na Tarefa 5 serão definidas três fases distintas. A metodologia a adoptar será muito semelhante, nas duas primeiras fases, estando a única diferença relacionada com a quantidade de ligante a usar (serão empregues quantidades de ligante de 400 e 550 kg/m<sup>3</sup> na 1ª e 2ª fases, respectivamente). A terceira fase será mais curta, em termos de produção de betão, e consistirá em escolher seis dos melhores betões das fases anteriores, realizando nesses betões uma análise mais aprofundada.

Assim, tanto na primeira como na segunda fase, serão produzidas três famílias de betão com proporções de sílica de fumo de 0, 5 e 10% da massa de ligante (substituindo cimento). Cada família compreenderá um betão de referência e três BAR com percentagens de substituição de agregados finos naturais por agregados finos reciclados e de agregados grossos naturais por agregados grossos reciclados de 50/50, 0/100 e 100/100%, respectivamente.

Em todas as amassaduras, serão também incorporadas cinzas volantes e superplastificante, mantendo constante a quantidade de ligante. As cinzas volantes serão utilizadas como um substituto do cimento, representando 10% da massa de ligante. Em relação ao superplastificante, este será adicionado na proporção de 2% da massa de ligante.

O objectivo desta tarefa de investigação será assim produzir e caracterizar BAR com desempenhos idênticos aos de BED e cuja resistência à compressão seja superior a 90 MPa. Além disso, pretende maximizar o uso de agregados finos e grossos reciclados, sem que, para tal, se tenha de aumentar o impacte ambiental inerente à produção dos BED com AR (comparativamente aos BED convencionais) através do recurso a superplastificantes, cimentos especiais e adições.

## 6. Bibliografia

- Aïtcin, P.C.** - The durability characteristics of high performance concrete: a review. Cement and Concrete Composites. Vol. 25. N.º 4-5. 2003. pp. 409-420.
- Bharatkumar, B.H.; Narayanan, R.; Raghuprasad, B.K.; Ramachandramurthy, D.S.** - Mix proportioning of high performance concrete. Cement and Concrete Composites. Vol. 23. N.º 1. 2001. pp. 71-80.
- Faury, J.** - Le béton. 3<sup>rd</sup> ed. Paris. 1958.
- Lim, C.H.; Yoon, Y.S.; Kim, J.H.** - Genetic algorithm in mix proportioning of high-performance concrete. Cement and Concrete Research. Vol. 34. N.º 3. 2004. pp. 409-420.
- LNEC E-391** - Betões: Determinação da resistência à carbonatação. LNEC. Lisboa 1993.
- LNEC E-393** - Betões: Determinação da absorção da água por capilaridade. LNEC. Lisboa 1993.
- LNEC E-394** - Betões: Determinação da absorção da água por imersão. Ensaio pressão atmosférica. LNEC. Lisboa 1993.
- LNEC E-397** - Betões: Determinação do módulo de elasticidade em compressão. LNEC. Lisboa 1993.
- LNEC E-398** - Betões: Determinação da retracção e da expansão. LNEC. Lisboa 1993.
- LNEC E-399** - Betões: Determinação da fluência em compressão. LNEC. Lisboa 1993.
- LNEC E-463** - Betões: Determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por ensaio de migração em regime não estacionário. LNEC. Lisboa 2004.
- Neville, A.; Aïtcin, P.** - High performance concrete - An overview. Materials and Structures. Vol. 31. 1998. pp. 111-117.
- NP EN 12350-2** - Ensaio do betão fresco: Ensaio de abaixamento. IPQ. Lisboa 2009.
- NP EN 12350-6** - Ensaio do betão fresco: Massa volúmica. IPQ. Lisboa 2009.
- NP EN 12390-3** - Ensaio do betão endurecido: Resistência à compressão dos provetes de ensaio. IPQ. Lisboa 2011.
- NP EN 12390-6** - Ensaio do betão endurecido. Parte 6: Resistência à tracção por compressão de provetes. IPQ. Lisboa 2011.
- NP EN 12504-4** - Ensaio do betão nas estruturas: Determinação da velocidade de propagação dos ultra-sons. IPQ. Lisboa 2007.
- NP EN 206-1** - Betão: Especificação, desempenho, produção e conformidade. IPQ. Lisboa 2005.
- Tu, T.Y.; Chen, Y.Y.; Hwang, C.L.** - Properties of HPC with recycled aggregates. Cement and Concrete Research. Vol. 36. N.º 5. 2006. pp. 943-950.



Lisboa, Janeiro de 2015

Autores

Diogo Pedro  
Bolsheiro de Investigação

Jorge de Brito  
Professor Catedrático

Luís Evangelista  
Professor Adjunto

Pedro Silva  
Professor Adjunto

# **ANEXO**

## Composição dos betões reciclados

## 1ª FASE

Origem	Amassadura	Agregados finos naturais (kg)	Agregados grossos naturais (kg)	Agregados finos reciclados (kg)	Agregados grossos reciclados (kg)	Cimento CEM I 52,5R (kg)	Cinzas volantes (kg)	Sílica de fumo (kg)	Água (l)	Relação a/l <sub>aparente</sub>	Relação a/l <sub>efectiva</sub>	Superplastificante (kg)
0% SF	B 50/50	388	540	383	496	360	40	0	156	0.39	0.38	8
	B 0/100	777	0	0	993	360	40	0	156	0.39	0.38	8
	B 100/100	0	0	752	976	360	40	0	174	0.43	0.41	8
5% SF	B 50/50	388	540	383	496	340	40	20	156	0.39	0.38	8
	B 0/100	777	0	0	993	340	40	20	156	0.39	0.38	8
	B 100/100	0	0	752	976	340	40	20	174	0.43	0.41	8
10% SF	B 50/50	388	540	383	496	320	40	40	156	0.39	0.38	8
	B 0/100	777	0	0	993	320	40	40	156	0.39	0.38	8
	B 100/100	0	0	752	976	320	40	40	174	0.43	0.41	8

## 2ª FASE

Origem	Amassadura	Agregados finos naturais (kg)	Agregados grossos naturais (kg)	Agregados finos reciclados (kg)	Agregados grossos reciclados (kg)	Cimento CEM I 52,5R (kg)	Cinzas volantes (kg)	Sílica de fumo (kg)	Água (l)	Relação a/l <sub>aparente</sub>	Relação a/l <sub>efectiva</sub>	Superplastificante (kg)
0% SF	B 50/50	357	496	352	456	495	55	0	163	0,30	0,29	11
	B 0/100	714	0	0	912	495	55	0	163	0,30	0,29	11
	B 100/100	0	0	673	873	495	55	0	196	0,36	0,34	11
5% SF	B 50/50	357	496	352	456	467,5	55	27,5	163	0,30	0,29	11
	B 0/100	714	0	0	912	467,5	55	27,5	163	0,30	0,29	11
	B 100/100	0	0	673	873	467,5	55	27,5	196	0,36	0,34	11
10% SF	B 50/50	357	496	352	456	440	55	55	163	0,30	0,29	11
	B 0/100	714	0	0	912	440	55	55	163	0,30	0,29	11
	B 100/100	0	0	673	873	440	55	55	196	0,36	0,34	11