



**BETÃO COM AGREGADOS RECICLADOS DE ELEVADO DESEMPENHO PARA A
INDÚSTRIA DA PRÉ-FABRICAÇÃO**

**PROJECTO FCT
PTDC / ECM / 118372 / 2010**



Tarefa 5

**BETÃO AUTOCOMPACTÁVEL COM AGREGADOS RECICLADOS
(EXCELlentSUStainableCONCcrete)**

**PLANEAMENTO DA PRODUÇÃO E ENSAIOS DOS BETÕES AUTO-
COMPACTÁVEIS**

RELATÓRIO

Março de 2015

Financiamento FCT/POCTI



União Europeia
FEDER



Governo da República Portuguesa

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. ENQUADRAMENTO E CONTEXTO	1
3. DESCRIÇÃO DAS DIFERENTES FASES DA CAMPANHA EXPERIMENTAL	2
3.1. 1ª Fase - Actividades preparatórias	2
3.2. 2ª Fase - Produção de argamassas	3
3.3. 3ª Fase - Produção de betão	7
3.4. 4ª Fase - Ensaios em betão	8
4. DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS A USAR NA CAMPANHA EXPERIMENTAL (2ª, 3ª E 4ª FASES)	9
4.1. Produção de argamassas (2ª fase)	9
4.1.1. Ensaios em estado fresco	9
4.1.1.1. Ensaio de espalhamento no mini cone	10
4.1.1.2. Ensaio de escoamento no mini funil	12
4.1.2. Ensaios em estado endurecido	13
4.1.2.1. Resistência à flexão	13
4.1.2.2. Resistência à compressão	14
4.2. Produção de betão e ensaios em estado fresco (3ª fase)	15
4.2.1. Ensaios ao BAC em estado fresco	16
4.2.1.1. Ensaio de espalhamento	17
4.2.1.2. Ensaio de escoamento no funil V	18
4.2.1.3. Ensaio de escoamento na caixa L	19
4.2.1.4. Ensaio de segregação no peneiro	20
3.2.1.5. Ensaio de espalhamento no anel J	21
4.3. Ensaios ao BAC em estado endurecido (4ª fase)	22
4.3.1. Ensaios mecânicos ao betão no estado endurecido	23

4.3.1.1. Massa volúmica e velocidade de propagação de ultra-sons	23
4.3.1.2. Resistência à compressão em cubos e em cilindros	24
4.3.1.3. Resistência à tracção por compressão diametral	26
4.3.1.4. Módulo de elasticidade	27
4.3.1.5. Resistência à abrasão	29
4.3.1.6. Retracção	30
4.3.1.7. Fluência	31
4.3.2. Ensaio de durabilidade ao betão no estado endurecido	34
4.3.2.1. Permeabilidade ao oxigénio	34
4.3.2.2. Absorção de água por capilaridade	35
4.3.2.3. Absorção de água por imersão	37
4.3.2.4. Resistividade eléctrica	38
4.3.2.5. Resistência à penetração de cloretos	39
4.3.2.6. Resistência à carbonatação	41
3. BIBLIOGRAFIA	43
Anexo A.1 - Formulação das misturas	1
A.1.1. Materiais constituintes	1
A.1.2. Produção de argamassas (2ª fase)	1
A.1.3. Produção de betão (3ª fase)	5
Anexo A.2 - Plano de betonagens detalhado correspondente à 2ª, 3ª e 4ª fases	12

Índice de figuras

Figura 1 - Esquematização das argamassas experimentais a produzir com AN.	4
Figura 2 - Esquematização dos betões experimentais a produzir com AN.	5
Figura 3 - Esquematização das argamassas a produzir com AN e AR.	6
Figura 4 - Esquematização dos betões a produzir com AN e AR.	7
Figura 5 - Representação esquemática da sequência de amassadura de AAC	10
Figura 6 - Mini cone para o ensaio de espalhamento.....	10
Figura 7 - Espalhamento da argamassa e diâmetros a medir	11
Figura 8 - Mini funil V para o ensaio de escoamento em argamassas.....	12
Figura 9 - Rotura do provete prismático à flexão	14
Figura 10 - Rotura do provete prismático à compressão.....	15
Figura 11 - Representação esquemática da sequência de amassadura de BAC	16
Figura 12 - Cone de Abrams e chapa metálica.....	17
Figura 13 - Cone de Abrams e placa de base (dimensões em mm) (IPQ, 2010).....	17
Figura 14 - Placa de base (dimensões em mm) (IPQ, 2010).....	17
Figura 15 - Funil V e balde	18
Figura 16 - Funil V. Legenda: 1 - tampa articulada ou deslizante (IPQ, 2010)	18
Figura 17 - Caixa L.....	19
Figura 18 - Disposição geral típica da caixa L, com as dimensões requeridas (em mm) (IPQ, 2010).....	19
Figura 19 - Peneiro de 5 mm com fundo e balança	20
Figura 20 - Medição da parcela segregada. Legenda: 1 - peneiro com aberturas quadradas de 5 mm e diâmetro de 300 mm; 2 - fundo do peneiro; 3 - recipiente da amostra; 4 - balança (dimensões em mm) (IPQ, 2010).....	20
Figura 21 - Anel J de 16 varões, cone de Abrams e chapa metálica	21
Figura 22 - Anel J. Legenda: 1 - cone de Abrams; 2 - anel J, 16 varões de aço lisos, igualmente espaçados (± 5 mm); 3 - placa de base; 4 - betão; Δh : diferença de alturas entre o topo do anel J e o topo do betão nos pontos referenciados (dimensões em mm) (IPQ, 2010).....	21
Figura 23 - Equipamento de ultra-sons (calibração do equipamento).....	23
Figura 24 - Prensa hidráulica.....	25
Figura 25 - Deflectómetro acoplado à prensa.....	25
Figura 26 - Roturas satisfatórias de provetes cúbicos e cilíndricos (IPQ, 2011)	26

Figura 27 - Roturas não satisfatórias de provetes cúbicos e cilíndricos (IPQ, 2011)	26
Figura 28 - Posicionador para o ensaio de provetes cilíndricos (IPQ, 2011).....	27
Figura 29 - Máquina universal de ensaio	28
Figura 30 - Máquina de abrasão de Böhme.....	29
Figura 31 - Aparelho de medição de extensões, barra calibradora e barra padrão.....	31
Figura 32 - Pórtico de fluência	32
Figura 33 - Sistema de controlo da pressão do óleo	32
Figura 34 - Permeâmetro.....	34
Figura 35 - Diagrama do equipamento para determinação da permeabilidade ao oxigénio (LNEC, 1993).....	34
Figura 36 - Ensaio de absorção de água por capilaridade	37
Figura 37 - Ensaio de absorção de água por imersão.....	38
Figura 38 - Da esquerda para a direita: peso de 2 kg, placas de cobre, amperímetro e fonte de alimentação (Silva, 2013)	38
Figura 39 - Esquema de montagem do equipamento (adaptado de Silva, 2013)	38
Figura 40 - Exsicador e bomba de vácuo	40
Figura 41 - Fonte de alimentação (em cima) e reservatórios de plástico (em baixo)	40
Figura 42 - Montagem do ensaio de migração de cloretos (LNEC, 2004)	41
Figura 43 - Câmara de carbonatação	42

Índice de tabelas

Tabela 1 - Ensaio aos agregados	3
Tabela 2 - Ensaio às argamassas no estado fresco	6
Tabela 3 - Ensaio às argamassas no estado endurecido.....	6
Tabela 4 - Ensaio ao betão no estado fresco	7
Tabela 5 - Ensaio ao betão no estado endurecido	8
Tabela 6 - Características requeridas ao BAC e respectivos ensaios.	17

Acrónimos

AAC - argamassa auto-compactável

AF - agregado fino

AG - agregado grosso

AN - agregado natural

AFN - agregado fino natural

AGN - agregado grosso natural

AR - agregado reciclado

AFR - agregado fino reciclado

AFRB - agregados finos reciclados de betão

AGR - agregado grosso reciclado

AGRB - agregados grossos reciclados de betão

BAC - betão auto-compactável

BC - betão convencional

BACED - betão auto-compactável de elevado desempenho

BED - betão de elevado desempenho

IST - Instituto Superior Técnico

LC - Laboratório de Construção

PF - peças pré-fabricadas

Sp - superplastificante

1. Introdução

O presente documento dá cumprimento ao estabelecido com a FCT, no âmbito de projectos de investigação científica e de desenvolvimento tecnológico, que requer a apresentação de relatórios periódicos.

Neste relatório, são apresentadas as descrições necessárias para a execução da tarefa 5 no âmbito do Projecto FCT PTDC/ECM/118372/2010 - “*Betão com agregados reciclados de elevado desempenho para a indústria da pré-fabricação (EXCELLentSUStainableCONcrete)*”.

Este relatório apresenta a descrição geral das diferentes fases a serem realizadas com o objectivo final de apresentar o planeamento da produção e os ensaios a realizar aos betões. Por conseguinte, o presente relatório apresenta a descrição e cálculo das quantidades de amassadura e os procedimentos experimentais adoptados para a realização dos ensaios.

Desta forma, com esta campanha experimental, pretende-se determinar o comportamento no estado fresco e endurecido de betões auto-compactáveis de elevado desempenho (BACED) produzidos com agregados reciclados (AR). Estes serão avaliados através da sua comparação com betões de referência (BR) produzidos na sua totalidade com agregados naturais (AN).

2. Enquadramento e contexto

A temática de BACED com AR é de grande relevância para a Sociedade, uma vez que esta cada vez mais exige que a indústria da construção adopte novos processos que minimizem os impactes negativos no meio ambiente. A utilização de AR para a produção de betão apresenta um grande benefício ambiental (poupança na extracção de agregado natural). Uma das principais vantagens do BAC é a sua capacidade de escoar e compactar apenas sob acção do seu próprio peso, encher a cofragem com as suas armaduras, tubos, negativos, etc., conservando a homogeneidade (NP EN 206-1, 2010). Por conseguinte, este tipo de betão não necessita de ser vibrado (ao contrário do betão convencional) promovendo assim um grande benefício ambiental, nomeadamente em termos de poupança de energia e ausência de ruído na sua colocação (APEB, 2007).

Os betões de elevado desempenho (BED) são, actualmente, empregues apenas em situações particulares, sobretudo em edifícios altos e em estruturas localizadas em ambientes particularmente agressivos (Camões, 2006), sendo por vezes necessário que este tipo de

betão tenha as características de auto-compacidade dada a necessidade de escoar em zonas com grande densidade de armadura. Neste contexto surge o BACED.

A tarefa 5 abordada a produção de BACED com AR, sendo que objectivo principal é cumprir os critérios que definem um BED (atingir resistência à compressão aos 28 dias superior a 90 MPa).

Os agregados reciclados são provenientes da trituração de peças pré-fabricadas (PF), com classe de resistência à compressão 65 MPa. Os agregados foram submetidos a dois processos de britagem, à semelhança do que é feito para os agregados naturais: uma trituração primária (TP) seguida de uma trituração secundária (TS).

3. Descrição das diferentes fases da campanha experimental

A campanha experimental a realizar tem como objectivo final avaliar o desempenho mecânico e em termos de durabilidade de BACED com incorporação de AR proveniente de PF. Para tal, é necessário realizar os ensaios adequados para melhor compreender a influência dos AR PF nessas propriedades.

De seguida, são apresentadas as diferentes etapas a serem realizadas.

3.1. 1ª Fase - Actividades preparatórias

Nesta primeira fase da campanha experimental, realizar-se-á todo o trabalho necessário à posterior produção de argamassas e betões e à realização dos ensaios. De forma a saber-se quais as quantidades dos diferentes materiais a requisitar, foi necessário formular a composição das argamassas e betões a produzir. Esta formulação foi feita através do método de Nepomuceno (2005), sendo que as quantidades dos diferentes materiais foram majoradas através de um coeficiente de segurança, de modo a salvaguardar a necessidade de repetir amassaduras, desperdícios durante as betonagens ou erros nos ensaios.

Serão feitos todos os contactos a empresas, necessários para a aquisição / recolha de todos os materiais, nomeadamente o cimento, as adições (fíler calcário (FC), sílica de fumo (SF) e cinza volante (CV)) e o superplastificante (Sp)). As características dos materiais a usar são apresentadas no **Anexo A.1.1**.

Os agregados reciclados serão previamente secos e separados nas suas fracções granulométricas. A areia de rio será previamente seca. Os agregados naturais serão lavados com jacto de água e posteriormente secos.

A caracterização dos agregados a utilizar, ou seja, os agregados finos reciclados de betão (AFRB) e agregados grossos reciclados de betão (AGRB), a utilizar na produção das argamassas e/ou betões referidos, bem como os agregados naturais (areias e britas), já foi feita no âmbito da tarefa 4 do projecto. Na **Tabela 1**, são apresentados os ensaios já realizados neste âmbito, bem como as normas a que devem obedecer.

Tabela 1 - Ensaio aos agregados

Ensaio	Referência normativa
Análise granulométrica	NP EN 933-1: 2000
Massa volúmica e absorção de água	NP EN 1097-6: 2003
Massa volúmica e absorção de água de agregados finos reciclados	Patente de Invenção Nacional n.º 105921
Ensaio do equivalente de areia	NP EN 933-8: 2011
Baridade	NP EN 1097-3: 2002
Resistência à fragmentação	NP EN 1097-2: 2003
Teor em água	NP EN 1097-5: 2011
Índice volumétrico	NP EN 933-4: 2011

3.2. 2ª Fase - Produção de argamassas

A segunda fase da campanha experimental corresponde a uma etapa prévia de estudo em argamassas, que permite aferir as quantidades de amassadura dos vários betões através de ajustes na razão a/c e na dosagem de superplastificante, antes de adicionar o agregado grosso (natural e/ou reciclado).

A produção de argamassas auto-compactáveis será realizada com base no método de Nepomuceno (2005).

Foi necessário fazer algumas opções relativamente aos diversos parâmetros de composição:

- é necessário fixar um valor para a relação, em volume absoluto, entre as quantidades totais de materiais finos (cimento e adições) e de agregados finos na mistura (V_p/V_s), que deverá ser, preferencialmente, entre 0,65 e 0,80, de acordo com Nepomuceno (2005); optou-se por considerar $V_p/V_s = 0,80$, de acordo com os resultados obtidos por Silva (2013);

- a percentagem de substituição do cimento pelas adições (f_{ad}) foi fixada tendo em conta a resistência pretendida; assim, todas as argamassas e betões a estudar neste trabalho contemplam a introdução de FC e CV (em substituição do cimento); foi considerado um valor de f_{ad} de 35%, sendo que 5% correspondem a FC e 30% correspondem a CV;

- os valores de V_w/V_p (relação, em volume absoluto, entre as quantidades de

água e de materiais finos) e $S_p/p\%$ (relação percentual, em massa, entre as dosagens de superplastificante e de materiais finos) variam em função da necessidade de água e S_p de cada mistura; uma vez que o objectivo é manter a trabalhabilidade, mantendo o volume de finos constante, partiu-se de um par de valores hipotético para V_w/V_p e $S_p/p\%$ e foi-se progressivamente adaptando esse valor aos parâmetros de trabalhabilidade pretendidos, num processo iterativo;

- assim, partiu-se de $V_w/V_p = 0,88$ e $S_p/p\% = 0,65$ (valores a que se chegou no estudo em argamassas realizados na tarefa 4 do projecto, no âmbito de BAC com AR). Estes parâmetros foram escolhidos tendo em conta diversos trabalhos com aplicação de BAC usando o método de Nepomuceno (2005), que apresentaram resultados satisfatórios (Silva (2013), Franco (2010), Bogas (2011), Weerdt (2011)), afinando-se depois os seus valores.

O objectivo desta fase é avaliar os parâmetros de trabalhabilidade, quantificados através da área relativa de espalhamento (G_m) e da velocidade relativa de escoamento (R_m). Estes parâmetros reológicos são calculados através dos diâmetros de espalhamento, obtidos com o auxílio do mini-cone, e do tempo de escoamento através do mini-funil V. De acordo com a bibliografia consultada, a quantidade de ligante a empregar no fabrico de BED oscila entre 400 e 500 kg/m^3 (Camões, 2002). Em relação à quantidade de sílica de fumo, é de 20 a 25% da massa de cimento (Larrard, 1992).

Por conseguinte, numa fase inicial, é feito um estudo, em argamassas, para determinar a quantidade de sílica de fumo (10% ou 15% do volume de finos) e de cimento a usar (400 kg/m^3 ou 450 kg/m^3) usando apenas agregados finos naturais (**Figura 1**).

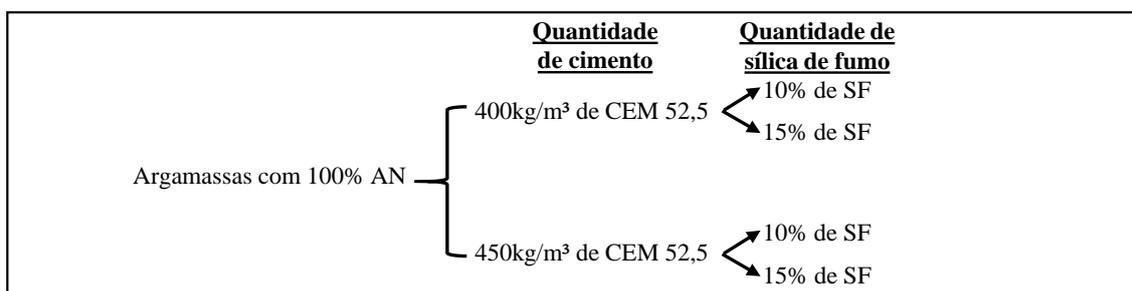


Figura 1 - Esquematização das argamassas experimentais a produzir com AN.

Para cada argamassa são determinados os parâmetros reológicos (G_m e R_m) a que corresponde a um par de valores (V_w/V_p e $S_p/p\%$). Por conseguinte, terá de se realizar diversas amassaduras experimentais. Para que a argamassa tenha trabalhabilidade adequada, os valores de G_m terão de estar compreendidos ente 5,3 a 5,9 e os valores de R_m

têm de estar compreendidos entre 1,14 a 1,3.

Uma vez atingido o par de valores V_w/V_p e $S_p/p\%$ para cada uma das quatro argamassas, serão produzidos 4 betões correspondentes, em que são adicionados à pasta (argamassa) os agregados grossos naturais (britas 1 e 2).

As quatro amassaduras experimentais terão com o volume mínimo permitido pela betoneira de 35 litros. O objectivo desse estudo prévio será determinar a quantidade de sílica de fumo (10% ou 15% do volume de finos) e de cimento a usar (400 kg/m^3 ou 450 kg/m^3) na produção dos BACED (**Figura 2**). Adicionalmente, as referidas quatro amassaduras têm a finalidade de confirmar a trabalhabilidade através de ensaios no estado fresco e, se necessário, fazer pequenos ajustes na quantidade de água. De cada amassadura serão ainda produzidos seis cubos, com o objectivo de determinar a resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade.

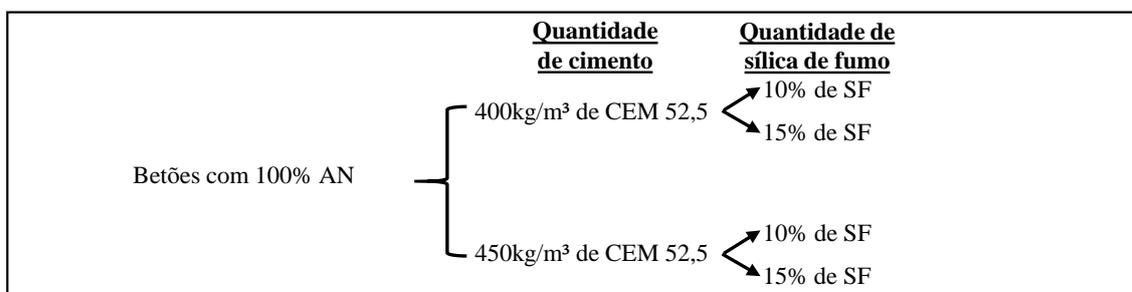


Figura 2 - Esquematização dos betões experimentais a produzir com AN.

Aos 7 dias de idade, serão realizados ensaios de resistência à compressão aos 4 betões. O BAC que apresentar maior resistência à compressão será o betão de referência para a fase posterior. Determina-se assim a quantidade de cimento e sílica de fumo a usar na produção posterior de argamassas e betões.

Uma vez determinada a quantidade de cimento e sílica de fumo a usar nas argamassas, mantêm-se todos os parâmetros do método fixos (V_p/V_s , f_{ad} , V_w/V_p e $S_p/p\%$), efectuando-se apenas substituições ao nível do agregado natural. Esta substituição é feita em massa e por fracção granulométrica, reproduzindo-se a curva de referência de Nepomuceno (2005).

Conhecendo os volumes absolutos de todos os constituintes, as respectivas massas volúmicas e, no caso dos materiais finos, as suas percentagens unitárias, determinou-se a composição das argamassas. Estes cálculos são apresentados no **Anexo A.1.2**.

Serão produzidas quatro misturas de argamassa, a primeira utilizando apenas agregados finos naturais (100% AN) e as restantes em que se substitui uma percentagem dos AN por agregados da pré-fabricação na composição das argamassas (25, 50 e 100%).

Uma vez que, nesta fase, a substituição de AN por AR é feita apenas ao nível dos agregados finos, a argamassa correspondente ao betão 0% AFR/100% AGR, para efeitos de cálculo, é igual à mistura 100% AN, e a argamassa correspondente ao betão 100% AFR/100% AGR, para efeitos de cálculo, é igual à mistura 100% AR. Assim, são estudadas quatro argamassas, que darão origem a seis betões (AFR/AGR (%): 25/25; 50/50; 100/100; 0/100; 100/0). A esquematização das várias argamassas a produzir é apresentado na **Figura 3**.

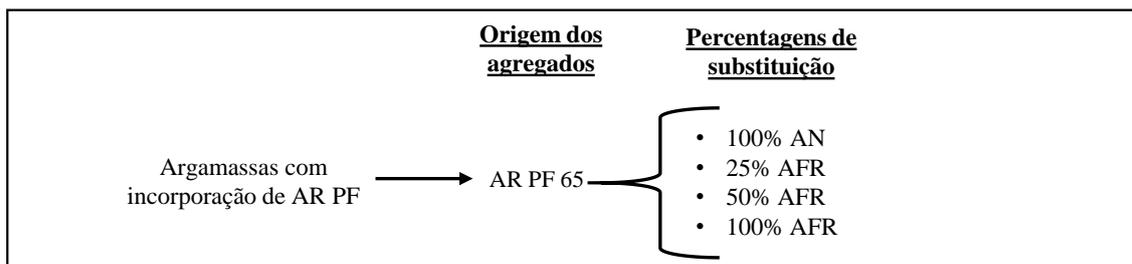


Figura 3 - Esquematização das argamassas a produzir com AN e AR.

Para aferir os parâmetros reológicos das misturas, são realizados os ensaios em estado fresco apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Ensaios às argamassas no estado fresco

Ensaio
Espalhamento no mini-cone
Escoamento no mini-funil V

Não existindo ainda referências normativas nacionais ou internacionais para os ensaios em causa, seguir-se-ão os procedimentos de ensaio utilizados por Silva (2013), adaptados de Nepomuceno (2005) e Liu (2009).

Ainda nesta fase, serão ainda realizados ensaios no estado endurecido, de modo a aferir a resistência à compressão e à flexão das argamassas. Os provetes são previamente submetidos a uma cura de 28 dias até à realização dos ensaios. As normas que regulam estes ensaios estão presentes na **Tabela 3**.

Tabela 3 - Ensaios às argamassas no estado endurecido

Ensaio	Idade do ensaio (dias)	Referência normativa
Resistência à flexão	28 e 90	EN 1015-11: 1999
Resistência à compressão		EN 1015-11: 1999
Análise ao microscópio de varredura electrónica	90	Procedimento interno do laboratório
Porosimetria por intrusão de mercúrio		

3.3. 3ª Fase - Produção de betão

A terceira fase da campanha corresponde à betonagem das amassaduras de betão auto-compactável de elevado desempenho (BACED) que se pretende estudar. Também nesta fase foi necessário fixar alguns parâmetros adicionais:

- o valor do volume de vazios (V_v) é constante e igual a $0,03 \text{ m}^3$ segundo o método de Nepomuceno (2005);

- o “número de mistura” (MN) é definido pelo produto entre V_p/V_s (já arbitrado) e V_m/V_g (razão, em volume absoluto, entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos na mistura), e depende do grau de auto-compactabilidade pretendido; este parâmetro foi fixado em 1,82, de acordo com os resultados satisfatórios obtidos por Silva (2013); deste modo, sabendo o valor de MN, calcula-se o valor de V_p/V_s , necessário ao cálculo das quantidades de agregados grossos (naturais e/ou reciclados) na mistura; juntamente com os parâmetros fixados e determinados na fase de argamassas, é possível calcular todas as quantidades de amassadura, que são apresentadas no **Anexo A.1.3**.

Serão betonados seis BACED alvo deste estudo (**Figura 4**), em que o primeiro corresponde a uma mistura com 100% AN e as restantes misturas em que se varia a percentagem de AFR e AGR na composição do betão (AFR/AGR%: 25/25%; 50/50%; 100/100%; 0/100%; 100/0%).

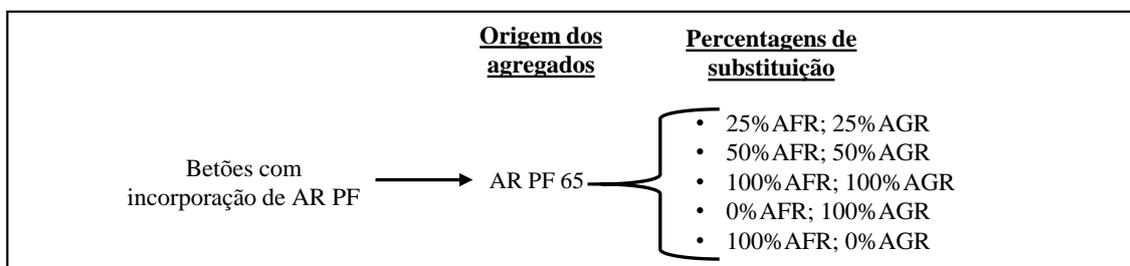


Figura 4 - Esquematização dos betões a produzir com AN e AR.

Os ensaios realizados no estado fresco para cada amassadura, incluindo as amassaduras experimentais, estão presentes na **Tabela 4**.

Tabela 4 - Ensaio ao betão no estado fresco

Ensaio	Referência normativa
Espalhamento	NP EN 12350-8:2010
Escoamento no funil V	NP EN 12350-9:2010
Escoamento na caixa L	NP EN 12350-10:2010
Segregação no peneiro	NP EN 12350-11:2010
Espalhamento no anel J	NP EN 12350-12:2010

Estes ensaios têm como objectivo verificar que foram atingidas as condições de auto-compactabilidade, necessárias para uma mistura poder ser considerada como BAC.

3.4. 4ª Fase - Ensaio em betão

A quarta e última fase da campanha consiste em ensaiar todos os betões de modo a avaliar o seu desempenho em termos mecânicos e de durabilidade e se obter todos os resultados necessários à análise destas propriedades. Na **Tabela 5**, são apresentados os ensaios a realizar no estado endurecido, bem como as referências normativas a consultar.

Procedeu-se ao planeamento detalhado da produção dos betões e de todos os ensaios a realizar, que se apresenta no **Anexo A.2**.

Neste processo, teve-se em consideração a disponibilidade de moldes no Laboratório de Construção e também alguns condicionalismos existentes, nomeadamente em termos de funcionamento dos equipamentos e dos dias da semana reservados para o seu uso.

Também as idades de realização dos ensaios foram ligeiramente alteradas tendo em conta a logística do laboratório, bem como os condicionamentos dos provetes, que em alguns casos foram usados para mais do que um ensaio.

No planeamento dos provetes necessários, o objectivo é o de maximizar o aproveitamento dos moldes (por exemplo, o mesmo cilindro pode ser cortado em “bolachas” para mais de um tipo de ensaio), tendo em consideração que a quantidade disponível de AR é limitada.

Tabela 5 - Ensaio ao betão no estado endurecido

	Ensaio	Referência normativa
Mecânicos	Massa volúmica	NP EN 12390-7: 2000
	Ultra-sons	NP EN 12504-4: 2007
	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
	Retracção	LNEC E 398:1993
	Fluência	LNEC E 399: 1993
	Resistência à abrasão	DIN 52108:2010
Durabilidade	Permeabilidade ao oxigénio	LNEC E 392: 1993
	Absorção de água por capilaridade	LNEC E 393:1993
	Absorção de água por imersão	LNEC E 394:1993
	Resistividade eléctrica	RILEM TC 154-EMC:2003
	Resistência à penetração por cloretos	LNEC E 463:2004
	Resistência à carbonatação	LNEC E 391:1993

4. Descrição dos procedimentos a usar na campanha experimental (2ª, 3ª e 4ª fases)

4.1. Produção de argamassas (2ª fase)

A produção de AAC será feita com base nos processos utilizados por Silva (2013) e Cartuxo (2013) nas suas investigações sobre BAC e BC com agregados reciclados, respectivamente, assim como em indicações dadas no manual da sílica de fumo (SFA, 2005) com as devidas adaptações.

Na **Figura 5**, apresenta-se, de forma esquemática, a sequência de amassadura para AAC. A sequência de amassadura demora 10 minutos no total e inicia-se com a introdução dos agregados finos (areias) que são misturados durante 1 minuto. Adiciona-se, lentamente, a primeira parcela de água, correspondente a 10% da água de amassadura total, sem desligar o equipamento, mistura por mais 1 minuto. De seguida, adiciona-se a sílica de fumo que é misturada durante 1 minuto. Adiciona-se os materiais finos (cimento e adições) sendo misturados durante 1 minuto. Adiciona-se lentamente a segunda parcela de água, correspondente 65% da água total, sem desligar o equipamento, mistura por mais 1 minuto. A terceira parcela de água, correspondente aos restantes 25%, é adicionada com o superplastificante bem misturado, também de forma lenta e sem paragem do equipamento. A mistura dos componentes continua durante 2 minutos, sempre com velocidade normal. Decorridos os 2 minutos, desliga-se a misturadora e a argamassa fica em repouso durante outros 2 minutos, aproveitando-se esta pausa para limpeza da pá de mistura. Decorridos esses 2 minutos, procede-se a mais 1 minuto de mistura, também com velocidade normal, antes de iniciar os ensaios no estado fresco.

4.1.1. Ensaios em estado fresco

Para se aferir se a argamassa produzida tem as características de auto-compactabilidade requeridas, são realizados dois ensaios no estado fresco, para aferir diferentes parâmetros:

- espalhamento no mini cone, de modo a determinar a área de espalhamento relativa (G_m);
- escoamento no mini funil V, de modo a determinar a velocidade relativa de escoamento (R_m).

Ambos os parâmetros serviram de base para efectuar as várias iterações aos parâmetros V_w/V_p e $S_p/p\%$.

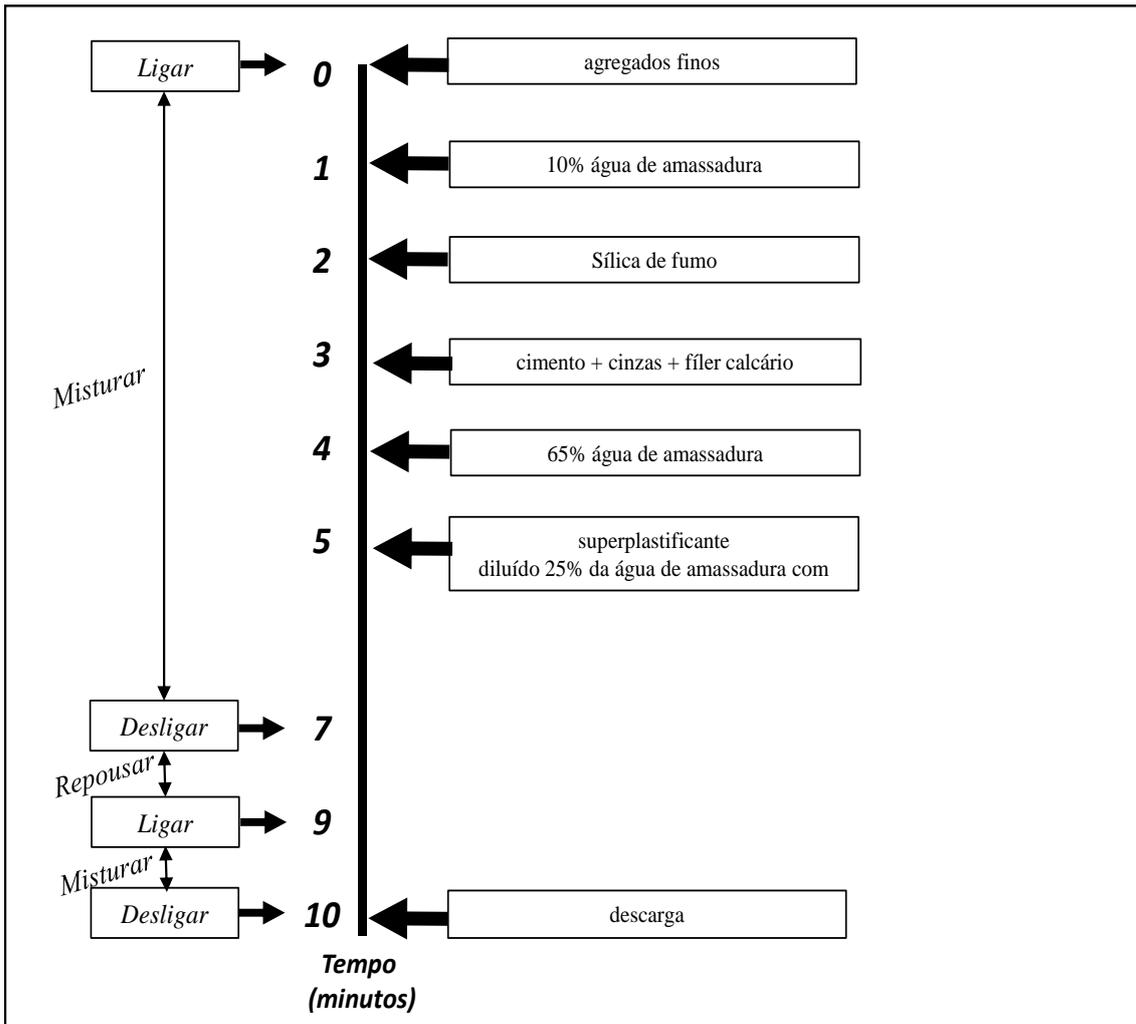


Figura 5 - Representação esquemática da sequência de amassadura de AAC

4.1.1.1. Ensaio de espalhamento no mini cone

A determinação do diâmetro médio de espalhamento é efectuada com recurso a um molde troncocónico (**Figura 6**) e uma régua metálica. Não existindo ainda referências normativas nacionais ou internacionais para o ensaio em causa, optou-se por seguir os procedimentos de ensaio utilizados por Nepomuceno (2005) e por Liu (2009).

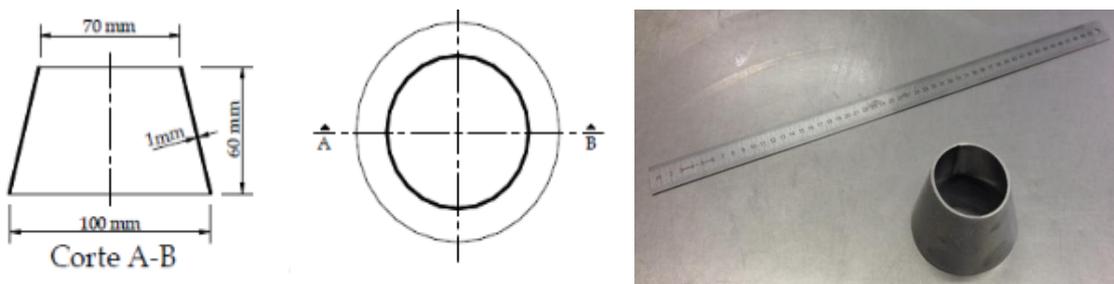


Figura 6 - Mini cone para o ensaio de espalhamento

Descreve-se seguidamente, de forma resumida, o procedimento de ensaio utilizado:

- a) Garantir previamente o correcto nivelamento da mesa de ensaio;
- b) Humedecer ligeiramente as superfícies interiores do molde e a superfície da mesa, removendo qualquer concentração de água existente;
- c) Encher o molde de uma única vez, sem compactar, e rasar a sua superfície, removendo o material que se possa ter espalhado à volta deste;
- d) Retirar o molde, suavemente, na vertical e esperar que a argamassa pare de fluir e atinja o diâmetro máximo de espalhamento;
- e) Medir o espalhamento em dois diâmetros perpendiculares entre si, d_1 e d_2 , em mm (**Figura 7**);
- f) O espalhamento é dado pelo diâmetro médio (D_m) das duas medições, também em mm.



Figura 7 - Espalhamento da argamassa e diâmetros a medir

O valor obtido é o diâmetro médio de espalhamento (D_m), que é expresso através de uma área de espalhamento relativa (G_m), dada por:

$$G_m = \frac{D_m^2}{D_0^2} \times 100$$

em que:

G_m - área de espalhamento relativa;

D_m - diâmetro médio de espalhamento, em mm;

D_0 - diâmetro inicial na base do cone, em mm.

O intervalo de variação admissível estabelecido por Nepomuceno para o valor de G_m , considerando que é o que melhor se adequa à obtenção de BAC, situa-se entre 5,3 e 5,9. Neste trabalho, é possível admitir valores ligeiramente superiores, pois é expectável que G_m decresça com a incorporação crescente de AR.

4.1.1.2. Ensaio de escoamento no mini funil

A determinação do tempo de escoamento é efectuada com recurso ao mini funil V (Figura 8) e um cronómetro. Não existindo ainda referências normativas nacionais ou internacionais para o ensaio em causa, optou-se por seguir os procedimentos de ensaio utilizados por Nepomuceno (2005) e por Liu (2009).

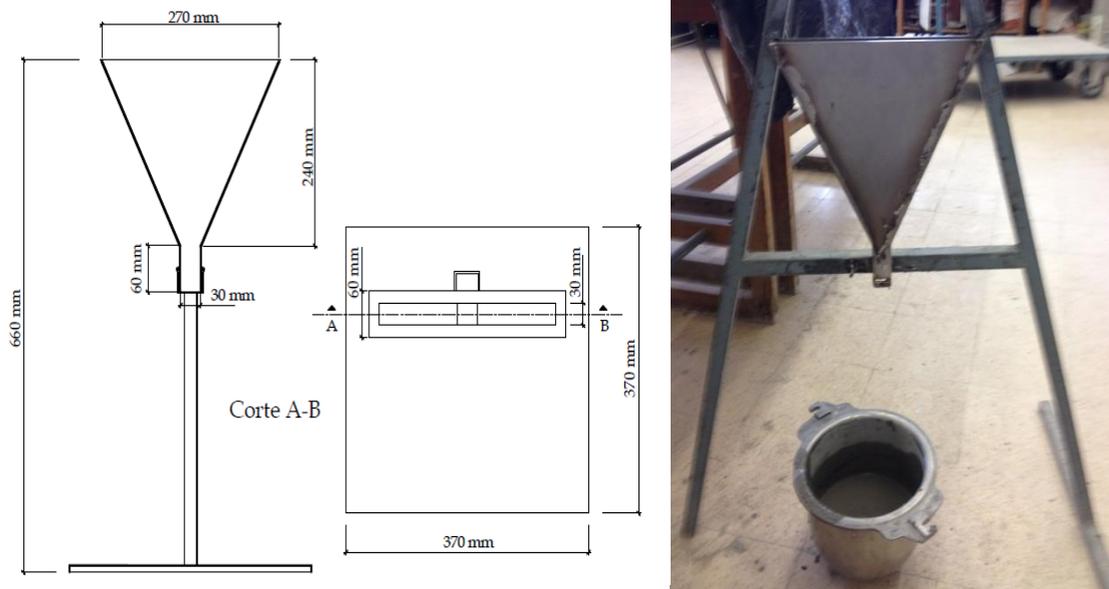


Figura 8 - Mini funil V para o ensaio de escoamento em argamassas

Descreve-se seguidamente, de forma resumida, o procedimento de ensaio utilizado:

- Garantir previamente o correcto nivelamento e fixação do equipamento de ensaio (funil) de modo a não ocorrerem movimentos;
- Humedecer as superfícies interiores do funil e remover qualquer concentração de água existente;
- Encher o funil sem aplicar qualquer tipo de vibração e rasar a sua superfície superior;
- Abrir a comporta inferior do funil e, em simultâneo, iniciar a medição do tempo de escoamento com o auxílio de um cronómetro;
- O tempo de escoamento (t) corresponde ao intervalo entre a abertura da comporta e o instante em que, observando o funil de cima para baixo, surja o primeiro raio de luz no fundo do funil.

O valor obtido é o tempo de escoamento (t), medido em segundos, que é expresso através da velocidade relativa de escoamento (R_m), dada por:

$$R_m = \frac{10}{t}$$

em que:

R_m - velocidade relativa de escoamento, em s^{-1} ;

t - tempo de escoamento, em segundos.

O intervalo de variação admissível estabelecido por Nepomuceno para o valor de R_m , considerando que é o que melhor se adequa à obtenção de BAC, situa-se entre 1,14 e 1,30. Neste trabalho, é possível admitir valores ligeiramente superiores, pois é expectável que G_m decresça com a incorporação crescente de AR.

4.1.2. Ensaios em estado endurecido

Neste subcapítulo, são apresentados os ensaios a realizar às argamassas no estado endurecido, com o objectivo de avaliar a influência da incorporação de agregados reciclados no comportamento mecânico das diferentes AAC produzidas, relativamente à argamassa de referência (100 % AN).

4.1.2.1. Resistência à flexão

O ensaio de resistência à flexão realiza-se em provetes prismáticos de dimensões 40 x 40 x 160 mm e, juntamente com o ensaio de resistência à compressão, permite verificar a influência da substituição de AN por AR no desempenho mecânico da argamassa.

O método adoptado segue o disposto na norma europeia EN 1015-11 (1999) e consiste em assentar o provete em dois apoios cilíndricos, submetendo-o a uma força gradualmente crescente aplicada a meio vão, até à sua rotura por flexão. No final, determina-se a tensão de rotura, objectivo deste ensaio.

O ensaio segue o seguinte procedimento:

- a) Posicionar o provete na prensa de flexão (**Figura 9**), com uma das faces laterais de moldagem centrada sobre os roletes, e com o seu eixo longitudinal perpendicular aos apoios;
- b) Fazer descer o dispositivo de aplicação da carga, muito lentamente, até estabelecer contacto com a face superior do provete;
- c) Aplicar uma força gradualmente crescente, à taxa de 50 ± 10 N/s (controlado através do manípulo do equipamento), de modo contínuo e sem choques, até à rotura do provete;
- d) Registrar a força de rotura aplicada F_f , em N.

A tensão de rotura à flexão de cada provete, em MPa, é dada pela expressão:

$$f_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{d_1 \times d_2^2}$$

em que:

F_f - carga aplicada no centro do prisma na rotura (N);

l - distância entre apoios (100 mm);

d_1 e d_2 - dimensão das arestas dos topos do provete ($d_1 = d_2 = 40$ mm).



Figura 9 - Rotura do provete prismático à flexão

4.1.2.2. Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão realiza-se no seguimento do ensaio de resistência à flexão, com as metades dos prismas daí resultantes, com o objectivo de determinar a resistência à compressão das argamassas.

O método adoptado segue o disposto na norma europeia EN 1015-11 (1999) e consiste em aplicar uma carga à compressão, gradualmente crescente, numa determinada área, até à rotura do material. No final, determina-se a tensão de rotura, objectivo deste ensaio.

O ensaio segue o seguinte procedimento:

- a) Após o ensaio de flexão, posiciona-se o provete (meio prisma) centrado no prato inferior do equipamento de compressão;
- b) Fazer descer dispositivo de aplicação da carga, muito lentamente, até estabelecer contacto com a face superior do provete;
- c) Aplicar uma força gradualmente crescente, à taxa de 2400 ± 200 N/s (controlado através do manípulo do equipamento), de modo contínuo e sem choques, até à rotura do provete (**Figura 10**);
- d) Registar a força de rotura aplicada F , em N.

A tensão de rotura à compressão de cada provete, em MPa, é dada pela expressão:

$$f_c = \frac{F}{A} = 0,000625 \times F$$

em que:

F - carga aplicada no centro do meio prisma na rotura (N);

A - área da zona comprimida ($40 \times 40 = 1600 \text{ mm}^2$).



Figura 10 - Rotura do provete prismático à compressão

4.2. Produção de betão e ensaios em estado fresco (3ª fase)

A produção de BAC será feita com base no processo utilizado na produção de AAC com as devidas adaptações.

Na **Figura 11**, apresenta-se, de forma esquemática, a sequência de amassadura para a produção BAC.

A sequência de amassadura demora 14 minutos no total e inicia-se com a introdução dos agregados grossos (AGN e / ou AGR) que são misturados durante 30 segundos. Adiciona-se, lentamente, a primeira parcela de água, correspondente a 10% da água de amassadura total, sem desligar o equipamento, mistura por mais 30 segundos. De seguida, adiciona-se a sílica de fumo que é misturada durante 1,5 minutos e depois adiciona-se os agregados finos (areias e AFR) que são misturados durante 1,5 minutos. Adiciona-se os materiais finos (cimento e adições) sendo misturados durante 1 minuto. Adiciona-se lentamente a segunda parcela de água, correspondente 65% da água total, sem desligar o equipamento, misturando por mais 1 minuto. A terceira parcela de água, correspondente aos restantes 25%, é adicionada com o superplastificante bem misturado, também de forma lenta e sem paragem do equipamento. A mistura dos componentes continua durante 5 minutos, sempre com velocidade normal. Decorridos os 5 minutos, desliga-se a misturadora e o BAC fica em repouso durante 2 minutos, aproveitando-se esta pausa para limpeza da pá de mistura. Decorridos os 2 minutos, procede-se a mais 1 minuto de mistu-

ra, também com velocidade normal, antes de iniciar os ensaios no estado fresco.

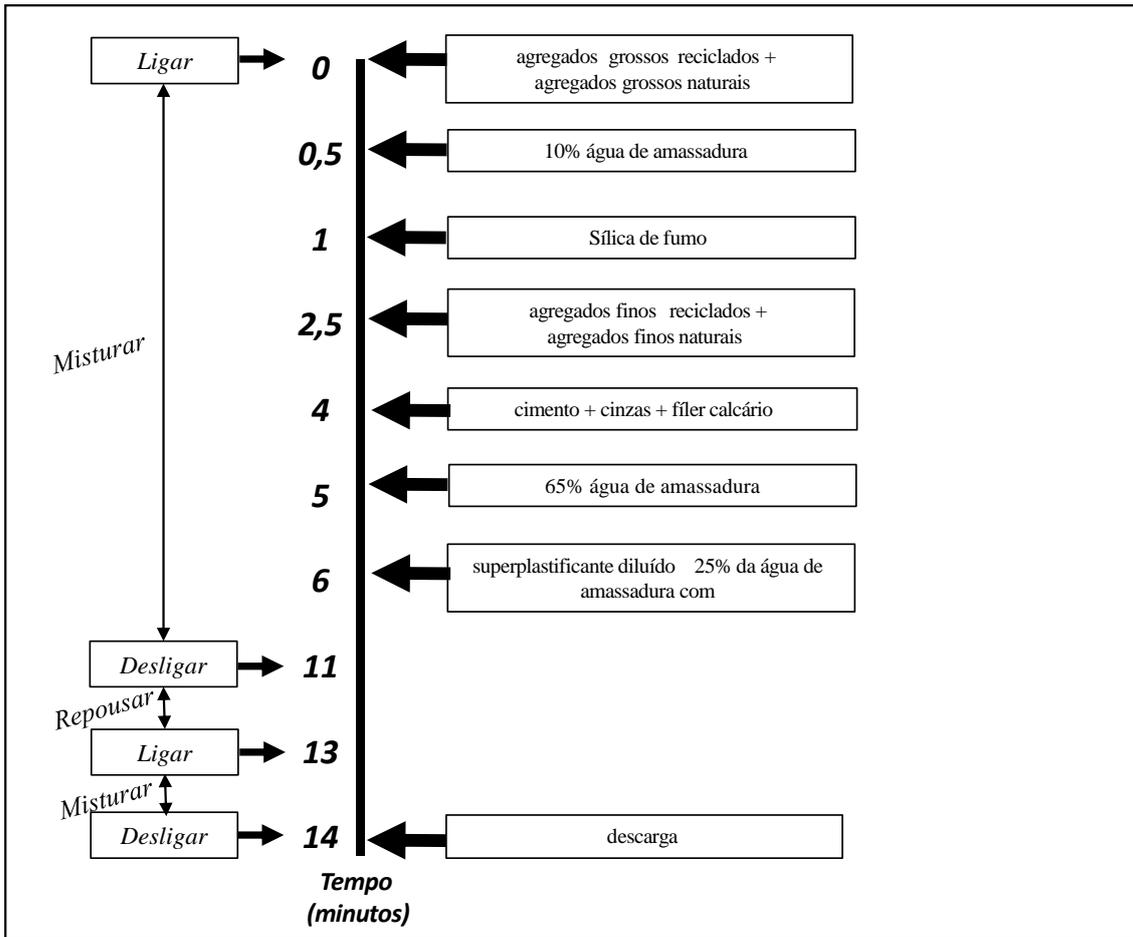


Figura 11 - Representação esquemática da sequência de amassadura de BAC

4.2.1. Ensaios ao BAC em estado fresco

A característica que distingue o BAC do BC, no estado fresco, é a capacidade de se mover unicamente sob acção do seu peso próprio, preenchendo completamente os moldes, mesmo em zonas fortemente armadas, sem necessidade de receber qualquer energia de compactação e mantendo sempre a homogeneidade.

Para se aferir se o betão produzido tem as características de auto-compactabilidade requeridas, realiza-se um conjunto específico de ensaios no estado fresco para cada amassadura. Estes ensaios têm como objectivo avaliar: (1) fluidez; (2) velocidade do escoamento na ausência e na presença de obstruções; (3) capacidade de enchimento; (4) capacidade de escoamento; (5) capacidade de passagem; (6) resistência à segregação. Na **Tabela 6**, são apresentadas as características requeridas e o respectivo ensaio a realizar para as aferir.

Conclui-se, portanto, que os ensaios no estado fresco constituem uma ferramenta fun-

damental de controlo da produção dos BAC.

Tabela 6 - Características requeridas ao BAC e respectivos ensaios.

Características	Ensaio a realizar
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Fluidez ◆ Velocidade do escoamento na ausência de obstruções 	Ensaio de espalhamento
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Viscosidade ◆ Capacidade de enchimento 	Ensaio de escoamento no funil V
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Capacidade de escoamento através de espaços confinados 	Ensaio de escoamento na caixa L
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Resistência à segregação 	Ensaio de segregação no peneiro
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Capacidade de passagem através de espaços estreitos ◆ Velocidade do escoamento na presença de obstruções 	Ensaio de espalhamento no anel J

4.2.1.1. Ensaio de espalhamento

O ensaio de espalhamento permite avaliar a fluidez e a velocidade do escoamento na ausência de obstruções, de acordo com a norma NP EN 12350-8.

Os materiais necessários para a realização do ensaio são: cone de Abrams e chapa metálica (**Figura 12 à Figura 14**), cronómetro e régua de 1 m.



Figura 12 - Cone de Abrams e chapa metálica

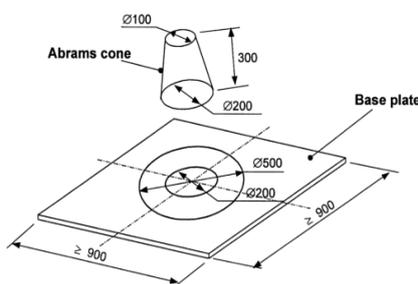


Figura 13 - Cone de Abrams e placa de base (dimensões em mm) (IPQ, 2010)

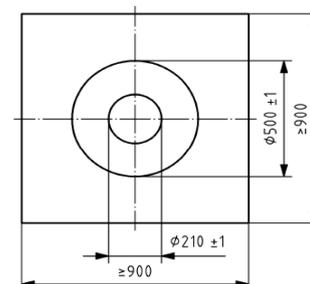


Figura 14 - Placa de base (dimensões em mm) (IPQ, 2010)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Humedecer ligeiramente todas as superfícies metálicas;
- 2) Encher o cone de uma única vez, sem qualquer agitação ou compactação, e levantá-lo num único movimento (sem interferir no escoamento), que deverá decorrer durante 1 a 3 s (não deixar passar mais de 30 s para levantar o cone);
- 3) Iniciar a cronometragem assim que o cone deixar de estar em contacto com a base e registar o tempo t_{500} , em segundos, que o BAC demora a atingir o círculo de 500 mm;
- 4) Após o BAC estabilizar, medir o maior diâmetro de espalhamento e registar como d_1 ;

- 5) Medir o diâmetro de espalhamento perpendicular a d_1 e registar como d_2 ;
- 6) Se a diferença entre d_1 e d_2 for superior a 50 mm, o ensaio deverá ser repetido com outra amostra e, se essa diferença se mantiver, o BAC deve ser considerado como não tendo a fluidez adequada.

Como resultado do ensaio, obtém-se o tempo de escoamento até se atingir o diâmetro de 500 mm (t_{500}), com aproximação de 0,5 segundos, bem como o diâmetro médio de espalhamento (com aproximação de 10 mm), que corresponde à média de d_1 e d_2 :

$$SF = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

O espalhamento deverá ser superior a 660 mm (e inferior a 750 mm), podendo, no entanto, validar-se resultados a partir de 600 mm. Este requisito tem de ser respeitado para que o BAC tenha fluidez e velocidade do escoamento na ausência de obstruções adequado. Adicionalmente, deverá ser verificado se o agregado grosso se encontra distribuído de forma homogênea ao longo da pasta do BAC, até à periferia, sem ocorrência de fenómenos de exsudação.

4.2.1.2. Ensaio de escoamento no funil V

O ensaio de escoamento no funil V permite avaliar a viscosidade através da capacidade de escoamento por uma zona confinada, de acordo com a norma NP EN 12350-9.

Os materiais necessários para a realização do ensaio são: funil V (**Figura 15** e **Figura 16**), cronómetro e balde.



Figura 15 - Funil V e balde

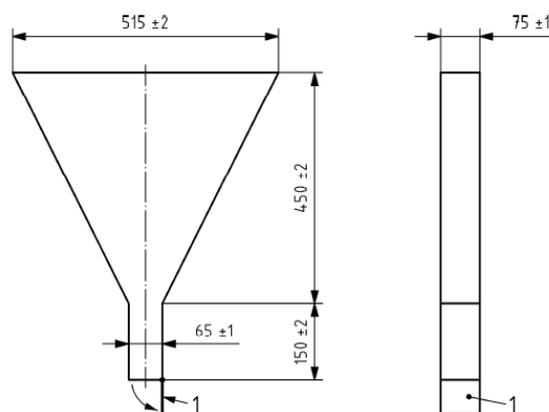


Figura 16 - Funil V. Legenda: 1 - tampa articulada ou deslizante (IPQ, 2010)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Humedecer ligeiramente o interior do funil V;
- 2) Encher o funil V de uma única vez sem qualquer tipo de agitação ou compactação

- e rasar a sua superfície superior;
- 3) Sem deixar passar mais de 10 s, abrir a comporta inferior do funil e, em simultâneo, iniciar a medição do tempo de escoamento (t_v) com o auxílio do cronómetro;
 - 4) Parar a cronometragem quando, observando o interior do funil de cima para baixo, surgir o primeiro raio de luz no fundo do funil;
 - 5) O escoamento deve ser contínuo e sem bloqueios. Se estes ocorrerem, o ensaio deverá ser repetido com outra amostra; se o bloqueio persistir, o BAC não tem viscosidade e capacidade de passagem adequadas.

Como resultado do ensaio, obtém-se o tempo de escoamento que toda a massa de betão leva a escoar pelo funil (t_v), com aproximação de 0,5 s, que deverá ser superior a 9 s, podendo validar-se resultados a partir de 7 s.

4.2.1.3. Ensaio de escoamento na caixa L

Este ensaio permite avaliar a capacidade de passagem do BAC através de espaços confinados, incluindo espaços entre armaduras e outras obstruções, sem segregar ou bloquear. Adicionalmente, é possível uma avaliação visual da capacidade de auto-nivelamento do BAC. Este ensaio é realizado de acordo com a norma NP EN 12350-10. Existem duas variantes: caixa L com dois ou três varões incorporados (este último simulando uma maior densidade de armaduras).

Os materiais necessários para a realização do ensaio são: caixa L (**Figura 17** e **Figura 18**), cronómetro e régua.



Figura 17 - Caixa L

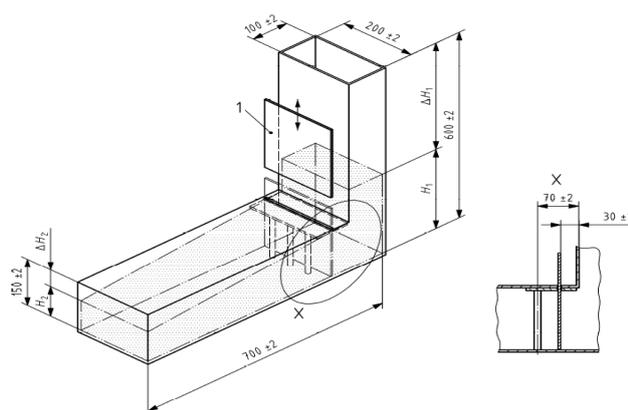


Figura 18 - Disposição geral típica da caixa L, com as dimensões requeridas (em mm) (IPQ, 2010)

A execução do ensaio segue o seguinte procedimento:

- 1) Humedecer ligeiramente o interior da caixa L;

- 2) Encher a caixa sem aplicar qualquer agitação ou compactação e rasar a sua superfície superior;
- 3) Esperar 60 s e abrir a comporta de separação das secções vertical e horizontal, num movimento contínuo;
- 4) Quando o movimento do BAC cessar, medir a altura do betão ΔH_1 (secção vertical da caixa L) e ΔH_2 (secção horizontal da caixa L).

Como resultado, obtém-se o índice de capacidade de passagem na caixa L (com aproximação de 0,01), calculado através da seguinte expressão:

$$PL = \frac{150 - \Delta H_2}{600 - \Delta H_1} = \frac{H_2}{H_1}$$

O valor de PL tem de ser superior a 0,80 para que o BAC tenha capacidade de escoamento adequada, através de espaços confinados.

4.2.1.4. Ensaio de segregação no peneiro

O ensaio da resistência à segregação no peneiro é utilizado para avaliar a resistência do BAC à segregação, de acordo com a norma NP EN 12350-11.

Os materiais necessários para a realização do ensaio são: peneiro de 5 mm com fundo (Figura 19 e Figura 20), balde de 10 litros com tampa, régua e cronómetro.



Figura 19 - Peneiro de 5 mm com fundo e balança

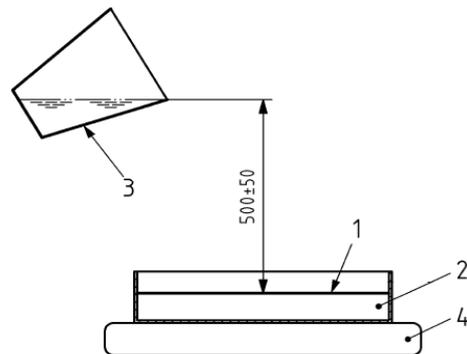


Figura 20 - Medição da parcela segregada.
 Legenda: 1 - peneiro com aberturas quadradas de 5 mm e diâmetro de 300 mm; 2 - fundo do peneiro; 3 - recipiente da amostra; 4 - balança (dimensões em mm) (IPQ, 2010)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Recolher uma amostra com, aproximadamente, 10 litros, num recipiente tapado, nivelado e sem perturbações;
- 2) Assegurar que a balança está nivelada e registar a massa do peneiro (m_{peneiro}) e do fundo (m_{fundo}), em gramas, colocando seguidamente o peneiro com o fundo na

balança e a mesma a zero;

- 3) Após 15 minutos em repouso, verter o betão (4.8 ± 0.2 kg) de uma altura de 50 cm para o centro do peneiro e registar a massa de facto vertida ($m_{\text{mat.vertido}}$), em gramas;
- 4) Após 2 minutos, registar a massa do peneiro com o BAC que nele ficou acumulado ($m_{\text{mat.peneiro}}$) e o fundo com o material passado ($m_{\text{mat.fundo}}$).

Como resultado, obtém-se a parcela segregada ou índice de segregação, que corresponde à proporção da amostra que passou através do peneiro, relativamente à quantidade vertida (aproximação 1%), calculado através da seguinte expressão:

$$SR = \frac{m_{\text{mat.fundo}} - m_{\text{fundo}}}{m_{\text{mat.vertido}}} \times 100$$

O valor de SR tem de ser inferior a 20% para que o BAC tenha adequada resistência à segregação.

4.2.1.5. Ensaio de espalhamento no anel J

O ensaio de espalhamento no anel J permite verificar a capacidade de passagem do BAC através de espaços estreitos, incluindo os espaços entre os varões de armadura e outras obstruções, sem segregação ou bloqueio. Por conseguinte, permite avaliar a compatibilidade entre a máxima dimensão do agregado e o espaçamento entre varões.

O método segue o procedimento descrito na NP EN 12350-12, em tudo semelhante ao do ensaio de espalhamento. A única diferença consiste na colocação de um anel de varões metálicos (o anel J) concentricamente ao cone, antes do seu enchimento.

Os materiais necessários para a realização do ensaio são: anel J (anel de barras lisas, verticais, igualmente espaçadas) de 16 varões (designado também por anel japonês), cone de Abrams e chapa metálica (**Figura 21** e **Figura 22**).



Figura 21 - Anel J de 16 varões, cone de Abrams e chapa metálica

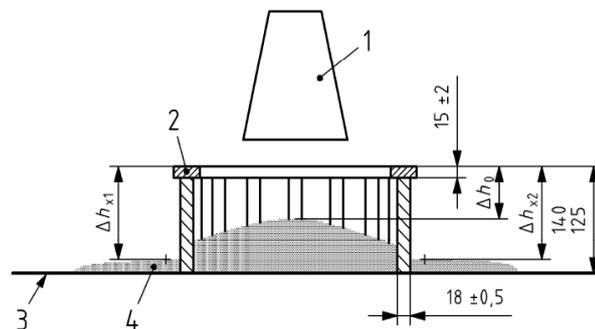


Figura 22 - Anel J. Legenda: 1 - cone de Abrams; 2 - anel J, 16 varões de aço lisos, igualmente espaçados (± 5 mm); 3 - placa de base; 4 - betão; Δh : diferença de alturas entre o topo do anel J e o topo do betão nos pontos referenciados (dimensões em mm) (IPQ, 2010)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Executar o ensaio de espalhamento e as medições dos respectivos diâmetros com o cone de Abrams no meio do anel J (não deixar passar mais de 30 s até retirar o cone);
- 2) Registrar o tempo (t_{500}) que o BAC demora a atingir o círculo de 500 mm;
- 3) Colocar uma régua rígida e medir as diferenças relativas de altura entre o bordo inferior da régua e a superfície do betão na posição central (Δh_0) e em quatro posições fora do anel J, duas na direcção x (Δh_{x1} e Δh_{x2}) e outras duas na direcção y (Δh_{y1} e Δh_{y2}), perpendicular a x, com uma aproximação de 1 mm;
- 4) O espalhamento SFJ é determinado de acordo com o ensaio de espalhamento e a capacidade de passagem no anel J (PJ) é calculada pelo desnível por bloqueio, de acordo com a expressão (em mm):

$$PJ = \frac{\Delta h_{x1} + \Delta h_{x2} + \Delta h_{y1} + \Delta h_{y2}}{4} - \Delta h_0$$

Como resultado, obtém-se o espalhamento no anel J (expresso com aproximação de 10 mm), calculado através da seguinte expressão (em mm):

$$SFJ = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (4)$$

O valor de SF tem de ser superior a 480 mm e o valor de PJ tem de ser inferior a 10 cm. Estes requisitos têm de ser respeitados para que o BAC tenha capacidade de passagem adequada através de espaços estreitos.

4.3. Ensaios ao BAC em estado endurecido (4ª fase)

São apresentados, de seguida, os ensaios a realizar a todos os betões de modo a avaliar o seu desempenho em termos mecânicos e de durabilidade e se obter todos os resultados necessários à análise destas propriedades.

Procedeu-se ao planeamento detalhado da produção dos betões e de todos os ensaios a realizar, que se apresenta no **Anexo A.2**.

Neste processo, teve-se em consideração a disponibilidade de moldes no Laboratório de Construção e também alguns condicionalismos existentes, nomeadamente em termos de funcionamento dos equipamentos e dos dias da semana reservados para o seu uso.

Também as idades de realização dos ensaios foram ligeiramente alteradas tendo em conta a logística do laboratório, bem como os condicionamentos dos provetes, que em alguns casos foram usados para mais do que um ensaio.

No planeamento dos provetes necessários, o objectivo é o de maximizar o aproveitamento

dos moldes (por exemplo, o mesmo cilindro pode ser cortado em “bolachas” para mais de um tipo de ensaio), tendo em consideração que a quantidade disponível de AR é limitada. A produção dos provetes e a realização dos ensaios será realizado no LC do IST.

4.3.1. Ensaio mecânicos ao betão no estado endurecido

Neste subcapítulo, são apresentados os ensaios a realizar ao betão no estado endurecido, com o objectivo de avaliar a influência da incorporação de agregados reciclados de betão no comportamento mecânico dos diferentes BAC produzidos, relativamente a um betão de referência.

4.3.1.1. Massa volúmica e velocidade de propagação de ultra-sons

O ensaio de ultra-sons permite determinar a velocidade de propagação da onda sónica no interior do betão, de uma forma não destrutiva, obtendo-se, indirectamente, informação sobre características mecânicas, homogeneidade e vazios, através da comparação das velocidades de propagação entre os diferentes espécimes.

Os transdutores (emissor e receptor) do equipamento de ultra-sons são posicionados, alinhados e centrados em faces opostas do provete (esta técnica é designada por método de transmissão directa), obtendo-se o tempo que a onda demora a percorrer o interior do betão (entre o emissor e o receptor).

São necessários os seguintes materiais: equipamento de ultra-sons (**Figura 23**), balança com pesagem hidrostática, craveira, pano e material de contacto entre o provete e os transdutores (será utilizada vaselina).



Figura 23 - Equipamento de ultra-sons (calibração do equipamento)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Retirar o provete da câmara húmida e limpá-lo com o pano removendo o excesso

de humidade e/ou sujidade;

- 2) Avaliar o peso do provete ao ar (m_{ar}) e imerso em água ($m_{água}$);
- 3) Determinar as dimensões do provete: B, H, A;
- 4) Calibrar o equipamento de ultra-sons com recurso ao cilindro de calibração fornecido pelo equipamento (elemento cuja velocidade de propagação é de 25 μ s), colocando vaselina na superfície de contacto dos dois transdutores, de forma a melhorar o contacto;
- 5) Colocar cada um dos transdutores em fases opostas do provete (posição central na sua superfície) e registar o tempo, t (em μ s), que a onda sónica demora a percorrer o interior do betão (entre o emissor e o receptor), fornecido pelo aparelho.

O ensaio deve ser realizado em todas as superfícies opostas do cubo, excluindo a fase de acabamento e respectiva fase oposta.

A massa volúmica e a densidade relativa são calculadas pelas seguintes expressões, respectivamente:

$$MV = \frac{m_{ar}}{B \times H \times A} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rho = \frac{m_{ar}}{m_{ar} - m_{água}} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

A velocidade de propagação dos ultra-sons é calculada por:

$$V = \frac{A}{t} \text{ e } V = \frac{B}{t} \text{ [m/s]}$$

4.3.1.2. Resistência à compressão em cubos e em cilindros

Com a realização deste ensaio, pretende-se determinar a capacidade resistente dos diferentes betões quando comprimidos com tensão uniforme, de acordo com a norma NP EN 12390-3 (2011).

Para realizar o procedimento normativo, é necessário o seguinte equipamento: prensa hidráulica (*Tonic Pact 3000*), deflectómetro / transdutor (**Figura 24** e **Figura 25**), *data logger*, acoplado à prensa (estes dois equipamentos permitem obter os diagramas de tensão-deformação) e pano para limpeza dos provetes.

O ensaio será realizado em provetes cúbicos de 150 mm de aresta e em provetes cilíndricos de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, sujeitos ao processo de cura húmida a 20 ± 2 °C até à idade de ensaio.

Para cada referência de BAC, serão moldados três provetes cúbicos, a ensaiar aos 7, 28 e 91 dias de idade, imediatamente após o ensaio de massa volúmica e ultra-sons, e dois

cilíndricos, a ensaiar aos 28 e 91 dias de idade, após o ensaio do módulo de elasticidade secante (ou seja, aproximadamente 3 h após retirados da câmara de cura).



Figura 24 - Prensa hidráulica



Figura 25 - Deflectómetro acoplado à prensa

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Limpar as superfícies da prensa hidráulica;
- 2) Montar o equipamento (acoplado à prensa) que permite obter os diagramas de tensão-deformação (apenas para os provetes cúbicos);
- 3) Posicionar o provete na prensa, centrado relativamente ao prato inferior da máquina (para evitar qualquer tipo de excentricidade):
 - provetes cúbicos: colocar o provete com a superfície de enchimento virada lateralmente, ou seja, sem estar em contacto com as placas da prensa;
 - provetes cilíndricos: colocar o provete com os topos do cilindro (rectificados mecanicamente) em contacto com as placas da prensa;
- 4) Dar início ao ensaio:
 - provetes cúbicos: velocidade de aplicação da carga é de 13,5 kN/s;
 - provetes cilíndricos: velocidade de aplicação da carga é de 10,5 kN/s.

Ambas as velocidades referidas têm de estar dentro do intervalo $0,6 \pm 0,2$ MPa/s, sendo que a velocidade deve ser aplicada de forma contínua e sem choques até o provete atingir a rotura;

- 5) Inspeccionar a rotura de cada provete e classificá-la como satisfatória (**Figura 26**) ou não satisfatória (**Figura 27**), de acordo com a classificação presente na norma NP EN 12390-3 (2011).

A resistência à compressão em cubos e cilindros é calculada através da seguinte expressão:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

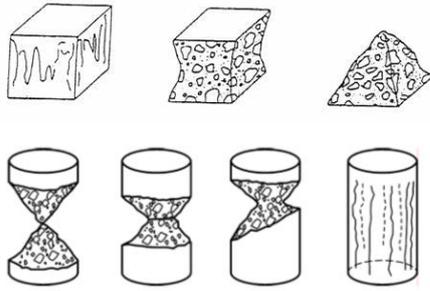


Figura 26 - Roturas satisfatórias de provetes cúbicos e cilíndricos (IPQ, 2011)

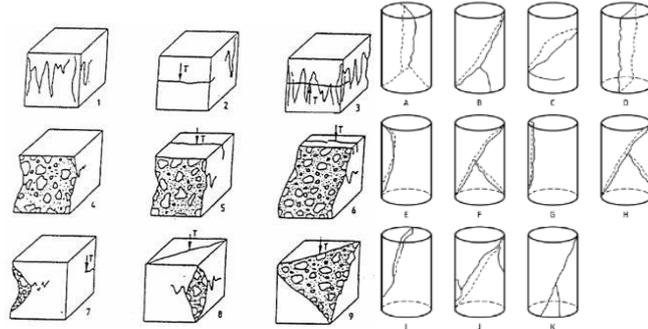


Figura 27 - Roturas não satisfatórias de provetes cúbicos e cilíndricos (IPQ, 2011)

Onde:

f_c - resistência à compressão do provete (MPa ou N/mm^2);

F - carga máxima (N);

A_c - área da secção transversal do provete em contacto com os pratos da prensa.

Para cada idade, a resistência à compressão é dada pela média dos resultados dos provetes respectivos.

4.3.1.3. Resistência à tracção por compressão diametral

O ensaio de compressão diametral permite determinar a resistência à tracção do betão, seguindo a metodologia especificada pela norma NP EN 12390-6 (2011), em provetes cilíndricos com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura.

Para cada referência de BAC, serão moldados dois provetes cilíndricos, a ensaiar aos 28 e 91 dias de idade, sujeitos ao processo de cura húmida a 20 ± 2 °C até à idade de ensaio. Os provetes devem ser ensaiados saturados.

Neste ensaio, cada provete cilíndrico é submetido a uma força de compressão, aplicada sobre uma secção estreita em todo o seu comprimento, com recurso a duas peças de carga em aço em contacto com o provete por intermédio de duas faixas de cartão prensado.

Para realizar o procedimento normativo, é preciso o seguinte equipamento: prensa hidráulica (Tonic Pact 3000), pano de limpeza, régua, posicionador / estrutura de suporte dos provetes em aço, peça de carga em aço e faixas de cartão prensado (**Figura 28**).

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Retirar o provete da câmara húmida e limpar com o pano, removendo o excesso de humidade e/ou sujidade;
- 2) Determinar as dimensões do provete: L (comprimento) e d (diâmetro);
- 3) Limpar as superfícies da prensa de compressão;

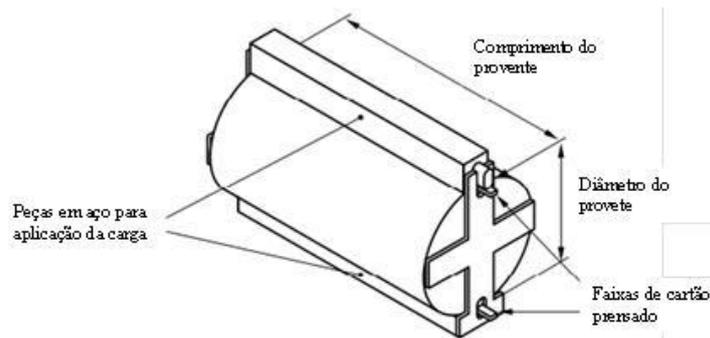


Figura 28 - Posicionador para o ensaio de provetes cilíndricos (IPQ, 2011)

- 4) Montar o equipamento (acoplado à prensa) que permite apoiar o cilindro na horizontal;
- 5) Posicionar o provete na prensa, centrado em relação aos pratos para evitar qualquer tipo de excentricidade;
- 6) Posicionar as faixas de cartão prensado nas geratrizes da base e do topo (nesta última é sobreposta a peça de carga);
- 7) Dar início ao ensaio: a velocidade de aplicação da carga é de 3,5 kN/s, dentro do intervalo $0,05 \pm 0,01$ MPa/s, aplicada de forma contínua sem choques até atingir a rotura;
- 8) Registrar o valor da carga máxima: F.

A resistência à tracção por compressão diametral é calculada através da seguinte expressão (em MPa):

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

Para cada idade, a resistência à tracção por compressão diametral é dada pela média dos resultados dos provetes respectivos.

4.3.1.4. Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade de um betão permite caracterizar a sua rigidez, ou deformabilidade, através da análise da relação tensão / extensão (σ/ϵ) em regime de deformações elásticas. A relação σ/ϵ de um betão não é linear, pelo que não existirá um valor único para o módulo de elasticidade num elemento sujeito a variação de cargas. Por conseguinte, define-se a recta que estabelece módulo de elasticidade como a tangente na origem da curva σ/ϵ (módulo de elasticidade tangente), ou ainda, como a secante entre dois pontos de tensão conhecida da mesma curva (módulo de elasticidade secante).

Nesta campanha experimental, será determinado o módulo de elasticidade secante do

betão, de acordo com a especificação LNEC E 397 (1993), em provetes cilíndricos de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, sujeitos ao processo de cura húmida a 20 ± 2 °C até à idade de ensaio (28 e 91 dias).

O provete cilíndrico será colocado numa prensa onde é submetido a ciclos de carga e descarga, para um nível de tensão igual a 1/3 da resistência média à compressão (f_{cm}), registando-se as tensões e extensões iniciais e finais.

Para realizar o procedimento normativo, é necessário o seguinte equipamento: máquina universal de ensaio (*Instron*, modelo 1343) (**Figura 29**), equipamento para aquisição de dados (*data logger Spider 8* da HBM) para obtenção das forças aplicadas e deslocamentos, extensómetros eléctricos adesivos e pano de limpeza.



Figura 29 - Máquina universal de ensaio

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Retirar o provete da câmara húmida e limpar com o pano, removendo o excesso de humidade e/ou sujidade;
- 2) Aplicação de dois extensómetros em posições directamente opostas do provete;
- 3) Introduzir o valor estimado para a resistência à compressão média em cilindros: $f_{cm}^{cilindros}$;
- 4) Posicionar o provete na vertical, centrado nas placas da máquina e colocar os discos de neoprene nas superfícies de ensaio (evitando, assim, qualquer excentricidade no carregamento);
- 5) Verificar o posicionamento do provete: a diferença registada pelos dois extensómetros ($|\varepsilon_{ext1} - \varepsilon_{ext2}|$), após cada ciclo de carga, deverá ser inferior a 10%;
- 6) Aplicar uma tensão inicial de 0,5 a 1,0 MPa (σ_i), aumentada de forma contínua a uma velocidade de 8,8 MPa/s, até atingir 1/3 da tensão média de resistência à compressão ($f_{cm}^{cilindros}$);
- 7) Registar as extensões e tensões iniciais e finais e efectuar um novo ciclo de carga;

- 8) Após cada ciclo, confirmar se a diferença entre a média das variações de extensão de ciclos consecutivos ($|\varepsilon_i - \varepsilon_{i+1}|$) é inferior a 1×10^{-5} . Caso o limite não seja satisfeito, repetir o ciclo de carga, efectuando-se os ciclos necessários até que a condição anterior seja verificada ($|\varepsilon_i - \varepsilon_{i+1}| < 1 \times 10^{-5}$);
- 9) Registrar as tensões e extensões iniciais e finais obtidas, em cada ciclo (n): $\sigma_{i,n}, \sigma_{f,n}, \varepsilon_{i,n}, \varepsilon_{f,n}$;
- 10) No final do ensaio, os provetes são ensaiados à compressão (de forma a aferir o valor da resistência à compressão utilizado na determinação do módulo de elasticidade).

O módulo de elasticidade secante (GPa) é calculado através da seguinte expressão:

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_{f,n} - \sigma_{i,n}}{\varepsilon_{f,n} - \varepsilon_{i,n}} 10^{-3}$$

4.3.1.5. Resistência à abrasão

A avaliação da resistência ao desgaste por abrasão será realizada segundo a norma alemã DIN 52108 (2010). A superfície do provete é submetida ao desgaste através da máquina de abrasão de Böhme, avaliando-se a sua espessura e massa, antes e após o ensaio.

Para realizar o procedimento normativo, é necessário o seguinte equipamento: máquina de abrasão de Böhme (**Figura 30**), pó abrasivo normalizado, estufa ventilada à temperatura de 110 ± 5 °C, balança de precisão de $\pm 0,1$ g, craveira, escova para limpeza da máquina de abrasão e pano para limpeza dos provetes.



Figura 30 - Máquina de abrasão de Böhme

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Corte do provete cúbico de 100 mm de aresta, de modo a obter-se dois provetes com geometria paralelepípedica, de bases quadradas paralelas com $71 \pm 1,5$ mm de aresta, com altura de cerca de 50 mm;

- 2) 7 dias antes da realização do ensaio, colocar os provetes na estufa ventilada, a 110 ± 5 °C, até atingirem massa constante (considera-se que o provete atinge massa constante quando a diferença entre as massas obtidas em duas pesagens consecutivas, intervaladas de pelo menos 24 h, for inferior a 0,1% da média das duas leituras);
- 3) No dia da realização do ensaio, retirar os provetes da estufa e deixar arrefecer a massa constante (colocar os provetes no interior de uma caixa com sílica gel);
- 4) Com a craveira, medir a altura inicial do provete (L_{i,j_n}), em nove pontos marcados previamente na face oposta à de teste e avaliar a massa do provete (m_i);
- 5) Limpar a máquina de abrasão e distribuir uniformemente 20 g de pó abrasivo ao longo do trilho de abrasão; posicionar o provete no mecanismo de fixação e carregar a face de topo com uma pressão de contacto centralizada de $30 \pm 0,3$ kPa, de modo a assegurar o atrito suficiente entre o provete e o conjunto abrasivo (disco e pó);
- 6) Iniciar a rotação do disco de Böhme a uma velocidade de 30 ± 1 rpm, de forma a completar 22 voltas;
- 7) O ensaio inclui 16 ciclos de teste por provete; após cada ciclo de teste, limpar a superfície de teste do provete e o disco de Böhme. Rodar o provete 90° em torno do seu eixo vertical, sempre no mesmo sentido, distribuindo novamente 20 g de pó abrasivo no trilho de abrasão;
- 8) Concluídos os 16 ciclos de teste limpar o provete, e medir a altura dos nove pontos (L_{f,j_n}), e avaliar a sua massa (m_f).

A redução da altura do provete por abrasão (em mm) resulta da diferença entre a média das nove alturas iniciais e a média das nove alturas finais, calculada através da seguinte expressão:

$$\Delta L = \overline{L_{i,j_n}} - \overline{L_{f,j_n}}$$

4.3.1.6. Retracção

O ensaio de retracção permite determinar a variação das dimensões dos provetes ao longo de um determinado período de tempo.

A determinação da extensão total de retracção será efectuada através de medições em dois provetes prismáticos por cada referência de betão (100 x 100 x 500 mm), durante 182 dias (diariamente até aos 14 dias e semanalmente entre 14 dias e 182 dias), de acordo com a especificação LNEC E 398 (1993).

O ensaio será iniciado imediatamente após a desmoldagem, às 24 h, mantendo-se os

provetes a uma temperatura ambiente de 20 ± 2 °C e uma humidade relativa de $50 \pm 5\%$ durante toda a duração do ensaio.

Para realizar o procedimento normativo, é necessário o seguinte equipamento: aparelho de medição de extensões com uma precisão de 10^{-6} m, barra calibradora, barra padrão (**Figura 31**), cola de secagem rápida, betume polimérico (cola bi-componente de base epóxida e de elevada resistência), lixa e pinos metálicos.



Figura 31 - Aparelho de medição de extensões, barra calibradora e barra padrão

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Após a desmoldagem, aplicar dois pinos metálicos a $1/3$ e $2/3$ do comprimento da linha média de uma das maiores faces do provete; os pinos metálicos são posicionados com recurso a uma cola de secagem rápida e com o apoio da barra padrão, que garante o seu correcto posicionamento; de seguida, aplicar betume polimérico à volta dos pinos por forma a protegê-los e mantê-los imóveis;
- 2) Após a secagem da cola, realizar a primeira leitura da retracção (d_i) com o aparelho de medição de extensões; o equipamento permite registar a variação de comprimento entre os dois pinos metálicos colados na superfície do provete, por comparação com a barra calibradora fornecida com o aparelho; esta primeira leitura é considerada como o ponto de referência para as leituras seguintes;
- 3) Efectuar as diversas leituras ao longo do tempo ($d_f(t)$), sendo que em cada um dos provetes são feitas duas medições;

A retracção num dado instante de tempo t (em m/m) é calculada através da seguinte expressão:

$$\varepsilon_s(t) = \frac{d_f(t) - d_i}{d_i}$$

4.3.1.7. Fluência

O ensaio de fluência permite determinar a deformação longitudinal de provetes de betão, sob uma tensão de compressão constante durante um longo período de tempo.

Os provetes prismáticos (100 x 100 x 500 mm) são montados na posição vertical em pórticos de fluência, aos 28 dias de idade, sendo aplicada uma tensão constante. São avaliadas as extensões sofridas pelo provete ao longo do tempo, todos os dias durante 91 dias.

O procedimento foi realizado de acordo com a especificação LNEC E 399 (1993), com recurso aos seguintes equipamentos: máquina de ensaio que consegue aplicar e manter uma força de 250 kN, distribuída pela superfície do provete (**Figura 32**), sistema de controlo da pressão do óleo, através de sensores de pressão, que permite a estabilização da carga aplicada (**Figura 33**), transdutores electrónicos que permitem a medição de extensões com uma precisão de 1×10^{-6} , varões roscados de 5 mm e enxofre.



Figura 32 - Pórtico de fluência



Figura 33 - Sistema de controlo da pressão do óleo

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Imediatamente após o enchimento dos moldes, inserir dois varões roscados de 5 mm de diâmetro e 5 cm de comprimento no betão ainda fresco; estes devem estar espaçados de 200 mm entre si e centrados na face de enchimento do provete;
- 2) Após a desmoldagem, armazenar os provetes na câmara a $50 \pm 5\%$ de humidade relativa e $20 \pm 2^\circ\text{C}$ até ao dia de ensaio (aos 28 dias de idade);
- 3) Ao 25º dia, fazer o capeamento dos provetes com enxofre;
- 4) Aos 28 dias de idade, montar os provetes no equipamento e iniciar o ensaio: centrar os provetes na superfície da máquina de ensaio, fixar os instrumentos de medição de extensões e aplicar uma força de, aproximadamente, 20% da carga máxima; as extensões nos vários instrumentos de medida não devem diferir em

mais de 25% do valor médio; se tal acontecer, retirar a carga, centrar de novo o provete e repetir o procedimento;

- 5) Registrar a primeira leitura das extensões obtidas, registrando o seu valor com $d_t(0)$;
- 6) Aplicar a força máxima de 250 kN preconizada para o ensaio, o que irá resultar em 25 MPa de tensão;
- 7) Realização das medições seguintes ao longo do tempo, registrando os valores de $d_t(i)$.

A extensão total do provete sob tensão constante, num determinado instante de tempo t (contado a partir da primeira leitura, $d_t(0)$, realizada no instante da aplicação da tensão total sobre os provetes), é calculada através da seguinte expressão:

$$\varepsilon_t(t) = \frac{d_t(i) - d_t(0)}{d} \times 100$$

A extensão por fluência, num dado período de carga, é calculada através da seguinte expressão:

$$\varepsilon_c(t) = \varepsilon_t(t) - \varepsilon_s(t) - \varepsilon_i$$

em que:

$\varepsilon_t(t)$ - extensão total sob tensão constante num dado tempo t , contada a partir da primeira leitura ($t=0$);

$\varepsilon_s(t)$ - extensão média ($t=0$) dos provetes não carregados e conservados nas mesmas condições (provetes para medição da retracção);

ε_i - extensão instantânea medida logo após a aplicação da carga máxima no ensaio ou calculada pela seguinte expressão:

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma}{E}$$

em que:

σ - tensão máxima a aplicar no ensaio de fluência (MPa);

E - módulo de elasticidade em compressão, determinado na idade em que se inicia o ensaio de fluência, para a mesma tensão aplicada (MPa).

O coeficiente de fluência, adimensional, num dado instante de tempo t , é calculado através da seguinte expressão:

$$\Phi = \frac{\varepsilon_c(t) \times E_{C_{28d}}}{\sigma_c}$$

em que:

$E_{C_{28d}}$ - módulo de elasticidade aos 28 dias de idade (que pode ser obtido

aumentando em 25% o valor calculado segundo respectivo o ensaio)

σ_c - valor da tensão aplicada.

4.3.2. Ensaio de durabilidade ao betão no estado endurecido

Neste subcapítulo, são apresentados os ensaios a realizar ao betão no estado endurecido, com o objectivo de avaliar a influência da incorporação de agregados reciclados de betão no comportamento em termos de durabilidade dos diferentes BAC produzidos, relativamente a um betão de referência.

4.3.2.1. Permeabilidade ao oxigénio

O ensaio da permeabilidade ao oxigénio tem como objectivo medir o fluxo de oxigénio que atravessa num provete de betão, sujeito a um determinado gradiente de pressão.

Os provetes são colocados em câmaras capazes de aguentar pressões até 5×10^{-2} kN/m², onde ficam rodeados por um tubo de borracha que, após ser insuflado, vai vedar o provete lateralmente, permitindo assim o fluxo de gás unidireccional.

Para realizar o procedimento normativo, segundo a especificação LNEC E 392 (1993), é necessário o seguinte equipamento: aparelho para determinar o coeficiente de permeabilidade ao oxigénio, designado por permeâmetro (**Figura 34**), cronómetro, balança, régua e película aderente. Na **Figura 35**, é apresentado o esquema de montagem do ensaio.



Figura 34 - Permeâmetro

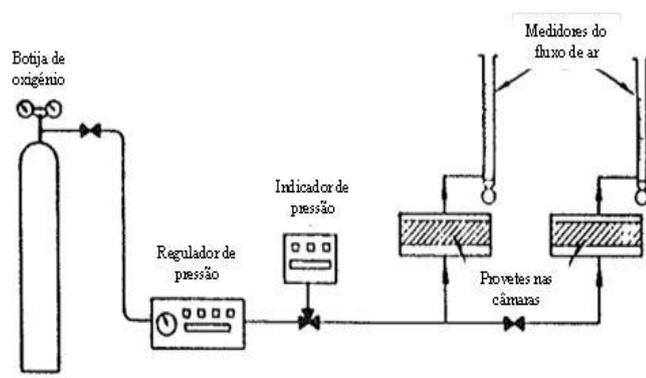


Figura 35 - Diagrama do equipamento para determinação da permeabilidade ao oxigénio (LNEC, 1993)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Corte de 2 provetes cilíndricos ($\Phi 150 \times 300$ mm) para obtenção de 9 “bolachas” de $\Phi 150 \times 50$ mm;
- 2) 10 dias antes da data do ensaio colocar os provetes na estufa de 105 ± 5 °C;

- 3) 3 dias antes da data do ensaio colocar os provetes no exsiccador a uma temperatura de 20 ± 2 °C;
- 4) Medir a espessura, o diâmetro e a massa do provete (embora este último valor não seja considerado para a determinação da permeabilidade, pode ser útil conhecer a massa quando o provete é sujeito a uma mudança do seu estado de humidade por um longo período, sendo posteriormente manuseado por operadores);
- 5) Introduzir os provetes no interior da câmara;
- 6) Seleccionar no equipamento de ensaio a pressão do gás à entrada do provete (P_{entrada}): considerar três pressões distintas - 2,5, 3,0 e 3,5 bar;
- 7) Seleccionar medidor de fluxo com diâmetro adequado (D) em função da permeabilidade do provete (o equipamento possui quatro medidores de fluxo, com diferentes escalas e diâmetros); as leituras do caudal são realizadas com medidores de fluxo colocados a jusante, onde se regista o tempo de percurso (t) de uma bolha de sabão num tubo de vidro com um determinado diâmetro; no decorrer do ensaio, o tubo deve estar molhado interiormente com uma solução usada para produzir “bolhas de sabão”, de modo a evitar o seu rápido desaparecimento;
- 8) Iniciar o ensaio e registar o tempo que a bolha demora a percorrer o tubo de fluxo; o tempo óptimo para o percurso de cada bolha situa-se entre 20 e 60 s; caso isto não se verifique, mudar de medidor de fluxo.

O fluxo de ar que atravessa o provete (em m^3/s) é calculado através da seguinte expressão:

$$Q = D/t$$

A permeabilidade do betão ao oxigénio (em m^2) a uma determinada pressão, p é calculada através da seguinte expressão:

$$K_{\text{O}_2} = \frac{1.14 \times 10^{-4} \times Q \times p_1}{p^2 - p_1^2}$$

Sendo p_1 a pressão absoluta do oxigénio à saída do provete (considera-se que, neste ensaio, é igual à pressão atmosférica: 101200 N/m^2).

A elaboração de um gráfico $Q/(p^2 - p_1^2)$ dará indicação do desvio dos resultados da linearidade ou de um possível mau funcionamento do equipamento.

4.3.2.2. Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade tem como objectivo quantificar a absorção de água por ascensão através dos vasos capilares do betão (**Figura 36**).

O provete é parcialmente colocado em contacto com a água e, periodicamente, é avalia-

da a sua massa. Este ensaio é considerado uma forma indirecta de avaliar a porosidade interna do provete de betão.

A absorção por capilaridade é causada pelas diferenças de pressão entre a superfície livre da água e a superfície livre, dessa mesma água, no interior dos vasos capilares.

Para realizar o ensaio, segundo a especificação LNEC E 393 (1993), é necessário o seguinte equipamento: estufa ventilada à temperatura de 40 ± 5 °C, balança de precisão de $\pm 0.05\%$ da massa do provete, apoios plásticos, nível, tabuleiro metálico, campânula, pano de limpeza, cronómetro e película aderente.

São utilizados os mesmos provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio, após o respectivo condicionamento.

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Corte de 2 provetes cilíndricos ($\Phi 150 \times 300$ mm) para obtenção de 9 “bolachas” de $\Phi 150 \times 50$ mm;
- 2) 14 dias antes do ensaio, colocar os provetes na estufa de 40 ± 5 °C;
- 3) 1 dia antes do ensaios, colocar os provetes no exsiccador a uma temperatura de 20 ± 2 °C;
- 4) Colocar o provete num tabuleiro sobre apoios, para que a base do provete (face cortada do provete) esteja em contacto com a água;
- 5) Preencher o tabuleiro com água, para que o nível da água atinja 5 ± 1 mm acima da face inferior do provete e, nesse instante, ligar o cronómetro;
- 6) Tapar todo o conjunto montado com uma campânula (de forma a evitar a evaporação de água);
- 7) Ao fim de 30min, 1, 2 e 3, 6, 24 e 72 horas, retirar o provete da água, registar a altura capilar e efectuar a sua pesagem.

A absorção de água por capilaridade no instante t_i ($t_i = 3, 6, 24$ e 72 h) é calculado através da seguinte expressão (em g/mm^2):

$$A_c = \frac{M_i - M_0}{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

em que:

M_i - massa do provete, que esteve em contacto com a água durante o tempo t_i (g);

M_0 - massa do provete seco em estufa (g);

D - diâmetro da face do provete, que esteve em contacto com a água (mm).

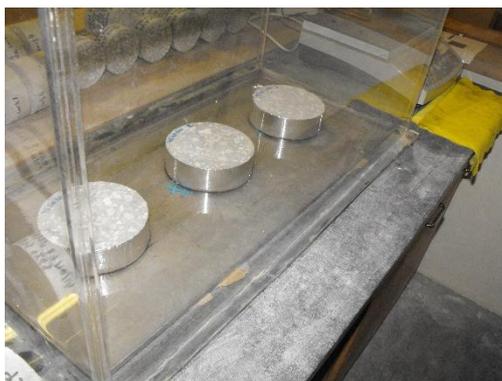


Figura 36 - Ensaio de absorção de água por capilaridade

4.3.2.3. Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão tem como objectivo avaliar a porosidade interna do betão, sendo possível caracterizar o seu comportamento à entrada da água e outros agentes nocivos (**Figura 37**). Consiste na imersão em água de um provete de betão até que este atinja massa constante, segundo a especificação LNEC E 394 (1993). No entanto, este ensaio apresenta algumas limitações, nomeadamente o facto de medir apenas o volume dos poros acessíveis (habitualmente designado por porosidade aberta), ou seja, o valor obtido não representa a porosidade absoluta do betão, uma vez que não considera o volume de poros fechados.

Para realizar o procedimento normativo, é necessário o seguinte equipamento: balança com pesagem hidrostática de precisão de $\pm 0.05\%$ da massa do provete, estufa ventilada à temperatura de 105 ± 5 °C, recipiente com capacidade de submergir os provetes em água, pano de limpeza e cronómetro.

São utilizados os mesmos provetes do ensaio de absorção de água por capilaridade, após o respectivo condicionamento.

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Após o final do ensaio de capilaridade, limpar o provete com um pano húmido;
- 2) Colocar o provete num recipiente com água, imergindo progressivamente 1/3 deste em intervalos de uma hora: instante do início do ensaio - adicionar água até 1/3 altura do provete; ao fim de uma hora - adicionar água até 2/3 altura do provete; ao fim de duas horas - adicionar água até que se situe 25 ± 5 mm acima do topo do provete;
- 3) Avaliar a massa do provete saturado ao ar (m_1) e a massa hidrostática (m_2); considera-se o provete saturado quando a diferença entre as massas obtidas em duas pesagens consecutivas, intervaladas de, pelo menos, 24 h, for inferior a 0,1% da média das duas leituras;
- 4) Colocar o provete na estufa a 105 ± 5 °C para secagem até massa constante (m_3).

A absorção de água por imersão (em %) é calculada através da seguinte expressão:

$$A_i = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} \times 100$$



Figura 37 - Ensaio de absorção de água por imersão

4.3.2.4. Resistividade eléctrica

A determinação da resistividade eléctrica do betão permite avaliar a sua capacidade de transportar carga eléctrica.

As duas faces opostas dos provetes (“bolachas” de 100 mm de diâmetro e 50 mm de espessura) são colocadas em contacto com eléctrodos. É aplicada uma determinada diferença de potencial, de modo a obter-se o valor da corrente eléctrica que atravessa o provete. Sabendo esse valor e as dimensões do provete, é possível determinar o valor da resistividade eléctrica.

O ensaio é realizado de acordo com a recomendação técnica RILEM TC 154-EMC (2003), com recurso aos seguintes equipamentos: duas placas de cobre, amperímetro, fonte de alimentação (Figura 4.27), máquina de serra capaz de cortar provetes, hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e esponjas (3 mm de espessura).

Na Figura 4.28, é apresentado o esquema de montagem do ensaio.



Figura 38 - Da esquerda para a direita: peso de 2 kg, placas de cobre, amperímetro e fonte de alimentação (Silva, 2013)

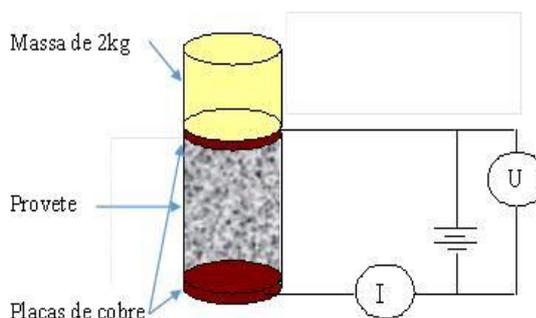


Figura 39 - Esquema de montagem do equipamento (adaptado de Silva, 2013)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Aos 7 dias de idade: corte de cilindros $\Phi 100 \times 250$ mm em provetes com $\Phi 100 \times 50$ mm e colocá-los novamente em cura húmida (100% de HR e 20 ± 2 °C);
- 2) 7 dias antes do ensaio, colocar os provetes na câmara de 50% de HR e 20 ± 2 °C;
- 3) Determinar o diâmetro (d) e o comprimento (L) do provete, aproximados a 0,01 mm, medidos com o auxílio de um paquímetro em três posições diferentes;
- 4) Colocar os provetes na câmara de vácuo, sujeitos, durante 3 h, a pressões entre 10 e 50 mbar;
- 5) Introduzir uma solução saturada de hidróxido de cálcio na câmara, sem desligar a bomba, até que os provetes estejam completamente cobertos;
- 6) Decorrida 1 h, desligar a bomba de vácuo, permanecendo os provetes em contacto com a solução de hidróxido de cálcio durante mais 18 ± 2 h, à pressão atmosférica;
- 7) Retirar os provetes da solução hidróxido de cálcio limpar o excesso de água;
- 8) Avaliar a resistividade das duas esponjas, acoplando-as (humedecidas em hidróxido de cálcio) entre as placas de cobre e aplicando um potencial eléctrico de 60V (U) (em corrente contínua); registar o valor da corrente eléctrica que atravessa o provete (I) e calcular a resistividade das esponjas, que não deverá ser superior a $100 \Omega \cdot m$;
- 9) Acoplar o provete entre as placas de cobre, com o auxílio das duas esponjas (humedecidas em hidróxido de cálcio) e com uma massa de 2 kg a comprimir o conjunto;
- 10) Fixar os cabos de corrente que estão ligados à fonte de alimentação e ligar o amperímetro;
- 11) Através das placas de cobre situadas nos topos dos provetes, aplicar um potencial eléctrico de 60V (U) (em corrente contínua) e registar o valor da corrente eléctrica que atravessa o provete (I).

A resistividade eléctrica (em $\Omega \cdot m$) é calculada através da seguinte expressão:

$$\rho = \frac{U}{I} \times \frac{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}{L}$$

4.3.2.5. Resistência à penetração de cloretos

O ensaio tem como objectivo determinar a resistência do betão à penetração de iões cloreto. Os provetes são introduzidos num tubo de borracha, cujo interior é preenchido com uma solução anódica. O conjunto é depois introduzido num recipiente, contendo uma solução catódica, sendo aplicado um potencial eléctrico que força, por migração, o

transporte dos iões cloreto através dos provetes. Terminado esse processo, o provete é quebrado e é medida a profundidade de penetração dos cloretos.

Para realizar o procedimento normativo, segundo a especificação LNEC E 463 (2004), é necessário o seguinte equipamento: exsiccador, bomba de vácuo capaz de albergar dois provetes (**Figura 40**), mangas de borracha de silicone, braçadeiras de aço inoxidável, reservatório plástico, fonte de alimentação (**Figura 41**), água destilada, cloreto de sódio (NaCl), hidróxido de sódio (NaOH), nitrato de prata (AgNO_3), craveira, balança de precisão de $\pm 0.1\%$ da massa a quantificar, escopro e marreta.



Figura 40 - Exsiccador e bomba de vácuo



Figura 41 - Fonte de alimentação (em cima) e reservatórios de plástico (em baixo)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Após a realização do ensaio de resistividade eléctrica, colocar os provetes no equipamento de migração: acoplar o provete numa manga de borracha de modo a conter a solução anódica; proceder à selagem do conjunto da manga de borracha com o provete, apertando-o mecanicamente, por intermédio de duas braçadeiras em aço inox;
- 2) Introduzir a solução anódica e catódica no equipamento de migração, de acordo com a **Figura 42** e instalar uma corrente eléctrica contínua de 30 V;
- 3) Em seguida, por intermédio das placas de aço inox situadas nos topos dos provetes, aplicar um potencial eléctrico de 30 V, que força, por migração, o transporte dos iões cloreto através dos provetes;
- 4) Medir a intensidade de corrente que passa em cada contentor através de um multímetro e proceder à correcção da voltagem, registando o valor absoluto da voltagem aplicada (U);
- 5) Medir a temperatura da solução anódica (hidróxido de sódio) (T_i), a temperatura

- da solução catódica (cloreto de sódio) e registrar a hora de início do ensaio;
- 6) Após 24 h, medir a temperatura da solução anódica (T_f), a temperatura da solução catódica, registrar a hora e desmontar o ensaio;
 - 7) Lavar os provetes com água e, com o auxílio de um escopro e um martelo, parti-los ao meio;
 - 8) Sobre as superfícies fracturadas, aplicar uma solução de nitrato de prata e, com o auxílio de uma craveira, medir a profundidade de penetração dos íons cloreto (visível pelo precipitado branco de cloreto de prata).

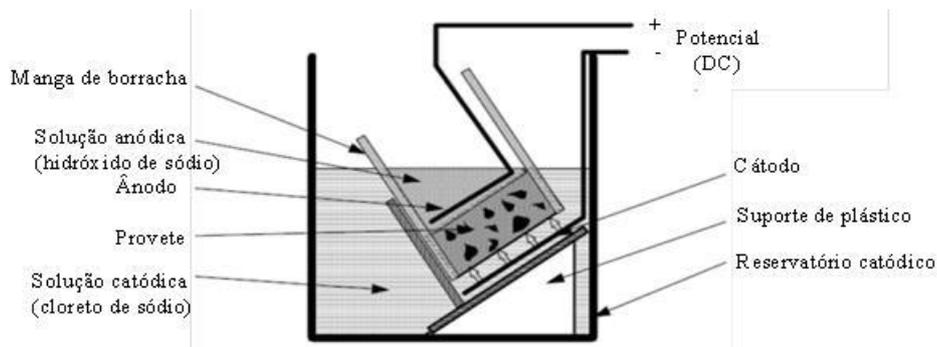


Figura 42 - Montagem do ensaio de migração de cloretos (LNEC, 2004)

O coeficiente de difusão de cloretos, em regime estacionário é calculado através da seguinte equação:

$$D_m = \frac{0,0239(273+T)L}{(U-2)t} \left(x_d + 0,0238 \sqrt{\frac{(273+T)Lx_d}{U-2}} \right) [\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}]$$

em que:

T - valor médio das temperaturas inicial e final da solução anódica: $T = \frac{T_i - T_f}{2}$ (°C);

x_d - valor médio da profundidade de penetração de cloretos (mm);

L - espessura do provete (mm);

t - duração do ensaio (horas).

4.3.2.6. Resistência à carbonatação

Este ensaio permite determinar a resistência do betão à penetração do dióxido de carbono. Os provetes são expostos a um ambiente rico em dióxido de carbono (câmara). Ao fim de um intervalo de tempo, o provete é retirado da câmara, é quebrado, as superfícies de fractura são pulverizadas com solução de fenolftaleína e é medida a profundidade de penetração do dióxido de carbono no interior do betão.

Para realizar o procedimento normativo, segundo a especificação LNEC E 391 (1993), é necessário o seguinte equipamento: câmara de carbonatação (**Figura 43**), máquina de serra capaz de cortar provetes, balança de precisão de $\pm 0.1\%$ da massa do provete, tinta epóxida, trincha, escopro, marreta, solução alcoólica de fenolftaleína a 0,1% e craveira.



Figura 43 - Câmara de carbonatação

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Aos 7 dias de idade: corte de cilindros $\Phi 100 \times 250$ mm em provetes com $\Phi 100 \times 40$ mm;
- 2) Imergir os provetes a ensaiar em água à temperatura de 20 ± 2 °C, durante os primeiros 14 dias;
- 3) Após 14 dias, colocar os provetes na câmara seca ($50 \pm 5\%$ de humidade relativa e 20 ± 2 °C de temperatura);
- 4) Após 21 dias, retirar os provetes da câmara seca e pintar os topos com uma tinta isolante (de forma a que o acesso do CO_2 seja feito apenas pela superfície lateral); a 1ª demão é dada aos 21 dias, a 2ª demão aos 22 dias e, aos 24 dias, coloca-se novamente os provetes na câmara seca;
- 5) Aos 28 dias, colocar todos os provetes na câmara de carbonatação (após 7 dias, é realizado o 1º ensaio);
- 6) Nas datas de realização do ensaio, retirar os provetes da câmara e, com o auxílio de um escopro e um martelo, partir em quatro partes;
- 7) Com a solução alcoólica de fenolftaleína a 0,1%, borrifar as oito superfícies fracturadas;
- 8) Medir com uma craveira a profundidade de carbonatação; em cada face do provete medir a profundidade média (d_k) e a profundidade máxima (d_{kmax}); na Figura 4.33, são apresentados os vários tipos de frente de carbonatação que podem surgir;

- 9) Em cada idade de realização dos ensaios, registar a humidade relativa (HR), a temperatura (T) e o teor de CO_2 na câmara de carbonatação (C_{CO_2}).

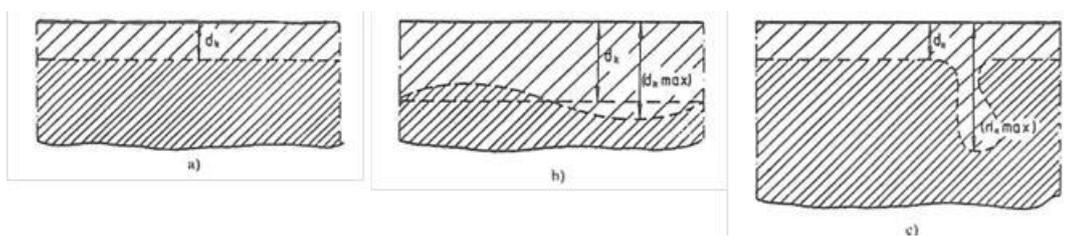


Figura 4.33 - Tipos de apresentação da frente de carbonatação (LNEC, 1993)

A resistência à carbonatação de cada referência de betão é determinada através da média da profundidade de carbonatação dos três provetes, sendo que a profundidade de carbonatação de cada provete é obtida através da média de oito leituras (p_c).

3. Bibliografia

APEB (Associação Portuguesa de Empresas de Betão Pronto) - “Betão autocompactável: guia para a especificação, produção e utilização”, Lisboa, Portugal, APEB, 2007, 91 p.

ASTM C597-09 - “Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete”, ASTM International, West Conshohocken, PA., 2009, 4 p.

Bogas, J. - “Caracterização de betões estruturais com agregados leves de argila expandida”, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2011, Volume I, 1338 p.

Camões, A. - “Betões de elevado desempenho com incorporação de cinzas volantes”, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2002, 456 p.

Camões, A. - “Betões de elevado desempenho”, Seminário inovação em betões: nova normalização e produção de betões especiais, CONSTRUNOR 2006, Braga, Portugal, 2006, pp. 81-101.

Cartuxo, P. - “Betões com agregados finos provenientes da trituração do betão: Influência dos plastificantes no desempenho em termos de durabilidade”, Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2013, 232 p.

Chloritest - “Guideline for practical use of methods for testing the resistance of concrete to chloride ingress”, EU-Project CHLORTEST, G6RD-CT-2002-00855, EU funded research Project under 5FP. GROWTH programme, document prepared by Tang Luping ,

SP Swedish National, Testing and Research Institute, Boras, Sweden, 2005, 271 p.

DIN 52108 - “Testing of inorganic non-metallic materials - Wear test using the grinding wheel according to Böhme - Grinding wheel method”, German, Deutsches Institut für Normung (DIN) the German Institute for Standardization, 2010

DURAR - “Thematic network XV. B durability of rebars, Manual for inspecting, evaluating and diagnosing corrosion in reinforced concrete structures”, CYTED, Ibero-American Program Science and Technology for Development, Subprogram XV, Corrosion/Environmental Impact on Materials, ISBN: 980-296-541-3, 2000, 204 p.

EN 1015-11 - “Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar”, Brussels, Comité Européen de Normalisation, 1999, 12p.

Franco R. M. C. - “Optimização técnico-económica de betões auto-compactáveis”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2010, 138 p.

Larrard, F. - “Ultra fine particles for making very high performance concretes, High performance concrete - from material to structure”, E&FN SPON, London, 1992, pp. 34-47.

Liu M. - “Wider application of additions in Self-compacting Concrete”, London, UK, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering University College London, 2009, 392 p.

LNEC E 463 - “Betões, Determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por ensaio de migração em regime não estacionário”, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2004, 8 p.

LNEC E 398 - “Betões, determinação da retracção e da expansão, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil”, 1993, 2 p.

LNEC E 399 - “Betões, Determinação da fluência em compressão”, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 2 p.

LNEC E 391 - “Betões, determinação da resistência à carbonatação”, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 2 p.

LNEC E 397 - “Betões, determinação do módulo de elasticidade em compressão”, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 2 p.

LNEC E 392 - “Betões - Determinação da permeabilidade ao oxigénio”, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 3 p.

LNEC E 393 - “Betões, determinação da absorção de água por capilaridade, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 2 p.

LNEC E 394 - “Betões, determinação da absorção de água por imersão, ensaio à pressão atmosférica”, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 2 p.

Nepomuceno M. C. S. - “Metodologia para a composição de betões auto-compactáveis”, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2005, 733 p.

NP EN 12390-3 - “Ensaaios do betão endurecido, Parte 3: Resistência à compressão de provetes”, Lisboa, Portugal, IPQ, 2011, 21 p

NP EN 12390-6 (Ed. 2) - “Ensaaios do betão endurecido, Parte 6: Resistência à tracção por compressão de provetes”, Lisboa, Portugal, IPQ, 2011, 14 p.

NP EN 206-9 - “Betão, Parte 9: Regras adicionais para betão autocompactável (BAC)”, Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 35 p.

NP EN 12350-8 - “Ensaaios do betão no estado fresco, Parte 8: Betão autocompactável, Ensaio de espalhamento”, Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 12 p.

NP EN 12350-9 - “Ensaaios do betão no estado fresco, Parte 9: Betão autocompactável, Ensaio de escoamento no funil V”, Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 11 p.

NP EN 12350-10 - “Ensaaios do betão no estado fresco, Parte 10: Betão autocompactável, Ensaio de escoamento na caixa L”, Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 12 p.

NP EN 12350-11 - “Ensaaios do betão no estado fresco, Parte 11: Betão autocompactável, Ensaio de segregação no peneiro”, Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 12 p.

NP EN 12350-12 - “Ensaaios do betão no estado fresco, Parte 12: Betão autocompactável, Ensaio de espalhamento no anel J”, Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 14 p.

NP EN 12504-4 - “Ensaaios do Betão nas Estruturas, Parte 4: Determinação da Velocidade de Propagação dos Ultra-sons”, Lisboa, IPQ, 2007, 18 p.

Polder R. B. - “Test methods for on-site measurement of resistivity of concrete, a RILEM TC 154-EMC: electrochemical techniques for measuring metallic corrosion”, technical recommendation, Materials and Structures, Vol. 33, 2000, pp. 603-611.

Silva, P. - “Avaliação da durabilidade de betões auto-compactáveis (BAC)”, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2013, 579 p.

STA - Silica Fume Association - “Silica fume: User’s manual”, U.S. - Department of Transportation, Federal Highway Administration, Lovettsville, EUA, 2005, 183 p.

Weerdt K., Kjellsen K.O., Sellevold E.J., Justnes H. - “Synergy between fly ash and limestone powder in ternary cements”, Cement and Concrete Composites, Vol. 33, Issue 1, 2011, pp. 30-38.

Anexo A.1 - Formulação das misturas

A.1.1. Materiais constituintes

São apresentados de seguida os materiais seleccionados na produção dos BACED em estudo e respectivas argamassas auto-compactáveis, com incorporação de FC e CV em misturas ternárias:

- cimento Portland CEM I 52,5 R, certificado segundo a NP EN 197-1, da Secil;
- cinzas volantes (CV), de acordo com a NP EN 450-1, da central termoeléctrica de Sines;
- fíler calcário (FC), de acordo com a especificação LNEC E 466, da Parapedra;
- superplastificante de elevado desempenho, forte redutor de água para betão, de acordo com a NP EN 934-2, da Sika;
- sílica de fumo (SF), de acordo com a NP EN 13263-1, da Secil;
- areia fina (0/2) e areia grossa (0/4), de natureza siliciosa, de acordo com a NP EN 12620, da Soarvamil;
- brita 1 ($D_{máx}=11,2$ mm) e brita 2 ($D_{máx}=16$ mm), de acordo com a NP EN 12620, de José Marques Galo, S.A.;
- água potável da rede de abastecimento pública de Lisboa, de acordo com a NP EN 1008.

A.1.2. Produção de argamassas (2ª fase)

A.1.2.1. Composição das argamassas

Para a obtenção de uma estimativa da quantidade de materiais necessários para a realização de toda a campanha experimental, utilizou-se o método de Nepomuceno.

Para além dos parâmetros tomados como hipótese (V_p/V_s , V_w/V_p e $S_p/p\%$), foi necessário, com os elementos já disponíveis, determinar os seguintes valores:

- δ_p é o médio da massa volúmica do cimento com as adições, em kg/m^3 ;
- δ_{sp} é a massa volúmica do adjuvante, em kg/m^3 ;
- $\frac{V_{sp}}{V_p} = \left(\frac{S_p}{p\%}\right) \times \frac{1}{100} \times \frac{\delta_p}{\delta_{sp}}$;
- V_p é o volume absoluto dos materiais finos (cimento e adições), em m^3/m^3 , dado por:

$$V_p = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right) + \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right)}$$

- V_w é o volume de água, em m^3/m^3 , dado por: $V_w = \frac{V_w}{V_p} \times V_p$;

- V_{sp} é o volume de superplastificante, em m^3/m^3 , dado por: $V_{sp} = \frac{V_{sp}}{V_p} \times V_p$;

- V_s é o volume absoluto dos agregados finos, em m^3/m^3 , dado por: $V_s = \frac{V_p}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)}$.

Sabendo as massas volúmicas de todos os constituintes, calculando os seus volumes absolutos e, no caso dos materiais finos, definindo as suas percentagens unitárias, obtém-se então todas as quantidades por unidade de volume. Apresenta-se na **Tabela A.1.1** o cálculo das quantidades para as argamassas.

Para a realização dos ensaios das argamassas no estado fresco e para o enchimento de um molde de três provetes prismáticos, as amassaduras deverão ser de 1,60 litros.

Finalmente, somando as quantidades de todos os constituintes para as quatro amassaduras, obtém-se as quantidades totais necessárias para a fase de argamassas. Estas quantidades são afectadas de um coeficiente de majoração, de modo a cobrir possíveis repetições das amassaduras devido a erros ou necessidade de ajustar os parâmetros de cálculo (**Tabela A.1.2**).

A.1.2.2. Quantidade de agregado reciclado por fracção granulométrica

A substituição de agregado natural por agregado reciclado será feita em massa por fracção granulométrica, sendo que o objectivo é reconstituir a curva granulométrica da mistura de areias. Considera-se que a mistura é sempre feita na mesma proporção, ou seja, 20% de areia fina e 80% de areia grossa (obtendo-se assim um módulo de finura de 3).

É ainda feita uma comparação da curva real da mistura de areias com a curva de referência obtida por Nepomuceno no seu trabalho, com o objectivo de verificar se não existem desvios significativos. O cálculo das curvas granulométricas é apresentado na **Tabela A.1.3**, ilustrando-se na **Figura A.1.1** a proximidade entre as mesmas.

As quantidades de AR por fracção granulométrica, para cada amassadura, são obtidas efectuando-se para a curva da mistura o processo inverso ao utilizado para a obtenção das curvas granulométricas. Assim, partido das percentagens de material acumulado passado fornecidas pela curva de referência de Nepomuceno, calcula-se as percentagens de material retido acumulado e, finalmente, as percentagens de material retido em cada peneiro. Multiplicando estas percentagens pela quantidade total de AR necessário para cada amassadura, obtém-se a quantidade de AR necessário por fracção granulométrica.

À água de amassadura prevista pelo método, foi necessário somar a água de absorção dos agregados reciclados, que é bastante superior à dos agregados naturais. Este valor foi obtido através do ensaio de absorção de água ao longo do tempo, tendo-se considerado para efeitos de cálculo o valor da absorção aos 10 minutos, por ser este o tempo

médio de duração de uma amassadura.

Tabela A.1.1 - Cálculo das quantidades de amassadura para as argamassas

Identificação da argamassa:		100% AN	25% AR	50% AR	100% AFR	
Parâmetros da composição	$V_p/V_s =$	0,80	0,80	0,80	0,80	
	$V_w/V_p =$	0,92	0,92	0,92	0,92	
	$S_p/P\% =$	1,22	1,22	1,22	1,22	
	Tipo e classe de cimento:	I 52,5R	I 52,5R	I 52,5R	I 52,5R	
	Mistura de Silica de Fumo (% V_C): SF	0,10	0,10	0,10	0,10	
	Mistura de finos: f_{Ad}	0,35	0,35	0,35	0,35	
	Mistura de adições: CV	0,30	0,30	0,30	0,30	
	FC	0,05	0,05	0,05	0,05	
	Mistura de agregados: Areia $0/2$	0,25	0,1875	0,125	0	
	Areia $0/4$	0,75	0,5625	0,375	0	
AFR	0	0,25	0,50	1		
Cálculos auxiliares	$d_{p(C+CV+FC)} \text{ kg/m}^3 =$	2906,00	2906,00	2906,00	2906,00	
	SIKAPLAST 898 $V_{sp}/V_{p(C+CV+FC)} \text{ n}^3/\text{m}^3 =$	0,033134	0,033134	0,033134	0,033134	
	Material fino (C+CV+FC) $V_{p(C+CV+FC)} \text{ n}^3/\text{m}^3 =$	0,312194	0,312194	0,312194	0,312194	
	Material fino (C) $V_{p(C)} \text{ n}^3/\text{m}^3 =$	0,202926	0,202926	0,202926	0,202926	
	Material fino (SF) $V_{p(SF)} \text{ n}^3/\text{m}^3 =$	0,020293	0,020293	0,020293	0,020293	
	Material fino (Total) $V_p \text{ n}^3/\text{m}^3 =$	0,332487	0,332487	0,332487	0,332487	
	Água $V_w \text{ n}^3/\text{m}^3 =$	0,287219	0,287219	0,287219	0,287219	
	Superplast. $V_{sp} \text{ n}^3/\text{m}^3 =$	0,010344	0,010344	0,010344	0,010344	
	Agregado fino $V_s \text{ n}^3/\text{m}^3 =$	0,369950	0,369950	0,369950	0,369950	
	Quantidades teóricas para 1 m ³	Adições	Cimento [kg] =	649,4	649,4	649,4
CV [kg] =			215,4	215,4	215,4	215,4
FC [kg] =			42,5	42,5	42,5	42,5
SF [kg] =			40,8	40,8	40,8	40,8
S_p Litros] =			10,3	10,3	10,3	10,3
S_p [kg] =			11,1	11,1	11,1	11,1
Água Litros] =			287,2	287,2	287,2	287,2
Areia $0/2$ [kg] =			240,5	180,4	120,2	0,0
Areia $0/4$ [kg] =			718,6	539,0	359,3	0,0
AFR [kg] =		0,0	215,5	431,0	862,0	
W/C =		0,442	0,442	0,442	0,442	
W/MC =		0,317	0,317	0,317	0,317	
W/F =		0,303	0,303	0,303	0,303	
Massa Total [kg] =	2205,4	2181,1	2156,9	2108,3		
Correcção das quantidades de água e agregado	Humidade $[\text{l/m}^3] =$	0,3	4,3	8,3	16,4	
	Água de absorção AN $[\text{l/m}^3] =$	3,8	2,9	1,9	0,0	
	Água de absorção AR $[\text{l/m}^3] =$	0,0	9,9	19,8	39,7	
	Água total $[\text{l/m}^3] =$	291,1	300,0	309,0	326,9	
	Água de amassadura $[\text{l/m}^3] =$	290,8	295,7	300,6	310,5	
	Areia $0/2$ [kg] =	239,7	179,7	119,8	0,0	
	Areia $0/4$ [kg] =	715,9	536,9	357,9	0,0	
AFR [kg] =	0,0	209,7	419,4	838,7		
Quantidades corrigidas para:	Adição	1,50 [Litros] Cimento [g] =	974,0	974,0	974,0	974,0
		CV [g] =	323,1	323,1	323,1	323,1
		FC [g] =	63,7	63,7	63,7	63,7
		SF [g] =	61,2	61,2	61,2	61,2
		S_p [g] =	16,6	16,6	16,6	16,6
		Água [g] =	436,2	443,5	450,9	465,7
		10% [g] =	43,6	44,4	45,1	46,6
		65% [g] =	283,5	288,3	293,1	302,7
		25% [g] =	109,0	110,9	112,7	116,4
		Areia $0/2$ [g] =	359,5	269,6	179,7	0,0
		Areia $0/4$ [g] =	1073,8	805,4	536,9	0,0
		AFR [g] =	0,0	314,5	629,0	1258,1

Tabela A.1.2 - Quantidades totais de todos os materiais necessários para a 2ª fase (produção de argamassas)

Material	Quantidades	Quantidades majoradas (x1,8)
Cimento (g)	3896	7013
Cinzas volantes (g)	1292	2326
Fíler calcário (g)	255	459
Sílica de fumo	245	441
Areia 0/2 (g)	809	1456
Areia 0/4 (g)	2416	4349
Agregado reciclado	1468	2642
Superplastificante (g)	66	120
Água (g)	1796	3233

Tabela A.1.3 - Curva granulométrica da mistura de areias e curva de referência

PENEIROS		AREIA 0/2	AREIA 0/4	MISTURA DE AGREGADO			
SÉRIE	ABERT. [mm]	% Passado acumulado	% Passado acumulado	AREIA 0/2	AREIA 0/4	CURVA REAL	CURVA DE REFERÊNCIA
				0,25	0,75		
Base	63	100,00%	100,00%	25,00%	75,00%	100,00%	100,00%
1	45	100,00%	100,00%	25,00%	75,00%	100,00%	100,00%
Base	31,5	100,00%	100,00%	25,00%	75,00%	100,00%	100,00%
1	22,4	100,00%	100,00%	25,00%	75,00%	100,00%	100,00%
Base	16	100,00%	100,00%	25,00%	75,00%	100,00%	100,00%
1	11,2	100,00%	100,00%	25,00%	75,00%	100,00%	100,00%
Base	8	100,00%	100,00%	25,00%	75,00%	100,00%	100,00%
1	5,6	100,00%	99,49%	25,00%	74,62%	99,62%	100,00%
Base	4	99,96%	98,21%	24,99%	73,65%	98,64%	99,96%
Base	2	99,95%	89,14%	24,99%	66,85%	91,84%	99,12%
Base	1	99,41%	59,37%	24,85%	44,53%	69,38%	90,81%
Base	0,5	80,69%	21,49%	20,17%	16,12%	36,29%	62,30%
Base	0,25	16,05%	3,54%	4,01%	2,65%	6,67%	21,05%
Base	0,125	0,31%	0,34%	0,08%	0,26%	0,33%	4,72%
Base	0,063	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,85%

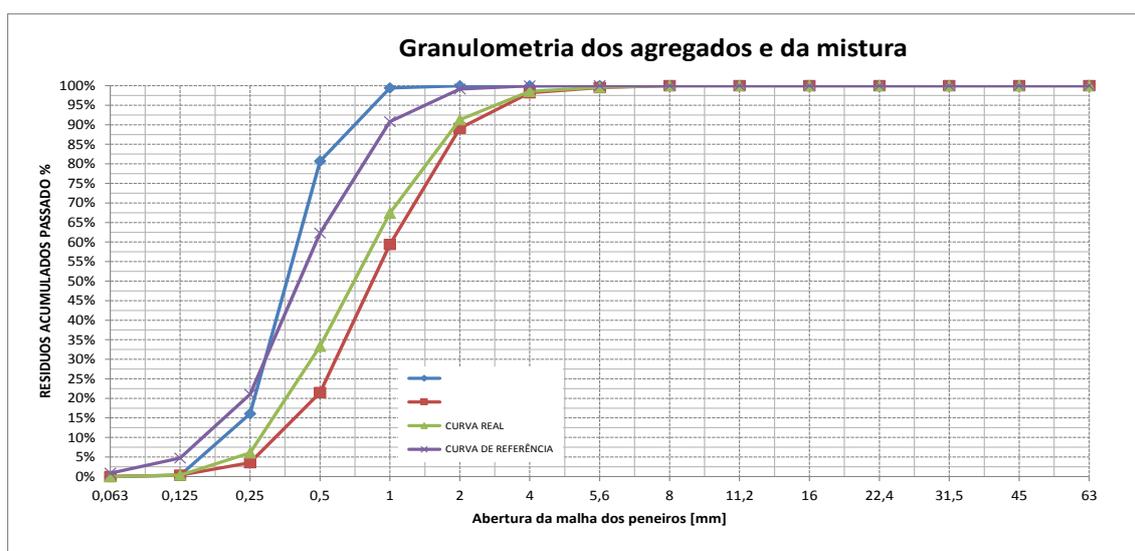


Figura A.1.1 - Curva granulométrica da mistura de areias e curva de referência

A.1.3. Produção de betão (3ª fase)

A.1.3.1. Quantidades de amassadura

De modo a calcular-se o volume total de cada mistura a betonar, é necessário definir os ensaios a realizar e a que idades. Assim, é possível definir a quantidade e tipo de provetes necessários à realização da campanha experimental e os respectivos moldes a utilizar. Na **Tabela A.1.4** e na **Tabela A.1.5**, é apresentada toda a informação relativa aos ensaios que serão feitos aos betões em estado endurecido e as respectivas quantidades de betão.

Por questões de disponibilidade de equipamento e moldes, a produção de betão será dividida em duas fases: a primeira fase (**Tabela A.1.6**) corresponde à produção de todos os provetes necessários à realização de todos os ensaios excepto os ensaios da retracção e fluência e a segunda fase (**Tabela A.1.7**) corresponde à produção de quatro provetes prismáticos para os ensaios da fluência e retracção (nesta fase, produz-se 3 provetes cúbicos para ensaiar à compressão aos 28 dias para aferir aos resultados obtidos na primeira fase).

Da análise das tabelas A.1.4 e A.1.5, pode-se concluir que o volume de betão necessário por amassadura é de 151 dm³ (115 dm³ na primeira fase de produção e 36 dm³ na segunda fase de produção) já considerando uma margem de 20% de perdas (realização dos vários ensaios no estado fresco, enchimento de moldes, etc.).

Uma vez que a capacidade máxima da betoneira a utilizar é de 80 dm³, não é possível realizar toda a amassadura (da primeira fase de produção) de uma só vez (115 dm³), pelo que o volume total será dividido em duas amassaduras de 60 dm³.

Estas amassaduras, apesar de terem exactamente as mesmas quantidades dos vários materiais na sua constituição, nunca serão exactamente iguais. Assim, serão feitos ensaios no estado fresco para ambas as amassaduras, com o objectivo de verificar se as diferenças são significativas e se as suas características no estado fresco são adequadas para um BAC.

A.1.3.2. Composição dos betões

O cálculo da composição dos betões é em tudo semelhante ao cálculo da composição das argamassas. Salienta-se o facto de se tomar o valor de 0,03 m³ para o volume de vazios (V_v) e o valor de 1,82 para o “número de mistura” do método (MN).

Sabendo que $MN = \frac{V_p}{V_s} \times \frac{V_m}{V_g}$ e tendo em conta que o valor de V_p/V_s é fixado em 0,80 para todas as misturas, obtém-se $V_m/V_g = 2,275$.

Tabela A.1.4 - Provetes necessários para os ensaios de betão no estado endurecido (1ª fase de produção)

	Ensaio	Idade (dias)	Provetes			Volume unitário (dm³)	Volume (dm³)
			Número de Amostras	Formato	Dimensões (mm)		
Ensaio mecânicos	Massa volúmica		Fazer antes de ensaiar os cubos à compressão e às mesmas idades				
	Ultra-sons		Fazer antes de ensaiar os cubos à compressão e às mesmas idades				
	Resistência à compressão em cubos e diagramas tensão deformação	7	3	Cúbico	150x150x150	3,38	30,38
		28	3				
		91	3				
	Módulo elasticidade dinâmico	28	2	Cilíndrico	φ150x300	5,30	21,21
		91	2				
	Resistência à compressão em cilindros		Mesmos provetes usados no ensaio do módulo de elasticidade dinâmico e ensaiado às mesmas idades				
Resistência à tracção por compressão diametral	28	2	Cilíndrico	φ150x300	5,30	21,21	
	91	2					
Resistência à abrasão	91	2	Cúbico	100 corte em 2 provetes	1,00	1,00	
Ensaio de durabilidade	Permeabilidade ao oxigénio	28	3	Bolachas	φ150x50 2 moldes φ150x300	5,30	10,60
		91	3				
		182	3				
	Absorção por capilaridade		Mesmos provetes usados no ensaio de permeabilidade ao oxigénio e ensaiado às mesmas idades				
	Absorção por imersão		Mesmos provetes usados no ensaio de permeabilidade ao oxigénio e ensaiado às mesmas idades				
	Resistividade eléctrica	28	3	Bolachas	φ100x50 3 moldes φ100x250	1,96	5,89
91		3					
182		3					
Resistência aos cloretos		Mesmos provetes usados no ensaio da resistividade eléctrica e às mesmas idades					
Resistência à carbonatação (idade começa a contar aos 28 dias, altura em que é colocado na câmara do CO2, assegurar após 7 dias, é realizado o 1º ensaio)	7	3	Bolachas	φ100x40 3 moldes φ100x250	1,96	5,89	
	28	3					
	56	3					
	91	3					
	182	3					
Σ Volume total (dm³)						96	
x 20% erros (dm³)						115	

Tabela A.1.5 - Provete necessários para os ensaios de betão no estado endurecido (1ª fase de produção)

	Ensaio	Idade (dias)	Provetes			Volume unitário (dm³)	Volume (dm³)
			Número de Amostras	Formato	Dimensões (mm)		
Ensaio mecânicos	Cubos	28	3	Cúbico	150x150x150	3,38	10,13
	Retracção	Após 24 horas	2	Prisma	100x100x500	5,00	10,00
	Fluência	Após 28 dias	2	Prisma	100x100x500	5,00	10,00
Σ Volume total (dm³)						30	
x 20% erros (dm³)						36	

Definidos estes parâmetros adicionais, o cálculo processa-se de forma análoga ao cálculo da composição das argamassas. Determina-se ainda os seguintes valores:

$$- V_g, \text{ volume absoluto dos agregados grossos, em m}^3/\text{m}^3, \text{ dado por: } V_g = \frac{1-V_v}{1+\left(\frac{V_m}{V_g}\right)};$$

$$- V_m = \left(\frac{V_m}{V_g}\right) \times V_g$$

Conhecendo todas as características dos materiais, é possível calcular as quantidades por unidade de volume, que são depois multiplicadas pelo volume total de amassadura. Os cálculos das composições dos betões são apresentados na **Tabela A.1.6** e **Tabela A.1.7**.

As quantidades totais de todos os materiais necessários para a realização de toda a campanha experimental, na fase de BAC, são apresentadas na **Tabela A.1.8**.

A.1.3.3. Quantidade de agregado reciclado por fracção granulométrica

A substituição de agregado natural por agregado reciclado será feita em massa por fracção granulométrica, sendo que o objectivo é reconstituir a curva granulométrica da mistura de areias e de britas. Esta análise é feita separadamente para finos e grossos, considerando-se que a última fracção de agregado fino é 4-5,6 mm.

Considera-se que a mistura é sempre feita na mesma proporção, i.e. metade areia fina e metade areia grossa (no caso dos finos), e metade brita 1 e metade brita 2 (no caso dos grossos).

É ainda feita uma comparação da curva real da mistura de areias e de britas com as curvas de referência obtidas por Nepomuceno no seu trabalho, com o objectivo de verificar se não existem desvios significativos. O cálculo das curvas granulométricas é apresentado na **Tabela A.1.9**, ilustrando-se na **Figura A.1.2** a proximidade entre as mesmas.

As quantidades de AR por fracção granulométrica, para cada amassadura, são obtidas efectuando-se para a curva da mistura o processo inverso ao utilizado para a obtenção das curvas granulométricas. Assim, partindo das percentagens de material acumulado passado fornecidas pela curva de referência de Nepomuceno, calcula-se as percentagens de material retido acumulado e, finalmente, as percentagens de material retido em cada peneiro. Multiplicando estas percentagens pela quantidade total de AR necessário para cada amassadura, obtém-se a quantidade de AR necessária por fracção granulométrica, apresentadas na **Tabela A.1.10**. À água de amassadura prevista pelo método, foi necessário somar a água de absorção dos agregados reciclados, que é bastante superior à dos agregados naturais. Este valor foi obtido através do ensaio de absorção de água ao longo do tempo, tendo-se considerado para efeitos de cálculo o valor da absorção aos 10

minutos, por ser este o tempo médio de duração de uma amassadura.

Tabela A.1.6 - Cálculo das quantidades de amassadura (1ª fase de produção de betão)

Identificação do betão:		100% AN	25% AR	50% AR	100% AGR	100% AFR	100% AR	
Parâmetros da composição	$D_{máx}$ [mm] =	16	16	16	16	16	16	
	MN =	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	
	V_m/V_g =	2,275	2,275	2,275	2,275	2,275	2,275	
	V_v [m³] =	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	
	Mistura de agregados: Brita 1 =	0,50	0,375	0,25	0	0,50	0	
	Brita 2 =	0,50	0,375	0,25	0	0,50	0	
	AGR =	0	0,25	0,50	1	0	1	
Cálculos auxiliares	$d_{p(C+CV+FC)}$ [kg/m³] =	2906,00	2906,00	2906,00	2906,00	2906,00	2906,00	
	SIKAPLAST 898 $V_{sp}/V_{p(C+CV+FC)}$ m³/m³ =	0,033134	0,033134	0,033134	0,033134	0,033134	0,033134	
	Agregado grosso V_g m³/m³ =	0,296183	0,296183	0,296183	0,296183	0,296183	0,296183	
	Argamassa V_m m³/m³ =	0,673817	0,673817	0,673817	0,673817	0,673817	0,673817	
	Material fino (C+CV+FC) $V_{p(C+CV+FC)}$ m³/m³ =	0,210362	0,210362	0,210362	0,210362	0,210362	0,210362	
	Material fino (C) $V_{p(C)}$ m³/m³ =	0,136735	0,136735	0,136735	0,136735	0,136735	0,136735	
	Material fino (SF) $V_{p(SF)}$ m³/m³ =	0,013674	0,013674	0,013674	0,013674	0,013674	0,013674	
	Material fino (Total) V_p m³/m³ =	0,224035	0,224035	0,224035	0,224035	0,224035	0,224035	
	Água V_w m³/m³ =	0,193533	0,193533	0,193533	0,193533	0,193533	0,193533	
	Superplast. V_{sp} m³/m³ =	0,006970	0,006970	0,006970	0,006970	0,006970	0,006970	
	Agregado fino V_s m³/m³ =	0,249279	0,249279	0,249279	0,249279	0,249279	0,249279	
	V_s/V_m m³/m³ =	0,369950	0,369950	0,369950	0,369950	0,369950	0,369950	
Quantidades teóricas para 1 m³	Adição	Cimento [kg] =	437,55	437,55	437,55	437,55	437,55	437,55
		CV [kg] =	145,15	145,15	145,15	145,15	145,15	145,15
		FC [kg] =	28,61	28,61	28,61	28,61	28,61	28,61
		SF [kg] =	27,48	27,48	27,48	27,48	27,48	27,48
		S _p Litros =	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97
		S _p [kg] =	7,46	7,46	7,46	7,46	7,46	7,46
		Água Litros =	193,53	193,53	193,53	193,53	193,53	193,53
		Areia 0,2 [kg] =	162,03	121,52	81,02	162,03	0,00	0,00
		Areia 0,4 [kg] =	484,22	363,17	242,11	484,22	0,00	0,00
		AFR [kg] =	0	145	290	0	581	581
		Agregados Finos Total [kg] =	646,25	629,90	613,54	646,25	580,82	580,82
	Adições	Brita 1 [kg] =	389,48	292,11	194,74	0,00	389,48	0,00
		Brita 2 [kg] =	398,37	298,77	199,18	0,00	398,37	0,00
		AGR [kg] =	0	184	369	737	0	737
		Cimento [m³] =	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137
		CV [m³] =	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
		FC [m³] =	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
		SF [m³] =	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
		S _p [m³] =	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
		Água [m³] =	0,194	0,194	0,194	0,194	0,194	0,194
		Areia 0,2 [m³] =	0,062	0,047	0,031	0,062	0,000	0,000
		Areia 0,4 [m³] =	0,187	0,140	0,093	0,187	0,000	0,000
	AFR [m³] =	0	0	0	0	0	0	
	Brita 1 [m³] =	0,148	0,111	0,074	0,000	0,148	0,000	
	Brita 2 [m³] =	0,148	0,111	0,074	0,000	0,148	0,000	
	AGR [m³] =	0	0	0	0	0	0	
	Total =	1	1	1	1	1	1	
W/C =	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442		
W/C máx =	0,462	0,462	0,462	0,462	0,462	0,462		
W/C mín =	0,422	0,422	0,422	0,422	0,422	0,422		
W/MC =	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317		
W/F =	0,303	0,303	0,303	0,303	0,303	0,303		
As% =	61,99%	62,07%	62,15%	63,54%	60,75%	62,32%		
Massa Total [kg] =	2246,40	2217,46	2188,51	2196,05	2180,97	2130,62		
Correcção das quantidades de água e agregado	Humidade [l/m³] =	0,43	5,02	9,60	7,94	11,27	18,78	
	Água de absorção naturais [l/m³] =	11,73	8,80	5,86	2,59	9,14	0,00	
	Água de absorção ARF [l/m³] =	0	7	13	0	27	27	
	Água de absorção ARG [l/m³] =	0	4	8	16	16	16	
	Água total [l/m³] =	205,26	213,06	220,85	212,31	229,39	236,44	
	Água de amassadura [l/m³] =	204,83	208,04	211,25	204,37	218,12	217,66	
	Areia 0,2 [kg] =	161,48	121,11	80,74	161,48	0,00	0,00	
	Areia 0,4 [kg] =	482,38	361,79	241,19	482,38	0,00	0,00	
	ARF [kg] =	0	141	283	0	565	565	
	Brita 1 [kg] =	383,56	287,67	191,78	0,00	383,56	0,00	
	Brita 2 [kg] =	395,38	296,53	197,69	0,00	395,38	0,00	
	ARG [kg] =	0	182	365	729	0	729	
	Quantidades para:	120 [Litros]	Cimento [kg] =	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5
		Adições	CV [kg] =	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4
FC [kg] =			3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	
SF [kg] =			3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	
S _p Litros =			0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
S _p [g] =			895,0	895,0	895,0	895,0	895,0	
Total Litros =			24,6	25,0	25,3	24,5	26,2	
Água		10% Litros =	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	
		65% Litros =	16,0	16,2	16,5	15,9	17,0	
		65% _{cr mín} Litros =	14,9	1,4	1,5	1,4	1,6	
		25% Litros =	6,1	6,2	6,3	6,1	6,5	
	Total máx Litros =	25,6	26,0	26,4	25,6	27,2		
	Total mín Litros =	23,5	23,9	24,3	23,5	25,1		
Var (%) Litros =	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1			
Areia 0,2 [kg] =	19,4	14,5	9,7	19,4	0,0			
Areia 0,4 [kg] =	57,9	43,4	28,9	57,9	0,0			
ARF [kg] =	0,0	17,0	33,9	0,0	67,8			
Brita 1 [kg] =	46,0	34,5	23,0	0,0	46,0			
Brita 2 [kg] =	47,4	35,6	23,7	0,0	47,4			
ARG [kg] =	0,0	21,9	43,7	87,5	0,0			

Tabela A.1.7 - Cálculo das quantidades de amassadura (2ª fase de produção de betão)

Identificação do betão:		100% AN	25% AR	50% AR	100% AGR	100% AFR	100% AR		
Parâmetros da composição	$D_{máx}$ [mm] =	16	16	16	16	16	16		
	MN =	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82		
	V_m/V_g =	2,275	2,275	2,275	2,275	2,275	2,275		
	V_v [m³] =	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030		
	Mistura de agregados: Brita 1 =	0,50	0,375	0,25	0	0,50	0		
	Brita 2 =	0,50	0,375	0,25	0	0,50	0		
	AGR =	0	0,25	0,50	1	0	1		
Cálculos auxiliares	$d_{p(C+CV+FC)}$ [kg/m³] =	2906,00	2906,00	2906,00	2906,00	2906,00	2906,00		
	SIKAPLAST 898 $V_{sp}/V_{p(C+CV+FC)}$ m³/m³ =	0,033134	0,033134	0,033134	0,033134	0,033134	0,033134		
	Agregado grosso V_g m³/m³ =	0,296183	0,296183	0,296183	0,296183	0,296183	0,296183		
	Argamassa V_m m³/m³ =	0,673817	0,673817	0,673817	0,673817	0,673817	0,673817		
	Material fino (C+CV+FC) $V_{p(C+CV+FC)}$ m³/m³ =	0,210362	0,210362	0,210362	0,210362	0,210362	0,210362		
	Material fino (C) $V_{p(C)}$ m³/m³ =	0,136735	0,136735	0,136735	0,136735	0,136735	0,136735		
	Material fino (SF) $V_{p(SF)}$ m³/m³ =	0,013674	0,013674	0,013674	0,013674	0,013674	0,013674		
	Material fino (Total) V_p m³/m³ =	0,224035	0,224035	0,224035	0,224035	0,224035	0,224035		
	Água V_w m³/m³ =	0,193533	0,193533	0,193533	0,193533	0,193533	0,193533		
	Superplast. V_{sp} m³/m³ =	0,006970	0,006970	0,006970	0,006970	0,006970	0,006970		
	Agregado fino V_s m³/m³ =	0,249279	0,249279	0,249279	0,249279	0,249279	0,249279		
	V_s/V_m m³/m³ =	0,369950	0,369950	0,369950	0,369950	0,369950	0,369950		
Quantidades teóricas para 1 m³	Adição	Cimento [kg] =	437,55	437,55	437,55	437,55	437,55	437,55	
		CV [kg] =	145,15	145,15	145,15	145,15	145,15	145,15	
		FC [kg] =	28,61	28,61	28,61	28,61	28,61	28,61	
		SF [kg] =	27,48	27,48	27,48	27,48	27,48	27,48	
		S _p Litros =	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	
		S _p [kg] =	7,46	7,46	7,46	7,46	7,46	7,46	
		Água Litros =	193,53	193,53	193,53	193,53	193,53	193,53	
		Areia 0,2 [kg] =	162,03	121,52	81,02	162,03	0,00	0,00	
		Areia 0,4 [kg] =	484,22	363,17	242,11	484,22	0,00	0,00	
		AFR [kg] =	0	145	290	0	581	581	
	Agregados Finos Total [kg] =	646,25	629,90	613,54	646,25	580,82	580,82		
	Volume Real	Adições	Brita 1 [kg] =	389,48	292,11	194,74	0,00	389,48	0,00
			Brita 2 [kg] =	398,37	298,77	199,18	0,00	398,37	0,00
			AGR [kg] =	0	184	369	737	0	737
			Cimento [m³] =	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137
			CV [m³] =	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
			FC [m³] =	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
			SF [m³] =	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
			S _p [m³] =	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
			Água [m³] =	0,194	0,194	0,194	0,194	0,194	0,194
			Areia 0,2 [m³] =	0,062	0,047	0,031	0,062	0,000	0,000
	Areia 0,4 [m³] =	0,187	0,140	0,093	0,187	0,000	0,000		
	AFR [m³] =	0	0	0	0	0	0		
	Brita 1 [m³] =	0,148	0,111	0,074	0,000	0,148	0,000		
	Brita 2 [m³] =	0,148	0,111	0,074	0,000	0,148	0,000		
	AGR [m³] =	0	0	0	0	0	0		
	Total =	1	1	1	1	1	1		
	W/C =	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442		
W/C máx =	0,462	0,462	0,462	0,462	0,462	0,462			
W/C mín =	0,422	0,422	0,422	0,422	0,422	0,422			
W/MC =	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317			
W/F =	0,303	0,303	0,303	0,303	0,303	0,303			
As% =	61,99%	62,07%	62,15%	63,54%	60,75%	62,32%			
Massa Total [kg] =	2246,40	2217,46	2188,51	2196,05	2180,97	2130,62			
Correcção das quantidades de água e agregado	Humidade [l/m³] =	0,43	5,02	9,60	7,94	11,27	18,78		
	Água de absorção naturais [l/m³] =	11,73	8,80	5,86	2,59	9,14	0,00		
	Água de absorção ARF [l/m³] =	0	7	13	0	27	27		
	Água de absorção ARG [l/m³] =	0	4	8	16	16	16		
	Água total [l/m³] =	205,26	213,06	220,85	212,31	229,39	236,44		
	Água de amassadura [l/m³] =	204,83	208,04	211,25	204,37	218,12	217,66		
	Areia 0,2 [kg] =	161,48	121,11	80,74	161,48	0,00	0,00		
	Areia 0,4 [kg] =	482,38	361,79	241,19	482,38	0,00	0,00		
	ARF [kg] =	0	141	283	0	565	565		
	Brita 1 [kg] =	383,56	287,67	191,78	0,00	383,56	0,00		
	Brita 2 [kg] =	395,38	296,53	197,69	0,00	395,38	0,00		
	ARG [kg] =	0	182	365	729	0	729		
Quantidades para:	40 [Litros]	Adições	Cimento [kg] =	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	
			CV [kg] =	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	
			FC [kg] =	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
			SF [kg] =	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
			S _p Litros =	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
			S _p [g] =	298,3	298,3	298,3	298,3	298,3	
	Água	Total Litros =	8,2	8,3	8,4	8,2	8,7		
		10% Litros =	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9		
		65% Litros =	5,3	5,4	5,5	5,3	5,7		
		65% _{cr mín} Litros =	5,0	0,5	0,5	0,5	0,5		
		25% Litros =	2,0	2,1	2,1	2,0	2,2		
		Total máx Litros =	8,5	8,7	8,8	8,5	9,1		
Total mín Litros =	7,8	8,0	8,1	7,8	8,4				
Var (%) Litros =	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4				
Areia 0,2 [kg] =	6,5	4,8	3,2	6,5	0,0	0,0			
Areia 0,4 [kg] =	19,3	14,5	9,6	19,3	0,0	0,0			
ARF [kg] =	0,0	5,7	11,3	0,0	22,6	22,6			
Brita 1 [kg] =	15,3	11,5	7,7	0,0	15,3	0,0			
Brita 2 [kg] =	15,8	11,9	7,9	0,0	15,8	0,0			
ARG [kg] =	0,0	7,3	14,6	29,2	0,0	29,2			

Tabela A.1.8 - Quantidades totais de todos os materiais necessários para a 3ª fase (1ª e 2ª fase de produção de betão)

Material	Quantidades	Quantidades majoradas (x1,5)
Cimento (g)	420	630
Cinzas volantes (g)	139	209
Fíler calcário (g)	27	41
Sílica de fumo	26	40
Areia 0/2 (g)	84	126
Areia 0/4 (g)	251	376
Agregado reciclado	974	1462
Superplastificante (g)	7160	10740
Água (l)	202	303

Tabela A.1.9 - Curva granulométrica da mistura de areias e curva de referência

PENEIROS		BRITA 1	BRITA 2	MISTURA DE AGREGADO			
SÉRIE	ABERT. [mm]	% Passado acumulado	% Passado acumulado	BRITA 1	BRITA 2	CURVA REAL	CURVA DE REFERÊNCIA
				0,5	0,5		
Base	63	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
1	45	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
Base	31,5	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
1	22,4	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
Base	16	100,00%	94,42%	50,00%	47,21%	97,21%	100,00%
1	11,2	96,44%	23,97%	48,22%	11,99%	60,21%	100,00%
Base	8	67,12%	1,15%	33,56%	0,57%	34,14%	59,56%
1	5,6	14,48%	0,00%	7,24%	0,00%	7,24%	44,21%
Base	4	1,02%	0,00%	0,51%	0,00%	0,51%	26,36%
Base	2	0,02%	0,00%	0,01%	0,00%	0,01%	5,99%
Base	1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,24%
Base	0,5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,31%
Base	0,25	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,79%
Base	0,125	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,50%
Base	0,063	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,28%

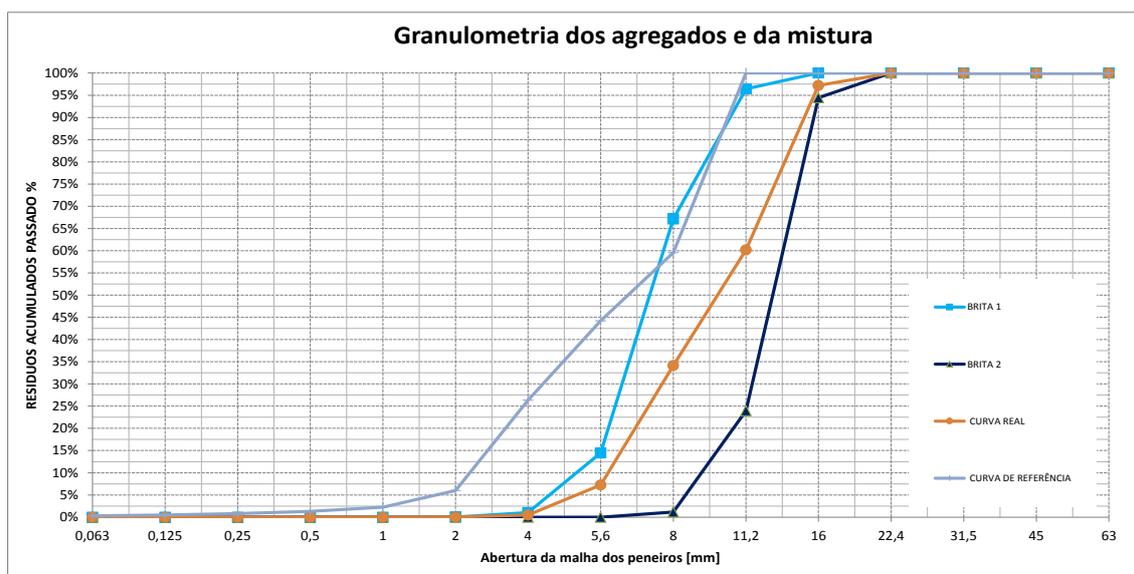


Figura A.1.2 - Curva granulométrica da mistura de britas e curva de referência

Tabela A.1.10 - Quantidades totais de AR necessárias, por fracção (1ª e 2ª fase de produção de betão)

Fracção	Quantidades	Quantidades majoradas (x1,3) (kg)
16 a 22,4	9	12
11,2 a 16	119	154
8 a 11,2	84	109
5,6 a 8	110	142
4 a 5,6	3	4
2 a 4	17	22
1 a 2	56	73
0,500 a 1	82	107
0,250 a 0,500	74	96
0 a 0,250	17	22

Anexo A.2 - Plano de betonagens detalhado correspondente à 2ª, 3ª e 4ª fases

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	23/03/2015	Estudo em argamassas (ajustar os parâmetros da mistura de BAC)					
Terça	24/03/2015						
Quarta	25/03/2015						
Quinta	26/03/2015	Estudo em betões (Produção de 4 BAC: nº1-400 kg/m³ de CEM 52,5 com 10% de SF; nº2-450 kg/m³ de CEM 52,5 com 10% de SF; nº3-400 kg/m³ de CEM 52,5 com 15% de SF; nº4-450 kg/m³ de CEM 52,5 com 15% de SF)					
Sexta	27/03/2015						
Sábado	28/03/2015						
Domingo	29/03/2015						
Segunda	30/03/2015						
Terça	31/03/2015						
Quarta	01/04/2015						
Quinta	02/04/2015	<i>Ensaio de resistência à compressão em cubos aos 7 dias de idade do BAC: 4 betões experimentais</i>					
Sexta	03/04/2015						
Sábado	04/04/2015						
Domingo	05/04/2015						
Segunda	06/04/2015						
Terça	07/04/2015						
Quarta	08/04/2015						
Quinta	09/04/2015						
Sexta	10/04/2015						
Sábado	11/04/2015						
Domingo	12/04/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	13/04/2015	Betonagem. Moldes a usar: - 12 cubos (150x150x150) - 1 cubo (100x100x100) - 12 cilindros (Φ150x300) - 6 cilindros (Φ100x250)					
Terça	14/04/2015	Desmoldar, identificar e colocar todos os provetes na câmara húmida	Betonagem. Moldes a usar: - 12 cubos (150x150x150) - 1 cubo (100x100x100) - 12 cilindros (Φ150x300) - 6 cilindros (Φ100x250)				
Quarta	15/04/2015		Desmoldar, identificar e colocar todos os provetes na câmara húmida				
Quinta	16/04/2015						
Sexta	17/04/2015						
Sábado	18/04/2015						
Domingo	19/04/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	20/04/2015	Ensaio aos 7 dias de idade do BAC: - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 1, 2, 3); - Cortes dos provetes		Betonagem. Moldes a usar: - 12 cubos (150x150x150) - 1 cubo (100x100x100) - 12 cilindros (Φ150x300) - 6 cilindros (Φ100x250)			
Terça	21/04/2015			Desmoldar, identificar e colocar todos os provetes na câmara húmida	Betonagem. Moldes a usar: - 12 cubos (150x150x150) - 1 cubo (100x100x100) - 12 cilindros (Φ150x300) - 6 cilindros (Φ100x250)		
Quarta	22/04/2015				Desmoldar, identificar e colocar todos os provetes na câmara húmida		
Quinta	23/04/2015						
Sexta	24/04/2015						
Sábado	25/04/2015						
Domingo	26/04/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	27/04/2015			Ensaio aos 7 dias de idade do BAC: - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 1, 2, 3); - Cortes dos provetes		Betonagem. Moldes a usar: - 12 cubos (150x150x150) - 1 cubo (100x100x100) - 12 cilindros (Φ150x300) - 6 cilindros (Φ100x250)	
Terça	28/04/2015	- Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade na estufa de 40±5°C (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes para o ensaio da resistência à carbonatação na câmara seca a 50% de HR e 20±2 °C				Desmoldar, identificar e colocar todos os provetes na câmara húmida	Betonagem. Moldes a usar: - 12 cubos (150x150x150) - 1 cubo (100x100x100) - 12 cilindros (Φ150x300) - 6 cilindros (Φ100x250)
Quarta	29/04/2015						Desmoldar, identificar e colocar todos os provetes na câmara húmida
Quinta	30/04/2015						
Sexta	01/05/2015						
Sábado	02/05/2015						
Domingo	03/05/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	04/05/2015	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio na estufa de $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes do ensaio da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca a 50% de HR e $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 1, 2, 3); - Retirar os provetes do ensaio da resistência à carbonatação da câmara seca e pintar (1ª camada de tinta) 				<p>Ensaio aos 7 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 1, 2, 3); - Cortes dos provetes 	
Terça	05/05/2015	<ul style="list-style-type: none"> - Pintar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação (2ª camada de tinta) 		<ul style="list-style-type: none"> - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade na estufa de $40\pm 5^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes para o ensaio da resistência à carbonatação na câmara seca a 50% de HR e $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 			
Quarta	06/05/2015						
Quinta	07/05/2015						
Sexta	08/05/2015	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara seca 					
Sábado	09/05/2015						
Domingo	10/05/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	11/05/2015	<p>Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistência à tracção por compressão diametral (provetes nº 1, 2); - Rectificar provetes para o ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 1, 2); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio no exsicador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade no exsicador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes da resistividade eléctrica e cloretos em vácuo e introduzir solução saturada de hidróxido de cálcio (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara de CO₂. 		<ul style="list-style-type: none"> - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio na estufa de 105±5°C (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes do ensaio da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca a 50% de HR e 20±2 °C (provetes nº 1, 2, 3); - Retirar os provetes do ensaio da resistência à carbonatação da câmara seca e pintar (1ª camada de tinta) 			
Terça	12/05/2015	<p>Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iniciar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio de resistividade eléctrica (provetes nº 1, 2, 3); - Iniciar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3) 		<ul style="list-style-type: none"> - Pintar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação (2ª camada de tinta) 		<ul style="list-style-type: none"> - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade na estufa de 40±5°C (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes para o ensaio da resistência à carbonatação na câmara seca a 50% de HR e 20±2 °C 	
Quarta	13/05/2015	<p>Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terminar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3) 					
Quinta	14/05/2015	<p>Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 1, 2); 					
Sexta	15/05/2015	<p>Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (provetes nº 1, 2, 3); - Terminar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 1, 2, 3); - Iniciar o ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio de resistência à compressão em cilindros (provetes nº 1, 2) 		<ul style="list-style-type: none"> - Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara seca 			
Sábado	16/05/2015						
Domingo	17/05/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	18/05/2015	- Ensaio de resistência à carbonatação, 7 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 1, 2, 3)		Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC: - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistência à tracção por compressão diametral (provetes nº 1, 2); - Rectificar provetes para o ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 1, 2); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio no exsicador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade no exsicador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes da resistividade eléctrica e cloretos em vácuo e introduzir solução saturada de hidróxido de cálcio (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara de CO ₂ .		- Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio na estufa de 105±5°C (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes do ensaio da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca a 50% de HR e 20±2 °C (provetes nº 1, 2, 3); - Retirar os provetes do ensaio da resistência à carbonatação da câmara seca e pintar (1ª camada de tinta)	
Terça	19/05/2015			Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC: - Iniciar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio de resistividade eléctrica (provetes nº 1, 2, 3); - Iniciar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3)		- Pintar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação (2ª camada de tinta)	
Quarta	20/05/2015			Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC: - Terminar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3)			
Quinta	21/05/2015	- Avaliar a massa saturada dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3)		Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC: - Ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 1, 2);			
Sexta	22/05/2015	- Avaliar a massa saturada e hidrostática dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão e colocar na estufa de 105±5°C (provetes nº 1, 2, 3)		Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC: - Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (provetes nº 1, 2, 3); - Terminar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 1, 2, 3); - Iniciar o ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio de resistência à compressão em cilindros (provetes nº 1, 2)		- Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara seca	
Sábado	23/05/2015						
Domingo	24/05/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	25/05/2015			- Ensaio de resistência à carbonatação, 7 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 1, 2, 3)		<p>Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistência à tracção por compressão diametral (provetes nº 1, 2); - Rectificar provetes para o ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 1, 2); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio no exsiccador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade no exsiccador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes da resistividade eléctrica e cloretos em vácuo e introduzir solução saturada de hidróxido de cálcio (provetes nº 1, 2, 3); - Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara de CO₂. 	
Terça	26/05/2015					<p>Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iniciar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio de resistividade eléctrica (provetes nº 1, 2, 3); - Iniciar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3) 	
Quarta	27/05/2015					<p>Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terminar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3) 	
Quinta	28/05/2015			- Avaliar a massa saturada dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3)		<p>Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 1, 2); 	
Sexta	29/05/2015			- Avaliar a massa saturada e hidrostática dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão e colocar na estufa de 105±5°C (provetes nº 1, 2, 3)		<p>Ensaaios aos 28 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (provetes nº 1, 2, 3); - Terminar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 1, 2, 3); - Iniciar o ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3); - Ensaio de resistência à compressão em cilindros (provetes nº 1, 2) 	
Sábado	30/05/2015						
Domingo	31/05/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	01/06/2015					- Ensaio de resistência à carbonatação, 7 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 1, 2, 3)	
Terça	02/06/2015						
Quarta	03/06/2015						
Quinta	04/06/2015					- Avaliar a massa saturada dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3)	
Sexta	05/06/2015					- Avaliar a massa saturada e hidrostática dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão e colocar na estufa de 105±5°C (provetes nº 1, 2, 3)	
Sábado	06/06/2015						
Domingo	07/06/2015						
Segunda	08/06/2015	- Ensaio de resistência à carbonatação, 28 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 4, 5, 6)					
Terça	09/06/2015	Betonagem (2ª fase). Moldes a usar: - 3 cubos (150x150x150) - 4 prismas (100x100x100)					
Quarta	10/06/2015	- Desmoldar, identificar e colocar os provetes na câmara seca - Iniciar o ensaio da retracção		Betonagem (2ª fase). Moldes a usar: - 3 cubos (150x150x150) - 4 prismas (100x100x100)			
Quinta	11/06/2015	- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3)				Betonagem (2ª fase). Moldes a usar: - 3 cubos (150x150x150) - 4 prismas (100x100x100)	
Sexta	12/06/2015	- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3)					
Sábado	13/06/2015						
Domingo	14/06/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	15/06/2015			- Ensaio de resistência à carbonatação, 28 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 4, 5, 6)			
Terça	16/06/2015	- Ensaio de resistência à compressão em cubos (betonagem de provetes para o ensaio da fluência e retração); - Rectificar os provetes do ensaio da fluência (guardar as sobras do provete)					
Quarta	17/06/2015			- Desmoldar, identificar e colocar os provetes na câmara seca - Iniciar o ensaio da retração			
Quinta	18/06/2015			- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3)			
Sexta	19/06/2015			- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3)			
Sábado	20/06/2015						
Domingo	21/06/2015						
Segunda	22/06/2015					- Ensaio de resistência à carbonatação, 28 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 4, 5, 6)	
Terça	23/06/2015			- Ensaio de resistência à compressão em cubos (betonagem de provetes para o ensaio da fluência e retração); - Rectificar os provetes do ensaio da fluência (guardar as sobras do provete)			
Quarta	24/06/2015					- Desmoldar, identificar e colocar os provetes na câmara seca - Iniciar o ensaio da retração	
Quinta	25/06/2015					- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3)	
Sexta	26/06/2015					- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 1, 2, 3)	
Sábado	27/06/2015						
Domingo	28/06/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	29/06/2015	- Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade na estufa de 40±5°C (provetes nº 4, 5, 6);					
Terça	30/06/2015					- Ensaio de resistência à compressão em cubos (betonagem de provetes para o ensaio da fluência e retracção); - Rectificar os provetes do ensaio da fluência (guardar as sobras do provete)	
Quarta	01/07/2015						
Quinta	02/07/2015						
Sexta	03/07/2015	Preparar os provetes para o ensaio da fluência: corte, capeamento, e colocar pinos					
Sábado	04/07/2015						
Domingo	05/07/2015						
Segunda	06/07/2015	- Ensaio de resistência à carbonatação, 56 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio na estufa de 105±5°C (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes do ensaio da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca a 50% de HR e 20±2 °C (provetes nº 4, 5, 6);		- Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade na estufa de 40±5°C (provetes nº 4, 5, 6);			
Terça	07/07/2015						
Quarta	08/07/2015						
Quinta	09/07/2015	Desmontar o ensaio da fluência antigo e montar novo ensaio					
Sexta	10/07/2015						
Sábado	11/07/2015						
Domingo	12/07/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	13/07/2015	<p>Ensaaios aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio de resistência à tracção por compressão diametral (provetes nº 3, 4); - Rectificar provetes para o ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 3, 4); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio no exsiccador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade no exsiccador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes da resistividade eléctrica e cloretos em vácuo e introduzir solução saturada de hidróxido de cálcio (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara de CO₂. 		<ul style="list-style-type: none"> - Ensaio de resistência à carbonatação, 56 dias após estar na câmara do CO₂ (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio na estufa de 105±5°C (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes do ensaio da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca a 50% de HR e 20±2 °C (provetes nº 4, 5, 6); 		<ul style="list-style-type: none"> - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade na estufa de 40±5°C (provetes nº 4, 5, 6); 	
Terça	14/07/2015	<p>Ensaaios aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iniciar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistividade eléctrica (provetes nº 4, 5, 6); - Iniciar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 4, 5, 6) 					
Quarta	15/07/2015	<p>Ensaaios aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terminar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3) 					
Quinta	16/07/2015	<p>Ensaaios aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 4, 5); 					
Sexta	17/07/2015	<p>Ensaaios aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (provetes nº 4, 5, 6); - Terminar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 4, 5, 6); - Iniciar o ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistência à compressão em cilindros (provetes nº 3, 4) 					
Sábado	18/07/2015						
Domingo	19/07/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	20/07/2015			<p>Ensaaios aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio de resistência à tracção por compressão diametral (provetes nº 3, 4); - Rectificar provetes para o ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 3, 4); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio no exsicador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade no exsicador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes da resistividade eléctrica e cloretos em vácuo e introduzir solução saturada de hidróxido de cálcio (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara de CO₂. 		<ul style="list-style-type: none"> - Ensaio de resistência à carbonatação, 56 dias após estar na câmara do CO₂ (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio na estufa de 105±5°C (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes do ensaio da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca a 50% de HR e 20±2 °C (provetes nº 4, 5, 6); 	
Terça	21/07/2015			<p>Ensaaios aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iniciar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistividade eléctrica (provetes nº 4, 5, 6); - Iniciar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 4, 5, 6) 			
Quarta	22/07/2015			<p>Ensaaios aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terminar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3) 			
Quinta	23/07/2015			<p>Ensaaios aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avaliar a massa saturada dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6) - Ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 4, 5); 			
Sexta	24/07/2015			<p>Ensaaios aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avaliar a massa saturada e hidrostática dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão e colocar na estufa de 105±5°C (provetes nº 1, 2, 3) - Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (provetes nº 4, 5, 6); - Terminar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 4, 5, 6); - Iniciar o ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistência à compressão em cilindros (provetes nº 3, 4) 			
Sábado	25/07/2015						
Domingo	26/07/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	27/07/2015					<p>Ensaíos aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio de resistência à tracção por compressão diametral (provetes nº 3, 4); - Rectificar provetes para o ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 3, 4); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio no exsiccador a uma temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade no exsiccador a uma temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes da resistividade eléctrica e cloretos em vácuo e introduzir solução saturada de hidróxido de cálcio (provetes nº 4, 5, 6); - Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara de CO_2. 	
Terça	28/07/2015					<p>Ensaíos aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iniciar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistividade eléctrica (provetes nº 4, 5, 6); - Iniciar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 4, 5, 6) 	
Quarta	29/07/2015					<p>Ensaíos aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terminar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3) 	
Quinta	30/07/2015				- Avaliar a massa saturada dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6)	<p>Ensaíos aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio do módulo de elasticidade (provetes nº 4, 5); 	
Sexta	31/07/2015				- Avaliar a massa saturada e hidrostática dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão e colocar na estufa de $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 1, 2, 3)	<p>Ensaíos aos 91 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (provetes nº 4, 5, 6); - Terminar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 4, 5, 6); - Iniciar o ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6); - Ensaio de resistência à compressão em cilindros (provetes nº 3, 4) 	
Sábado	01/08/2015						
Domingo	02/08/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	03/08/2015						
Terça	04/08/2015						
Quarta	05/08/2015						
Quinta	06/08/2015						- Avaliar a massa saturada dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6)
Sexta	07/08/2015						- Avaliar a massa saturada e hidrostática dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão e colocar na estufa de 105±5°C (provetes nº 1, 2, 3)
Sábado	08/08/2015						
Domingo	09/08/2015						
Segunda	10/08/2015	- Ensaio de resistência à carbonatação, 91 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 10, 11, 12)					
Terça	11/08/2015						
Quarta	12/08/2015						
Quinta	13/08/2015	- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6)					
Sexta	14/08/2015	- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6)					
Sábado	15/08/2015						
Domingo	16/08/2015						
Segunda	17/08/2015	- Ensaio de resistência à carbonatação, 91 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 10, 11, 12)					
Terça	18/08/2015						
Quarta	19/08/2015						
Quinta	20/08/2015	- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6)					
Sexta	21/08/2015	- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6)					
Sábado	22/08/2015						
Domingo	23/08/2015						
Segunda	24/08/2015	- Ensaio de resistência à carbonatação, 91 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 10, 11, 12)					
Terça	25/08/2015						
Quarta	26/08/2015						
Quinta	27/08/2015	- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6)					
Sexta	28/08/2015	- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6)					

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	28/09/2015	- Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade na estufa de 40±5°C (provetes nº 7, 8, 9);					
Terça	29/09/2015						
Quarta	30/09/2015						
Quinta	01/10/2015						
Sexta	02/10/2015						
Sábado	03/10/2015						
Domingo	04/10/2015						
Segunda	05/10/2015	- Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio na estufa de 105±5°C (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio da resistência eléctrica e cloretos na câmara seca a 50% de HR e 20±2 °C (provetes nº 7, 8, 9);		- Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade na estufa de 40±5°C (provetes nº 7, 8, 9);			
Terça	06/10/2015						
Quarta	07/10/2015						
Quinta	08/10/2015						
Sexta	09/10/2015						
Sábado	10/10/2015						
Domingo	11/10/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	12/10/2015	<p>Ensaaios aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 10, 11, 12); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 10, 11, 12); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 10, 11, 12); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio no exsiccador a uma temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade no exsiccador a uma temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes da resistividade eléctrica e cloretos em vácuo e introduzir solução saturada de hidróxido de cálcio (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara de CO_2. 		<ul style="list-style-type: none"> - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio na estufa de $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca a 50% de HR e $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 7, 8, 9); 		<ul style="list-style-type: none"> - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade na estufa de $40\pm 5^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 7, 8, 9); 	
Terça	13/10/2015	<p>Ensaaios aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iniciar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio de resistividade eléctrica (provetes nº 7, 8, 9); - Iniciar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 7, 8, 9); 					
Quarta	14/10/2015	<p>Ensaaios aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terminar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3); 					
Quinta	15/10/2015						
Sexta	16/10/2015	<p>Ensaaios aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (provetes nº 4, 5, 6); - Terminar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 4, 5, 6); - Iniciar o ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6); 					
Sábado	17/10/2015						
Domingo	18/10/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	19/10/2015			<p>Ensaaios aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 10, 11, 12); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 10, 11, 12); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 10, 11, 12); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio no exsiccador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade no exsiccador a uma temperatura de 20±2°C (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes da resistividade eléctrica e cloretos em vácuo e introduzir solução saturada de hidróxido de cálcio (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara de CO₂. 		<ul style="list-style-type: none"> - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio na estufa de 105±5°C (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca a 50% de HR e 20±2°C (provetes nº 7, 8, 9); 	
Terça	20/10/2015			<p>Ensaaios aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iniciar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio de resistividade eléctrica (provetes nº 7, 8, 9); - Iniciar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 7, 8, 9); 			
Quarta	21/10/2015			<p>Ensaaios aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terminar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3); 			
Quinta	22/10/2015	- Avaliar a massa saturada dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 7, 8, 9)					
Sexta	23/10/2015	- Avaliar a massa saturada e hidrostática dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão e colocar na estufa de 105±5°C (provetes nº 1, 2, 3)		<p>Ensaaios aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (provetes nº 4, 5, 6); - Terminar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 4, 5, 6); - Iniciar o ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6); 			
Sábado	24/10/2015						
Domingo	25/10/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	26/10/2015					<p>Ensaio aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio para avaliar a massa volúmica (provetes nº 10, 11, 12); - Ensaio da velocidade de propagação de ultra-sons (provetes nº 10, 11, 12); - Ensaio de resistência à compressão em cubos (provetes nº 10, 11, 12); - Colocar os provetes do ensaio da permeabilidade ao oxigénio no exsiccador a uma temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio da absorção de água por capilaridade no exsiccador a uma temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes da resistividade eléctrica e cloretos em vácuo e introduzir solução saturada de hidróxido de cálcio (provetes nº 7, 8, 9); - Colocar os provetes do ensaio de resistência à carbonatação na câmara de CO_2. 	
Terça	27/10/2015					<p>Ensaio aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iniciar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 7, 8, 9); - Ensaio de resistividade eléctrica (provetes nº 7, 8, 9); - Iniciar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 7, 8, 9) 	
Quarta	28/10/2015					<p>Ensaio aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terminar o ensaio da resistência à penetração de cloretos (provetes nº 1, 2, 3) 	
Quinta	29/10/2015			- Avaliar a massa saturada dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 7, 8, 9)			
Sexta	30/10/2015			- Avaliar a massa saturada e hidrostática dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão e colocar na estufa de $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 1, 2, 3)		<p>Ensaio aos 182 dias de idade do BAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (provetes nº 4, 5, 6); - Terminar o ensaio de absorção de água por capilaridade (provetes nº 4, 5, 6); - Iniciar o ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 4, 5, 6) 	
Sábado	31/10/2015						
Domingo	01/11/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	02/11/2015						
Terça	03/11/2015						
Quarta	04/11/2015						
Quinta	05/11/2015					- Avaliar a massa saturada dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 7, 8, 9)	
Sexta	06/11/2015					- Avaliar a massa saturada e hidrostática dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão e colocar na estufa de $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ (provetes nº 1, 2, 3)	
Sábado	07/11/2015						
Domingo	08/11/2015						
Segunda	09/11/2015	- Ensaio de resistência à carbonatação, 182 dias após estar na câmara do CO_2 (provetes nº 13, 14, 15)					
Terça	10/11/2015						
Quarta	11/11/2015						
Quinta	12/11/2015	- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 7, 8, 9)					
Sexta	13/11/2015	- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 7, 8, 9)					
Sábado	14/11/2015						
Domingo	15/11/2015						

Dia	Data	100% AN	25% AR	50% AR	100% AR	100% AGR	100% AFR
Segunda	16/11/2015			- Ensaio de resistência à carbonatação, 182 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 13, 14, 15)			
Terça	17/11/2015						
Quarta	18/11/2015						
Quinta	19/11/2015			- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 7, 8, 9)			
Sexta	20/11/2015			- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 7, 8, 9)			
Sábado	21/11/2015						
Domingo	22/11/2015						
Segunda	23/11/2015					- Ensaio de resistência à carbonatação, 182 dias após estar na câmara do CO ₂ (provetes nº 13, 14, 15)	
Terça	24/11/2015						
Quarta	25/11/2015						
Quinta	26/11/2015					- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 7, 8, 9)	
Sexta	27/11/2015					- Avaliar a massa seca dos provetes do ensaio de absorção de água por imersão (provetes nº 7, 8, 9)	

Lisboa, 17 de Abril de 2015

Autores

Tiago Barroqueiro
Bolseiro de Investigação

Sara Santos
Aluna de Mestrado

Jorge de Brito
Professor Catedrático

Pedro Silva
Professor Adjunto