

# Propriedades do Betão Auto-Compactável com Incorporação de Agregados Finos Reciclados

*Hugo Alexandre Silva Pinto*

*C-Made Centre of Materials and Building Technologies, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal  
pinto.ha@gmail.com*

*Luiz Antonio Pereira de Oliveira,*

*C-Made Centre of Materials and Building Technologies, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal  
luiz.oliveira@ubi.pt*

*Miguel Costa Santos Nepomuceno*

*C-Made Centre of Materials and Building Technologies, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal  
mcsn@ubi.pt*

Área Científica - CT14

## Resumo

Este estudo teve como objectivo analisar o impacto nas propriedades do betão auto-compactável (BAC) resultante da incorporação de agregados finos reciclados em substituição parcial dos agregados finos naturais. O programa experimental realizado envolveu, numa primeira fase, a produção e ensaio de 11 misturas binárias com percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados. Posteriormente, foram ainda produzidas e ensaiadas 6 misturas ternárias para o mesmo efeito. Nas misturas binárias, a percentagem de substituição do agregado fino natural por agregado fino reciclado variou desde os 0% (mistura de referência) até aos 50% em incrementos de 5%, enquanto nas misturas ternárias a percentagem de substituição do agregado fino natural por agregado fino reciclado variou desde os 0% (mistura de referência) até aos 50% em incrementos de 10%. O estudo permitiu concluir que as argamassas com incorporação de agregados finos reciclados constituem um material viável e com potencialidades de utilização na indústria da construção, desde que sejam ponderados os ajustes necessários ao seu desempenho.

**Palavras-chave:** Betão auto-compactável, Agregados finos reciclados, Propriedades da argamassa no estado fresco, Propriedades da argamassa no estado endurecido, Resíduos de construção e demolição.

## 1. INTRODUÇÃO

Vive-se hoje numa era de globalização e de desenvolvimento tecnológico, pelo que a indústria da construção civil caminha para mecanização dos meios de construção, tendo como consequência uma redução gradual da mão-de-obra. A par deste desenvolvimento tecnológico, é cada vez mais notável a preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, o que conduz à busca de alternativas sustentáveis. Desta forma é imperativo que a indústria da construção civil passe por profundas transformações, já que a sua cadeia produtiva apresenta importantes impactos ambientais.

Motivados pela consciencialização ambiental e pela redução de custos, têm sido desenvolvidos programas de gestão da qualidade e gestão ambiental, a fim de diminuir a geração de resíduos e reaproveitá-los no sector. No contexto nacional actual e internacional os RCD (resíduos de construção e demolição) têm grande impacto no meio ambiente, devido à sua deposição em áreas livres impróprias, causando efeitos nefastos na saúde através da multiplicação de doenças, e efeitos no ambiente, tais como: alteração da paisagem, dificuldades impostas ao tráfego de pedestres e veículos, poluição, comprometimento da drenagem urbana e assoreamento de recursos hídricos. A estratégia de gestão dos resíduos deve privilegiar a sua recuperação, através de soluções de valorização. Neste sentido, como forma de diminuir os impactos gerados pelo RCD, a transformação destes, através da

reciclagem, surge como alternativa de matéria-prima. Assim, constitui-se uma solução para os resíduos de obra.

Uma das exigências para a durabilidade do betão é que a sua colocação seja executada por mão-de-obra especializada. No entanto, a mão-de-obra pouco qualificada é corrente na construção. Foi neste contexto que na década de 80 o Japão teve necessidade de desenvolver um betão com determinadas características, capaz de fluir no interior da armadura, e preencher de forma natural o seu volume, consolidando-se sob a acção do seu próprio peso, sem compactação. Este pressuposto deu origem ao BAC [1]. Este novo material não necessita de vibração e, em certos casos, a resistência deixa de ser utilizada como indicador da qualidade passando a ser a trabalhabilidade (auto-compactável) o aspecto mais relevante.

Para o cálculo de BAC têm sido propostos vários métodos, sendo os métodos de Okamura e da JSCE alguns dos mais divulgados a nível internacional. Em Portugal, o método de Nepomuceno [2, 3, 4] tem sido utilizado em inúmeros trabalhos de investigação e tem-se revelado eficaz. Para se obter um BAC é necessária uma dosagem elevada de materiais finos. A utilização de cimento como único material fino implica o uso de dosagens elevadas, tendo como consequência um elevado custo. Neste sentido, têm sido utilizadas adições, no intuito de substituir parte do cimento. Os materiais utilizados para produzir betões correntes e todas as recomendações quanto à conformidade desses materiais podem ser aplicadas ao BAC. No entanto, a especificidade deste tipo de betão tem movido a vários estudos para aprimorar alguns dos materiais constituintes.

Da pesquisa bibliográfica verificaram-se algumas lacunas nomeadamente na existência de um procedimento para a obtenção de um BAC com agregados finos reciclados. É precisamente este entendimento que está na origem do presente trabalho.

## **2. BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL**

### **2.1 Definição**

Existem várias definições para o BAC, mas os princípios base são os mesmos. Segundo Nepomuceno [2, 3, 4], a auto-compactabilidade do betão fresco, é a capacidade que este possui de preencher cofragens e envolver os varões das armaduras pela acção da gravidade e sem perda de homogeneidade. Para o betão ter esta capacidade, deve ser dotado de propriedades reológicas e trabalhabilidade adequadas, uma vez que, durante a betonagem não está sujeito a vibração. Deve ser resistente à ocorrência de segregação, de que são exemplos a exsudação e o assentamento das partículas mais grossas (sedimentação). No BAC é possível ocorrer um volume de ar residual, tal como ocorre no betão corrente, ou pode-se aumentar o teor de ar artificialmente para, por exemplo, aumentar a sua resistência à acção de gelo e degelo [5].

### **2.2 Vantagens e desvantagens**

A aplicação do BAC em estruturas tem vindo a aumentar, uma vez que este proporciona uma maior durabilidade e diminui a necessidade de manutenção das cofragens, possibilitando deste modo a realização de estruturas de elevada qualidade. Neste sentido, o BAC apresenta vantagens em relação ao betão convencional, tais como [6, 7, 8]:

- a) Melhoria da produtividade, uma vez que a sua aplicação é simples e rápida, reduzindo o tempo de construção, a mão-de-obra e por sua vez os custos com esta, o que pode contrabalançar os acréscimos induzidos pelos materiais utilizados;
- b) Melhoria do ambiente de trabalho, através da redução do ruído e esforço físico implicado na vibração;

- c) Melhoria da homogeneidade, permitindo a obtenção de estruturas mais homogêneas, aumentando a qualidade e durabilidade do betão;
- d) Outras melhorias dizem respeito à aplicação do BAC em situações onde o acesso de equipamentos de vibração é difícil, para além da possibilidade de executar estruturas com geometrias mais complexas e com alta densidade de armaduras.

Apesar das inúmeras vantagens, o BAC também apresenta algumas desvantagens, em relação ao betão corrente, nomeadamente [2, 7, 8]:

- a) O elevado custo, que pode resultar da elevada percentagem de materiais finos;
- b) No estado endurecido, o BAC apresenta maior susceptibilidade a fenómenos de retracção e fluência em relação ao betão corrente. A solução neste caso pode estar na optimização das misturas, nomeadamente a redução dos materiais finos através da optimização dos agregados;
- c) O BAC requer um maior controlo das matérias-primas e do betão no estado fresco.

### 3. UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS GROSSOS E FINOS NO BAC

Uma forma de aproveitamento dos RCD é a reciclagem, transformando os resíduos em agregados reciclados e reutilizando-os na construção civil. A utilização dos agregados reciclados na produção de BAC, em vez dos agregados naturais, provoca alterações em algumas propriedades deste, quer no estado fresco quer no estado endurecido. Para um conhecimento mais abrangente destas alterações têm sido realizados vários estudos a nível nacional e internacional.

Os estudos de Brito [9] revelam que a substituição de agregados naturais por agregados reciclados no fabrico de betão pode conduzir a resistências semelhantes às do betão convencional, mantendo a curva granulométrica e a trabalhabilidade do betão fresco, tanto mais quanto:

- i. Menor for a taxa de substituição de agregados naturais por reciclados;
- ii. Menor for a incorporação de agregados finos reciclados, em detrimento de agregados grossos reciclados;
- iii. Melhores forem as características dos agregados reciclados e menor a quantidade de impurezas;
- iv. Menor for a classe de resistência do betão produzido;
- v. Utilizar a adjuvantes e ligantes de elevada resistência, de modo a compensar as piores características dos agregados reciclados.

De referir ainda o estudo de Rangel [10] em betões auto compactáveis, no qual o autor concluiu que, no módulo de elasticidade dinâmico, houve uma perda de 1,2%, 1,8%, 2,4% e 3,1% nos betões com incorporação de agregados grossos reciclados de 10%, 20%, 30% e 40%, quando comparados com os valores obtidos no betão sem incorporação de agregados reciclados. Estes valores de redução do módulo de elasticidade podem ser considerados pouco significativos quando observados à luz dos respectivos desvios padrão. O autor concluiu nesse estudo que a incorporação de agregados grossos reciclados no BAC é viável, tendo um bom potencial de utilização na indústria de construção [10]. No mesmo estudo [10] as massas volúmicas no betão em estado endurecido apresentam uma pequena perda de peso com o aumento da incorporação dos agregados reciclados. Esta perda pode ser explicada pelos baixos valores de massa volúmica que os agregados reciclados apresentaram, quando comparados com os valores dos agregados naturais.

Apesar de menos estudada, a inclusão de agregados finos reciclados no betão, segundo Evangelista e Brito [11], não afecta significativamente a resistência à compressão, pelo menos quando a taxa substituição de agregados finos não ultrapassa os 30%. No entanto, estes resultados foram obtidos com agregados finos produzidos em laboratório, com granulometria e britagem controladas, sendo de esperar que os agregados finos reciclados obtidos de forma convencional tenham mais impurezas que reduzam o desempenho do betão. É precisamente esta incerteza na forma de obtenção uma das principais razões pela qual a utilização de agregados finos reciclados é geralmente vetada nos documentos normativos existentes. A utilização de betão pré-fabricado para produção de agregados finos reciclados, com cuidadosa extracção dos mesmos evitaria a presença de impurezas prejudiciais [11].

Os estudos de Cabral [12] revelam que o uso dos agregados reciclados na produção de BAC parece promissora, pois a elevada quantidade de finos presentes nos agregados reciclados pode ajudar na resistência à segregação. Porém, a elevada absorção dos agregados reciclados é um obstáculo, uma vez que estes podem absorver a água da mistura, modificando as propriedades do BAC [12]. Gómez-Soberón, mediu as absorções de água dos agregados finos e agregados reciclados de betão e confirmou que a absorção dos agregados finos reciclados de betão é maior do que a dos grossos, e ambas são maiores que a dos naturais [13].

## 4. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 4.1 Caracterização dos materiais utilizados

Os materiais utilizados no presente estudo foram subdivididos nos seguintes grupos: ligante, adição, adjuvante, agregados e água. O ligante utilizado foi o cimento Portland (CEM I 42,5R), com massa volúmica de  $3140 \text{ kg/m}^3$ . Foram utilizadas duas adições, uma do tipo I (quase inerte) constituída por filer calcário, com massa volúmica de  $2720 \text{ kg/m}^3$  e a outra do tipo II (pozolânica ou hidráulica latente) constituída por cinzas volantes, com massa volúmica de  $2380 \text{ kg/m}^3$ . O adjuvante seleccionado foi um superplastificante de última geração, com a designação comercial de Sika® ViscoCrete® 3005. Este adjuvante apresenta-se sob a forma líquida, de cor levemente amarelada e uma densidade de aproximadamente 1,05. Tendo em conta a especificidade do estudo da composição dos BAC, a selecção dos agregados dividiu-se em dois grupos: os agregados finos naturais e os agregados finos reciclados.

A escolha dos agregados finos naturais, recaiu sobre uma areia natural rolada de grão fino designada neste trabalho de Areia 0/2 e uma areia natural rolada de grão intermédio proveniente de Abrantes, designada neste trabalho de Areia 0/4. A Areia 0/2 apresentou uma massa volúmica de  $2600 \text{ kg/m}^3$  e um módulo de finura de 2,104, enquanto a Areia 0/4 apresentou uma massa volúmica de  $2630 \text{ kg/m}^3$  e um módulo de finura de 3,035.

Os agregados finos reciclados (Areia Reciclada) foram obtidos a partir da britagem de provetes de betão. Estes encontravam-se armazenados no Laboratório de Tecnologia e Ensaios Mecânicos do DECA da UBI. A dimensão destes agregados é inferior a 5 mm. No presente estudo serão designados como Areias Recicladas. A selecção destes agregados reciclados resultou na sequência de estudos já realizados na UBI, em 2010, por Rangel [10]. Nesse estudo, Rangel avaliou a utilização da fracção mais grossa (dimensão superior a 5 mm) resultante da britagem de betões para avaliar o impacto da adição de agregados grossos reciclados no BAC. No presente trabalho pretendeu-se avaliar o impacto da introdução da parcela reciclada mais fina que sobrou, nomeadamente os agregados finos, que incluem também uma parcela significativa de materiais finos. Optou-se por utilizar directamente essas areias não se tendo efectuado a separação dos finos.

## 4.2 Misturas binárias e ternárias

Ao longo do presente trabalho experimental foram usadas duas séries de argamassas, denominadas de Série 1 e Série 2.

A Série 1 incluiu um total de 11 argamassas com a mesma associação binária de materiais finos, incorporando o cimento Portland CEM I 42,5R (40%) e fíler calcário (60%). Na Série 1, a primeira argamassa apenas inclui agregados finos naturais e serviu de referência para comparação com as restantes argamassas, da mesma Série que incorporam percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados em substituição dos agregados finos naturais, em incrementos de 5%, até um limite de 50%.

A Série 2 incluiu um total de 6 argamassas com a mesma associação ternária de materiais finos, incorporando o cimento Portland CEM I 42,5R (40%), as cinzas volantes (10%) e o fíler calcário (50%). Também nesta Série, a primeira argamassa apenas inclui agregados finos naturais e serviu de referência para comparação com as restantes argamassas da mesma Série que incorporam percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados em substituição dos agregados finos naturais, em incrementos de 10%, até um limite de 50%.

Note-se que as misturas foram classificadas de “binárias” quando associavam um cimento com uma adição mineral e de “ternárias” quando associavam um cimento com duas adições minerais. Os pressupostos e a justificação das opções realizadas no presente estudo, bem como a formulação das argamassas de cada série analisada são a seguir descritas para as argamassas com os dois tipos de associações de materiais finos.

O principal objectivo do presente estudo consistiu em avaliar o impacto da introdução de percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados nas argamassas, em substituição parcial dos agregados finos naturais até um limite de 50% de substituição. Para isso foi produzida uma argamassa de referência apenas com agregados finos naturais para servir de base de comparação, com uma resistência média à compressão de 55 MPa e incorporando uma associação binária de materiais finos cujo volume absoluto total incluía 40% de cimento Portland CEM I 42,5R e 60% de fíler calcário. Obteve-se assim uma mistura binária de referência e uma primeira série de argamassas (Série 1). Nesta série, os agregados finos da argamassa de referência foram substituídos em percentagens crescentes de 5% até aos 50%, dando origem a 10 argamassas para além da de referência. Importa referir que a curva granulométrica real da mistura de agregados finos se manteve constante em todas as argamassas desta série.

Por opção, no presente trabalho experimental decidiu-se utilizar directamente os agregados finos reciclados sem exclusão da parcela de materiais finos neles presente. Após imersão dos agregados finos reciclados em água verificou-se que este apresentava elevado teor de hidróxido de cálcio. Esta constatação levou a que se formulasse a hipótese de se efectuar uma segunda série de argamassas que incorporasse na mistura de matérias finas uma pozolana artificial de forma a conter e/ou beneficiar da presença deste hidróxido de cálcio. Nesse pressuposto, efectuou-se uma reformulação da mistura binária de referência da primeira série, reduzindo a percentagem de fíler calcário de 60% para 50% e incorporando 10% de cinzas volantes. Obteve-se assim uma mistura ternária de referência e uma segunda série de argamassas (Série 2). Nesta nova série, os agregados finos da argamassa de referência foram substituídos em percentagens crescentes de 10% até aos 50%, dando origem a 5 argamassas para além da de referência. Importa referir que a curva granulométrica real da mistura de agregados finos se manteve constante em todas as argamassas desta série.

Após a caracterização dos materiais a utilizar e definição completa das diferentes misturas binárias e ternárias a produzir, deu-se início ao estudo em argamassas. Esse estudo iniciou-se com a definição do procedimento de cálculo das dosagens dos diferentes componentes da argamassa a partir dos parâmetros definidos nas fases precedentes e a adequação da folha de



cálculo Excel proposta por Nepomuceno [2], de modo a incluir 3 agregados finos e contabilizar automaticamente as correcções resultantes do teor em água superficial das areias, uma vez que era intenção utilizar os agregados saturados de água. Seguiu-se a produção e ensaio das argamassas no estado fresco e concomitantemente o acerto experimental das dosagens de água e de superplastificante necessários à obtenção das propriedades reológicas adequadas da argamassa conducentes à obtenção de betões auto-compactáveis. Para as argamassas que apresentaram as propriedades reológicas adequadas foram moldados provetes para o ensaio à compressão aos 28 dias de idade. As várias fases deste processo são descritas nos itens seguintes.

### 4.3 Ensaio em argamassas no estado fresco

A medição dos parâmetros reológicos efectuada ao longo deste trabalho tiveram como base o método de Nepomuceno [2, 3, 4], logo impunha-se a necessidade de utilizar os mesmos equipamentos propostos por este autor. Foram realizados dois ensaios das argamassas no estado fresco: o ensaio de espalhamento e o ensaio de fluidez (funil-V).

### 4.4 Ensaio em argamassas no estado endurecido

Quando as argamassas cumpriam os requisitos impostos para os parâmetros reológicos medidos pelos ensaios de espalhamento e de fluidez, procedeu-se à sua amostragem para avaliação da resistência à compressão. Para esse efeito foram utilizados moldes prismáticos de 40x40x160 mm<sup>3</sup> de aresta.

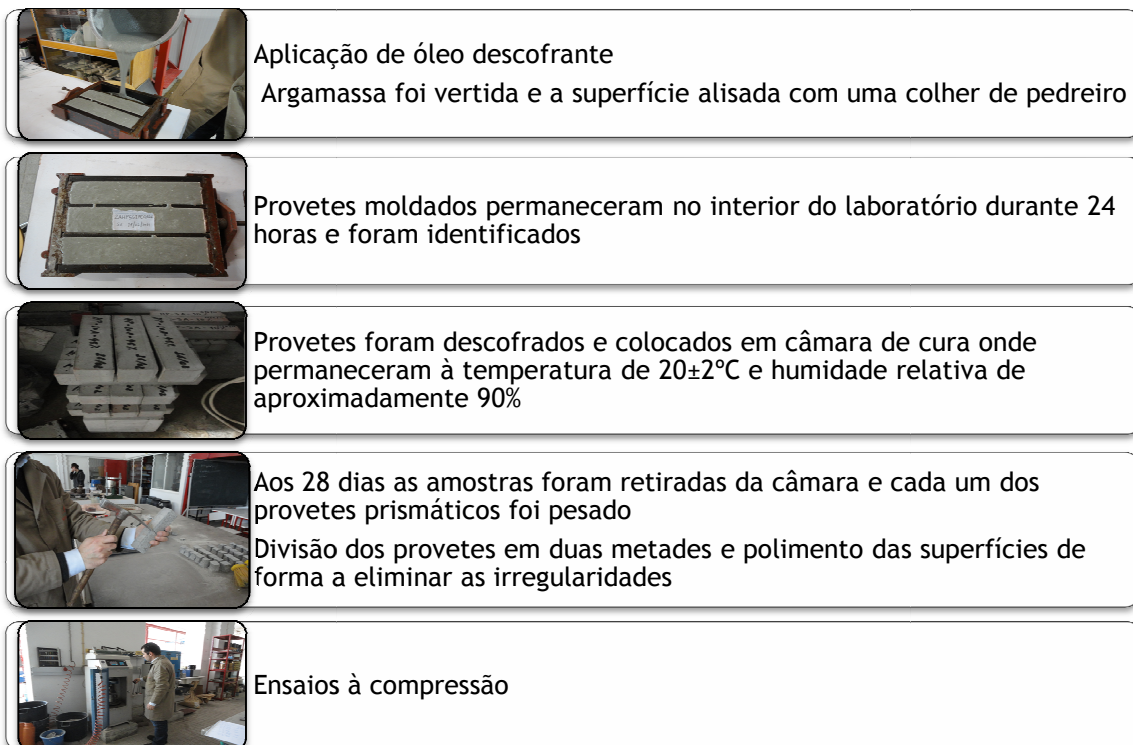


Figura 1 - Fases do ensaio das argamassas no estado endurecido

## 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 Análise comparativa entre as misturas binárias e ternárias

A Figura 2 apresenta uma comparação entre as misturas binárias (Série 1) e as misturas ternárias (Série 2) relativamente à variação da dosagem de água de amassadura com o aumento da percentagem de incorporação de agregado reciclado. A Figura 3 faz uma comparação similar, relativamente à dosagem de superplastificante.

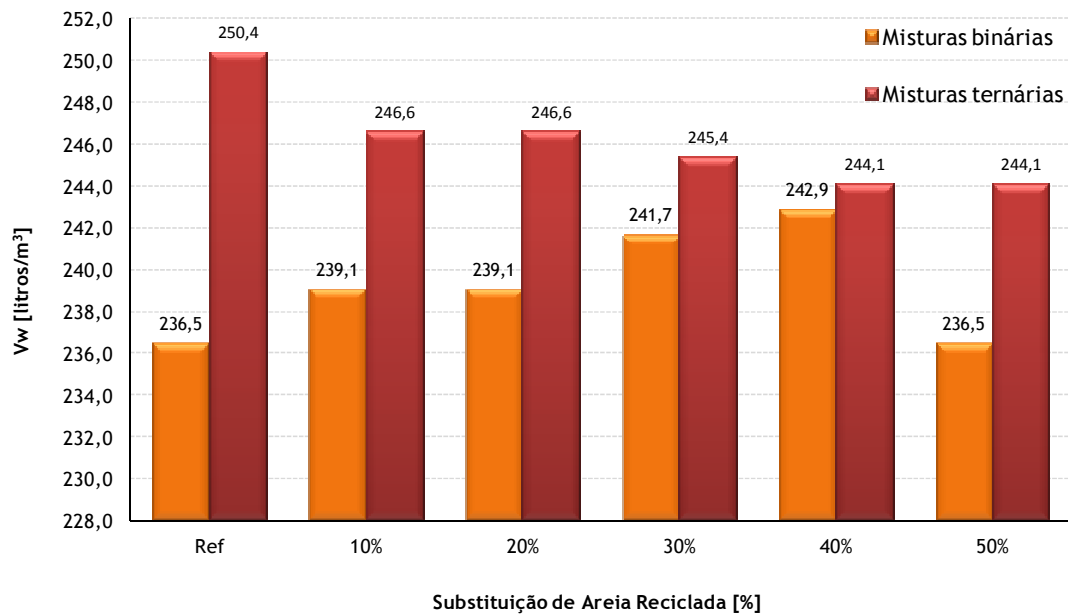


Figura 2 - Comparação da dosagem de água por metro cúbico

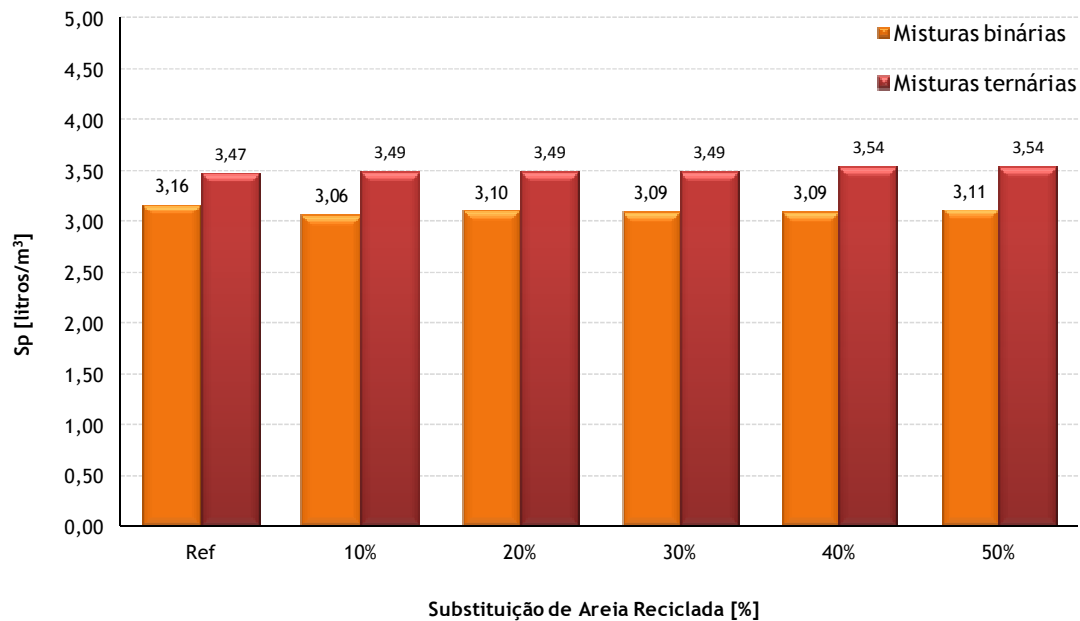


Figura 3 - Comparação da dosagem de superplastificante por metro cúbico

Na Figura 2 é possível observar-se que nas misturas binárias se registou um comportamento inverso ao das misturas ternárias relativamente à dosagem de água de amassadura. Enquanto nas misturas binárias a dosagem de água de amassadura aumenta com a percentagem de incorporação de agregados reciclados, nas misturas ternárias ocorre o inverso, pelo menos até à percentagem de 40% de substituição. Na Figura 3 é possível constatar que a dosagem de superplastificante foi sempre superior nas misturas ternárias comparativamente às misturas binárias. Contudo, em termos globais as dosagens em ambos os casos são relativamente próximas.

A Figura 4 faz uma comparação entre as misturas binárias (Série 1) e as misturas ternárias (Série 2) relativamente à variação da resistência à compressão das argamassas aos 28 dias com o aumento da percentagem de incorporação de agregado reciclado.

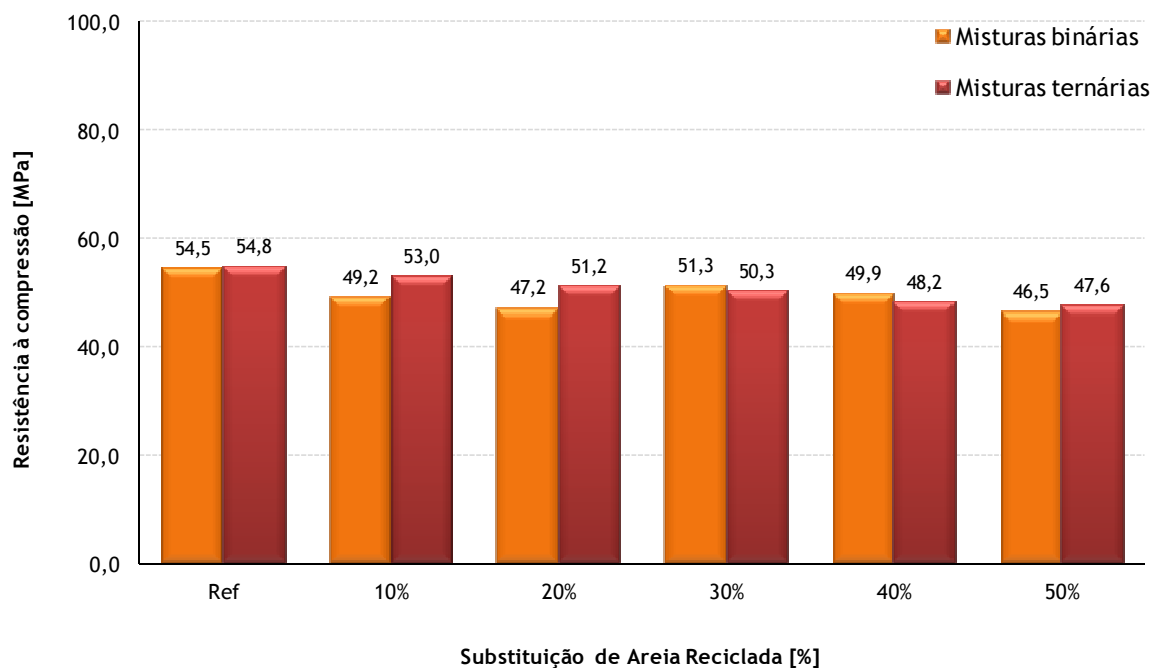


Figura 4 - Comparação da resistência à compressão entre misturas binária e ternária

A Figura 4 mostra um decréscimo da resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade com o aumento da percentagem de incorporação de agregados reciclados. Este decréscimo ocorre independentemente de se tratar de argamassas com associações binárias ou ternárias. Os resultados evidenciam ainda um pequeno benefício em termos de resistência à compressão nas misturas ternárias, comparativamente com as misturas binárias, pelo menos até percentagens de incorporação de agregados reciclados de 20%.

Os resultados obtidos na presente investigação estão de acordo com os estudos realizados por Vasconcelos e Cabral [14], que demonstram que o BAC com agregados reciclados apresenta um comportamento similar nos ensaios no estado fresco, porém no estado endurecido observa-se uma redução na resistência à compressão. Isto deve-se possivelmente à menor resistência mecânica do próprio agregado reciclado, além da sua alta porosidade e alta absorção de água. Também o estudo de Rangel [10] corrobora estes resultados, ao mencionar que o BAC com agregados grossos reciclados (BRC40) na resistência à compressão sofre um pequeno decréscimo da resistência.

A Figura 5 faz uma comparação entre as misturas binárias (Série 1) e as misturas ternárias (Série 2) relativamente à variação da massa volúmica das argamassas no estado endurecido com o aumento da percentagem de incorporação de agregado reciclado.



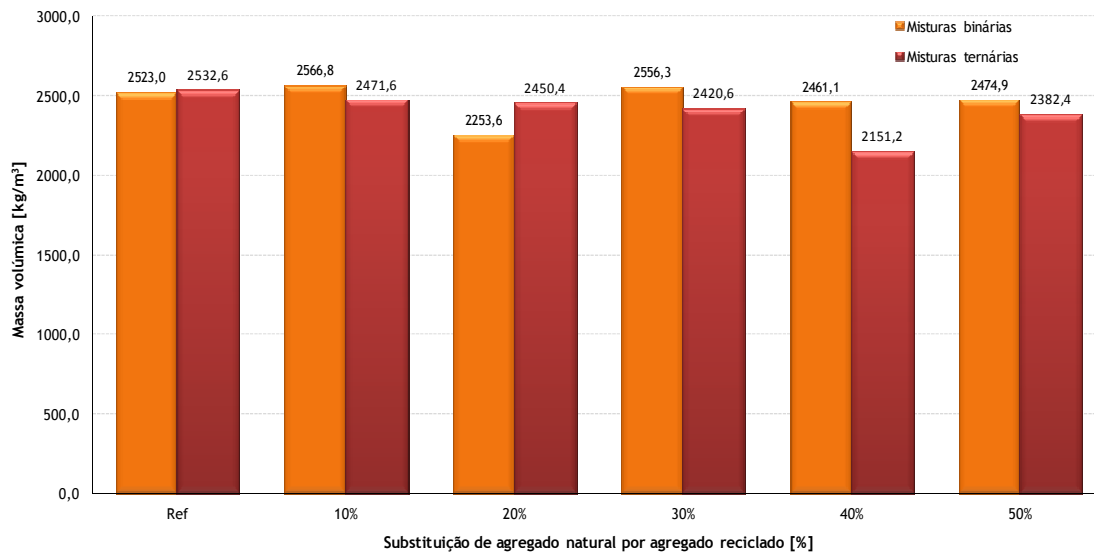


Figura 5 - Comparação da massa volúmica obtida nas misturas binárias e ternárias

Ainda que não seja muito evidente, é possível observar-se na Figura 5, em termos médios, uma ligeira redução do valor da massa volúmica das argamassas com associações binárias e ternárias de materiais finos à medida que a percentagem de incorporação de Areia Reciclada aumenta. Verifica-se também que as argamassas com associações ternárias apresentaram quase sempre valores inferiores da massa volúmica em comparação com as argamassas com associações binárias e com a mesma percentagem de substituição da areia natural por areia reciclada. Este resultado era previsível, porquanto a cinza volante apresenta menor massa volúmica que o fíler calcário.

## 6. CONCLUSÕES

A metodologia utilizada teve como principal objectivo proporcionar uma análise das alterações nas propriedades das argamassas adequadas à produção de BAC em consequência da incorporação de agregados finos reciclados em quantidades sucessivamente crescentes. As principais propriedades avaliadas foram a resistência à compressão, a massa volúmica e as alterações nas dosagens de água e superplastificante para obtenção das mesmas propriedades reológicas, avaliadas directamente pelos ensaios de espalhamento e de fluidez. A análise foi efectuada com uma associação binária de materiais finos (cimento Portland CEM I 42,5R e fíler calcário) e outra com associação ternária de materiais finos (cimento Portland CEM I 42,5R, fíler calcário e cinzas volantes). O objectivo da segunda série foi tirar partido de uma eventual actividade pozolânica do hidróxido de cálcio presente em grande quantidade na Areia Reciclada. Dos resultados obtidos, destaca-se as seguintes conclusões:

- A resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade decresce com o aumento da percentagem de incorporação de agregados finos reciclados, independentemente de se tratar de argamassas com associações binárias ou ternárias;
- A massa volúmica das argamassas no estado endurecido diminui ligeiramente com o aumento da percentagem de incorporação de agregados finos reciclados, independentemente de se tratar de argamassas com associações binárias ou ternárias. Este facto era previsível, visto que os agregados finos reciclados apresentam um valor da massa volúmica inferior comparativamente com os agregados finos naturais, devido à maior porosidade e menor densidade da pasta cimentícia;
- Nas misturas binárias a dosagem de água de amassadura aumenta com a percentagem de incorporação de agregados reciclados, enquanto nas misturas ternárias ocorre o inverso, pelo menos até à percentagem de 40% de incorporação de agregados reciclados;

d) As dosagens de superplastificante, necessárias à obtenção das propriedades reológicas adequadas, ainda que relativamente próximas entre si, foram sempre superior nas misturas ternárias comparativamente às misturas binárias, mesmo comparando apenas as misturas de referência, e isto pode indiciar que uma parte desse superplastificante foi adsorvido na superfície das partículas de cinzas volantes;

e) Pode-se concluir que as argamassas com incorporação de agregados finos reciclados constituem um material viável e com uma boa potencialidade de utilização na indústria da construção, desde que sejam ponderados os ajustes necessários ao seu desempenho.

Para finalizar, importa salientar que as conclusões apresentadas resultam directamente da discussão relativa ao estudo de argamassas e devem ser interpretadas à luz da metodologia adoptada neste trabalho. Deverão ser considerados também os tipos e dimensões dos equipamentos, os procedimentos de amassadura das argamassas e os procedimentos de ensaio.

## Referências Bibliográficas

[1] Okamura, Hajime; Ouchi, Masahiro - Self-Compacting Concrete. «Journal of Advanced Concrete Technology», vol.1, N.º 1, 2003, p. 5-15.

[2] Nepomuceno, Miguel - Metodologia para a Composição de Betões Auto-Compactáveis, «Dissertação de Mestrado apresentada na UBI», Covilhã, 2005, p.3-550.

[3] NEPOMUCENO, Miguel; OLIVEIRA, Luiz - Parameters for Self-compacting Concrete Mortar Phase, in «Fifth ACI/CANMET International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials, Brasil, Jun 2008», ACI - SP-253-21, USA, May 2008, ISBN: 978-0-87031-277-9, p. 323-340.

[4] NEPOMUCENO, Miguel; OLIVEIRA, Luiz; LOPES, Sérgio - Methodology for mix design of the mortar phase of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders, CBM, 2011.

[5] Nunes, Sandra - Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades, «Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil apresentada na FEUP», Porto, 2001.

[6] Okamura, H.; Ouchi, M. - Self-Compacting Concrete. Development, Present Use and Future, in «Proceedings of the First International RILEM Symposium, Stockholm», Edited by A. Skarendahl and O. Petersson, Stockholm, Sweden, Sept 1999, p. 3-14.

[7] Nunes *et al.* - Aplicações da BAC na Indústria de Construção, «Congresso Nacional de Construção de 2004», FEUP, Porto, 13-15 de Dezembro de 2004, p. 381-386.

[8] Norma Portuguesa - NP EN 206-1: 2007 - «Norma Portuguesa para Betão. Parte 1: Especificação, Desempenho, Produção», IPQ, Lisboa, 2007.

[9] Brito, J. - «Agregados Reciclados e sua Influência nas Propriedades dos Betões», Lição de Síntese, Provas de Agregação em Engenharia Civil, IST, Lisboa, 2005.

[10] Rangel, Mauro - Propriedades do BAC, com Agregados Grossos Reciclados. «Dissertação de Mestrado apresentada na UBI», Covilhã, 2010.

[11] Evangelista, L.; Brito, J. - Mechanical Behaviour of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates, in «Cement and Concrete Research», N.º 29, 2007, p. 397-401.

[12] Cabral, António - Modelagem de Propriedades Mecânicas e de Durabilidade de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados, Considerando-se a Variabilidade da Composição do RCD. «Tese de Doutoramento apresentada na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo», São Paulo, 2007, p. 280.

[13] Gómez-Soberón, J. - Porosity of Recycled Concrete with Substitution of Recycled Concrete Aggregate: an Experimental Study, in «Cement and Concrete Research», vol.32, 2002, p. 1301-1311.

[14] Vasconcelos, Helder; Cabral, Antonio - Concreto Auto-Adensável Produzido com Agregados Reciclados BAC 2010, in «2º Congresso Ibérico sobre Betão Auto-Compactável», Guimarães, 1-2 de Julho 2010.