

HAC2018 | V Congresso Ibero-americano sobre Betão Auto-compactável e Betões Especiais

Valência, 5 e 6 de Março de 2018

Estratégias de mitigação da retração em betões auto-compactáveis

Miguel José Oliveira ⁽¹⁾, António Bettencourt Ribeiro ⁽²⁾ e Fernando Garrido Branco ⁽³⁾

⁽¹⁾ CEPAC, Universidade do Algarve, Faro, Portugal.

⁽²⁾ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.

⁽³⁾ INESC Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Portugal.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.5191>

RESUMO

O betão auto-compactável (BAC) apresenta propriedades especiais, que justificam a sua preferência em muitas aplicações. No entanto, são conhecidos vários casos de comportamento inadequado, devido principalmente ao comportamento deficiente deste material durante o processo de hidratação e secagem. A retração tem uma importância significativa na conceção, dimensionamento, processo construtivo e comportamento em serviço das estruturas de betão. As exigências normativas não consideram de forma adequada a influência dos fatores existentes. Além disso, a possibilidade de utilização de novos materiais limita fortemente a aplicação do conhecimento existente. De modo a contribuir para a resolução de uma das principais desvantagens deste material – a sua elevada retração, foi realizada uma campanha de ensaios, tendo em vista a avaliação dessa propriedade. Foi dada especial importância à utilização de adjuvantes redutores de retração e adições expansivas. Com base nos resultados obtidos foi possível avaliar a eficiência da utilização desses materiais. Obtiveram-se melhoramentos que permitiram formular uma hierarquização das estratégias de mitigação utilizadas.

PALAVRAS-CHAVE: BAC; Retração; Adjuvante redutor de retração, Adições expansivas, Efeito combinado.

1.- INTRODUÇÃO

Grande parte dos avanços verificados nos últimos anos na tecnologia do betão prendem-se com o uso de betões com muito baixas razões água/ligante (A/L). Nestes betões a retração torna-se um fator dominante para o controlo da fissuração. Em geral, os betões auto-compactáveis (BAC), devido à utilização de menores dosagens de agregado grosso e de maiores dosagens de ligante hidráulico, que consomem água na hidratação, também são incluídos neste mesmo grupo de betões.

Com o objetivo de minimizar a retração foram nas duas últimas décadas utilizados com sucesso adjuvantes redutores de retração (ARR) [1, 2]. De modo a aumentar a redução da retração, Ribeiro et al. [3] testaram com sucesso o efeito cumulativo resultante do uso de dois ARR. Nos últimos anos, tendo em consideração as limitações na eficiência do uso dos ARR como agente único de redução da retração, foi testado com sucesso o efeito combinado do uso de ARR e adições expansivas (AE). Em toda a bibliografia consultada é reportado um efeito sinérgico resultante do uso combinado [4, 5]. Oliveira et al. [6] além de confirmarem a vantagem do uso combinado dos ARR com AE, sugerem a possibilidade de formular composições com uma retração programada.

No presente estudo testou-se o uso de ARR e AE (individual e combinado) num BAC com resistência à compressão de nível intermédio ($BAC \pm R$), ou seja, não sendo a resistência muito elevada, que requereria o uso de razões A/L muito baixas, onde a necessidade de controle da retração é mais premente, apresenta ainda assim valores de A/L baixos, mas com resistência à compressão mais próxima das exigências correntes, cerca de 45 MPa aos 28 dias. Os resultados obtidos permitiram documentar a eficácia e limitações das soluções ensaiadas.

2.- MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foram ensaiadas 6 composições de betão diferentes. A preparação dos provetes (40 mm × 40 mm × 160 mm) foi realizada numa sala com a temperatura de 20 ± 2 °C e uma humidade relativa de $55 \pm 5\%$, seguindo a norma NP EN 196-1, com as necessárias adaptações face à dimensão dos agregados e às proporções das misturas, naturalmente diferentes das indicadas na NP EN 196 -1. Devido à natureza muito fluida das misturas (BAC) os provetes não foram compactados mecanicamente. A desmoldagem realizou-se passadas 16 horas. Este período de tempo foi definido como o mínimo necessário para que o desenvolvimento da resistência se situasse entre 2 e 5 MPa, no sentido de prevenir a ocorrência de danos no provete durante a desmoldagem. Após a remoção dos moldes foram aplicadas 3 condições de cura aos provetes:

- sem período complementar de cura, colocando os provetes expostos ao ar da sala do laboratório;
- cura até ao instante em que o betão alcança cerca de 50% da resistência média aos 28 dias;
- cura até ao instante em que o betão alcança cerca de 70% da resistência média aos 28 dias.

Para estas 2 últimas condições, o período complementar de cura, após remoção dos moldes, correspondeu a selagem com um filme plástico durante, respetivamente, 2 ou 5 dias. Para efeitos comparativos foram ainda ensaiados provetes que após a desmoldagem foram imersos em água ou permanentemente selados, estes últimos para medição da retração autógena. Para a medição da variação dos comprimentos dos provetes seguiu-se o procedimento descrito na Especificação do LNEC E398-1993. Foram efetuadas leituras através de um equipamento dotado de um defletómetro, com uma sensibilidade de 1 µm. A estabilidade do medidor foi verificada antes de cada leitura através do uso de barras comparadoras. Foram efetuadas medições de comprimentos dos provetes no momento da desmoldagem, seguindo-se leituras aos 1, 2, 5, 7, 14, 28 dias e aos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 meses.

Os provetes foram preparados com cimento Portland CEM II/A-L 42,5 R, de acordo com a NP EN 197-1, cinzas volantes de Compostilha em Espanha (quadro 1), areia de rio e brita calcária, agregados obtidos no Algarve, Portugal (quadro 2), água potável da rede pública de Faro, dois adjuvantes redutores de retração (ARR), um superplastificante (SP) e uma adição expansiva (AE) (quadro 3).

Quadro 1. Propriedades do cimento e da cinza volante.

Propriedade	Cimento	Cinza volante
Finura (Blaine) (cm ² /g)	4520	4288
Massa volúmica (kg/m ³)	3050	2330

Quadro 2. Propriedades dos agregados.

Propriedade	Areia	Brita
Dimensões das partículas (mm)	0.125-1	8-12.5
Massa volúmica do material seco (kg/m ³)	2660	2620

Quadro 3. Propriedades dos adjuvantes.

Tipo	Estado	Densidade	Componente principal	Dosagem recomendada
SP - Superplastificante	Líquido	1.06	Éter policarboxílico	1 - 1,7 kg por 100 kg de material fino
ARR I - Redutor de retração	Líquido	0.98	Poliglicol	5 a 7,5 l/ m ³
ARR II - Redutor de retração	Líquido	1.01	Alquil-éteres	Entre 0,5% e 2% da massa do cimento
AE - Expansivo	Sólido (pó)	3.09	Clinker rico em cal livre	20 a 25 kg/m ³

No quadro 4 apresentam-se as composições ensaiadas. A mistura de referência (Ref) não contém ARR nem AE. Nas restantes misturas foram usados produtos para minimizar a retração. Os dois ARR foram utilizados individualmente e em simultâneo. Duas destas composições incorporam a adição expansiva em dosagens diferentes (+20 AE, +30 AE). A quantidade de superplastificante foi ajustada para manter constante a razão água/pó, sendo a dosagem de pó a soma das dosagens de cimento e cinzas, e o espalhamento (680 a 700 mm). Para manter esta trabalhabilidade foram necessárias pequenas variações nas quantidades de pó e água, as quais foram consideradas insignificantes devido ao seu baixo valor.

No quadro 5 apresentam-se algumas características da composição Ref no estado fresco e endurecido (ver também a figura 1). As restantes misturas registaram um espalhamento compreendido entre os 680 e 700 mm.

Quadro 4. Composições ensaiadas.

	Ref	ARR I	ARR II	ARR (I+II)	ARR (I+II) + 20AE	ARR (I+II) + 30 AE
kg/m ³						
Cimento	283.0	281.0	281.6	279.8	277.6	276.4
Cinzas	171.8	170.6	171.0	169.8	168.5	167.8
Areia	773.8	768.5	770.1	765.1	759.0	755.8
Brita	763.8	758.6	760.2	755.2	749.3	746.1
AE					19.5	29.2
l/m ³						
SP	9.4	8.2	8.2	6.9	8.1	9.0
ARR I		7.4		7.3	7.3	7.3
ARR II			5.6	5.5	5.5	5.5
Água	193.9	192.6	193.0	191.7	190.2	189.4
Razão água/pó	0.426	0.426	0.426	0.426	0.426	0.426

Quadro 5. Propriedades da composição Ref.

<i>Auto-compactibilidade</i>		<i>Resistência à compressão [MPa]</i>		
<i>Método</i>	<i>Ref</i>	<i>Dias</i>	<i>Resistência (3 provetes)</i>	<i>Desvio padrão</i>
Espalhamento (EN 12350-8)	680 mm SF2	1	19	1.7
Escoamento (EN 12350-9)	19 s VF2	7	31	2.3
Caixa L (EN12350-10)	0.85 PA2	28	46	1.8



Figura 1. Auto-compactibilidade da mistura Ref, (a) - Ensaio de espalhamento; b) - pormenor do bordo do ensaio de espalhamento e c) - Ensaio na caixa L

3.- RESULTADOS

3.1.- Apresentação de resultados

Os resultados seguintes sobre a variação dimensional das misturas, apresentados na forma de gráficos, foram obtidos a partir da média das medições realizadas em: 4 provetes para a

retração autógena; 2 provetes na condição de imersão e 7 provetes para a retração total. De modo a facilitar a análise, os gráficos incluem a dispersão de resultados, sendo as curvas contínuas relativas aos valores médios e as curvas a tracejado os valores médios acrescidos ou diminuídos de um desvio padrão. As figuras 2 a 7 apresentam a evolução da retração registada até aos 9 meses de idade para as diferentes composições ensaiadas.

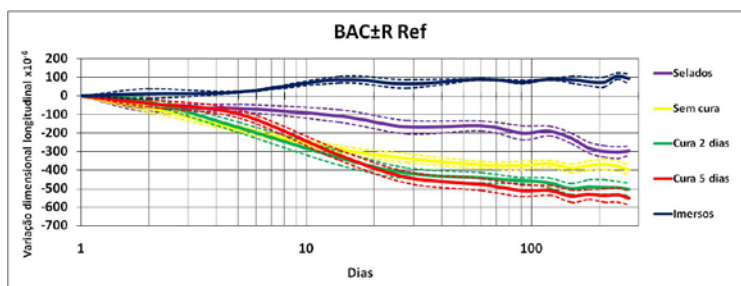


Figura 2. Variação dimensional longitudinal da composição Ref

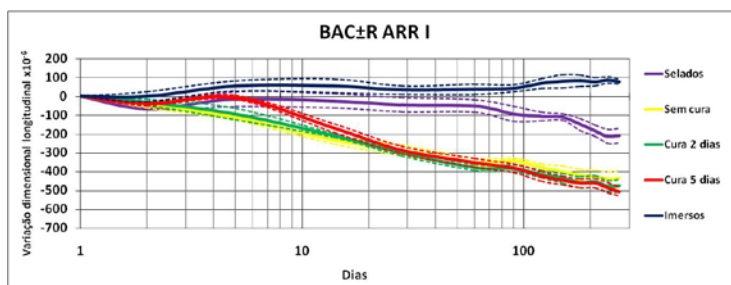


Figura 3. Variação dimensional longitudinal da composição ARR I

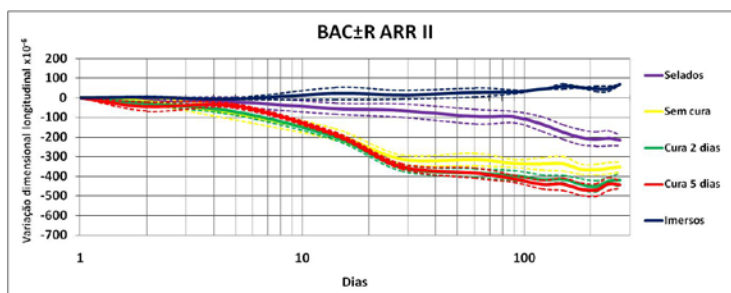


Figura 4. Variação dimensional longitudinal da composição ARR II

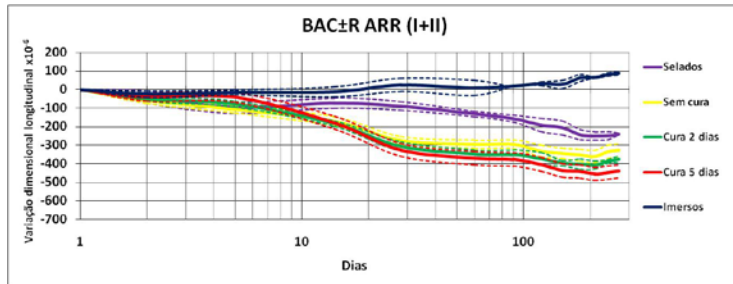


Figura 5. Variação dimensional longitudinal da composição ARR (I+II)

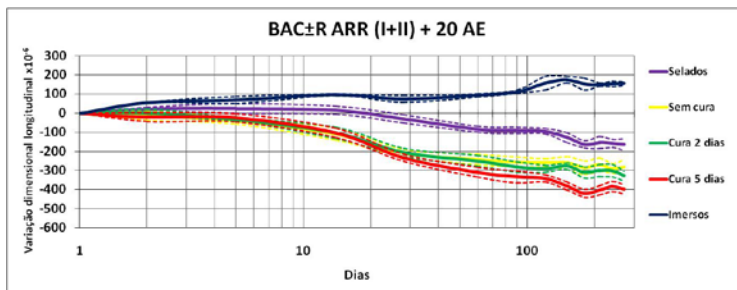


Figura 6. Variação dimensional longitudinal da composição ARR (I+II) + 20 AE

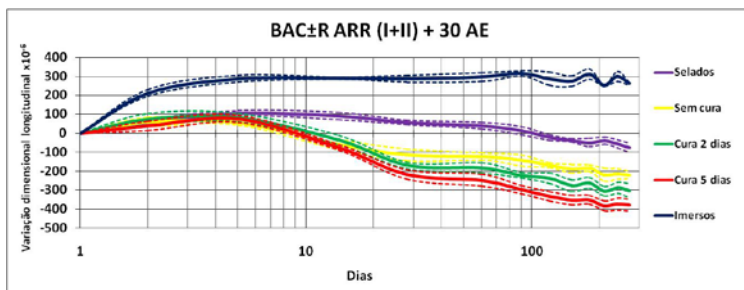


Figura 7. Variação dimensional longitudinal da composição ARR (I+II) + 30 AE

3.2.- Análise de resultados

3.2.1.- Efeito na retração total nos provetes sem cura

A figura 8 apresenta o efeito dos ARR na redução da retração total. Nesta figura, é visível uma redução nas primeiras idades. A longo prazo a redução é menor.

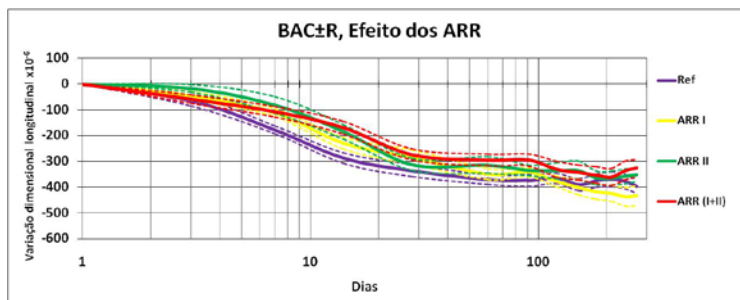


Figura 8. Efeito dos ARR na retração total dos provetes sem cura

Na figura 9 apresenta-se o efeito de diferentes dosagens da AE na retração total dos provetes sem cura. Observa-se uma redução substancial em todas as idades. A composição que utiliza 30 kg/m^3 da AE apresenta uma expansão inicial relevante. A utilização de dosagens superiores da AE, nos provetes sem cura, apresenta melhoramentos em todas as idades. Estes resultados estão em concordância com a bibliografia revista [6].

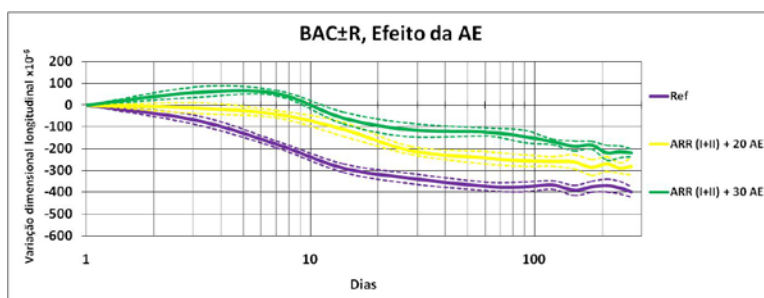


Figura 9. Efeito dos ARR juntamente com a AE na retração total dos provetes sem cura

Apresenta-se, na figura 10, a comparação do efeito do uso dos ARR com o uso dos ARR juntamente com a AE, nos provetes sem cura. Salienta-se a eficiência do uso combinado ARR com AE.

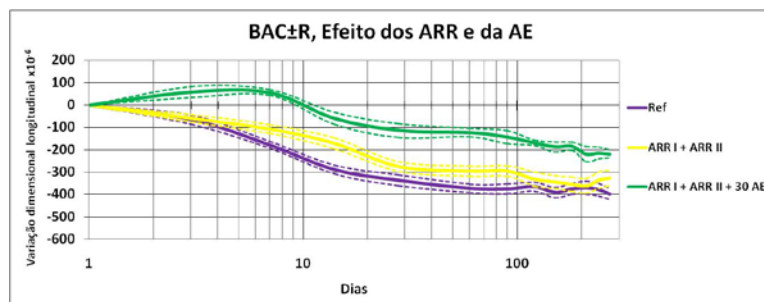


Figura 10. Efeito dos ARR e dos ARR com AE na retração total dos provetes sem cura

3.2.2.- Mitigação na retração total nos provetes com cura

Para ilustrar a redução da retração devida aos ARR e ao AE nos provetes com cura, escolheu-se o período de cura de 5 dias, uma vez que não existem diferenças significativas para os resultados nos provetes com cura de 3 dias.

O efeito dos ARR nos provetes submetidos a um período de cura de 5 dias é apresentado na figura 11. Verifica-se uma redução significativa na retração total para ambos ARR. A utilização conjunta dos dois ARR apresenta apenas um benefício marginal aos 9 meses, quando comparada com o uso individual.

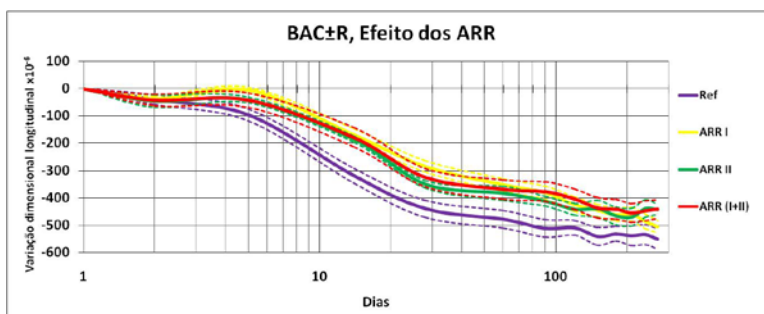


Figura 11. Efeito dos ARR na retração total dos provetes com cura de 5 dias

A figura 12 apresenta o efeito da utilização conjunta dos dois ARR e da AE na retração total dos provetes com cura de 5 dias. A utilização das dosagens de 20 ou 30 kg/m³ de AE apresentaram comportamentos pouco diferenciados. Salienta-se a expansão inicial da composição que contém os 30kg/m³. Esta figura 12 ilustra bem a significativa redução da retração propiciada pelos adjuvantes e pelo expansivo que ocorre nas primeiras idades, altura crítica para a ocorrência de fissuração. Por exemplo, aos 20 dias, a mistura de referência apresenta uma retração de cerca de 400×10^{-6} , sendo a contração das outras duas misturas inferior a 200×10^{-6} , ou seja, uma redução superior a 50%.

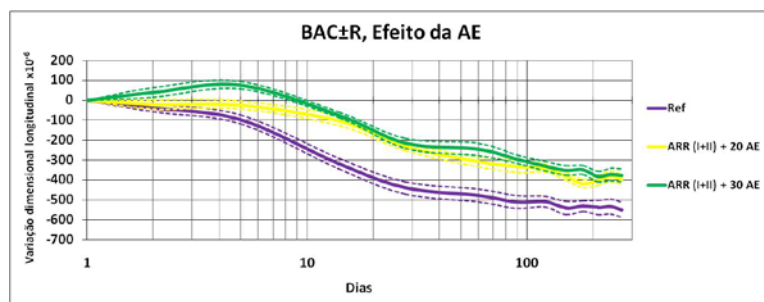


Figura 12. Efeito dos ARR com a AE na retração total dos provetes com cura de 5 dias

Na figura 13 é comparada a ação dos ARR e da mistura dos ARR com a AE na retração total dos provetes com cura de 5 dias. Quer nas primeiras idades quer a longo prazo verificam-se dois patamares de eficiência (nível 1 - apenas ARR e nível 2 - ARR

juntamente com a AE). Este efeito dos ARR e da mistura dos ARR com AE nestes provetes com cura é comparável ao obtido nos provetes sem cura, resultados apresentados na figura 10.

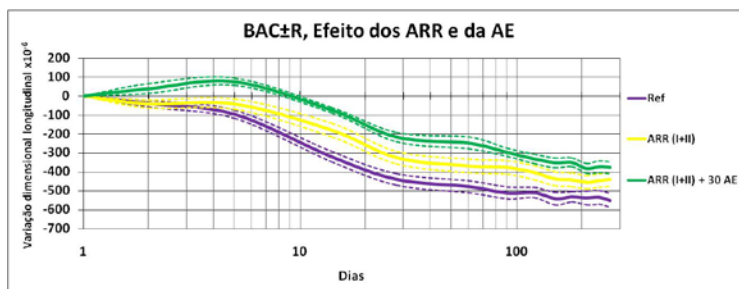


Figura 13. Efeito dos ARR e dos ARR com AE na retração total dos provetes com cura de 5 dias

3.2.3.- Comentários complementares

Conforme esperado, registaram-se expansões para todos os provetes submetidos à imersão em água. Nestes provetes, a utilização de 20 kg/m^3 de AE provoca uma expansão a longo prazo ligeiramente superior à verificada na composição de referência. Porém, a utilização de 30 kg/m^3 apresenta uma expansão nas primeiras idades de aproximadamente 300×10^{-6} (Fig. 7) suscetível de poder provocar efeitos nocivos em estruturas em contacto com ambientes com humidade elevada.

Analisando o efeito dos ARR na retração autógena (Figuras 2 a 7), verifica-se que a utilização dos ARR provoca uma tendência de redução da retração em todas as idades. Entre os dois adjuvantes redutores de retração, foi o ARR I que manifestou uma melhor eficiência. Nestes betões de resistência à compressão corrente, o efeito cumulativo devido ao uso simultâneo dos dois ARR não foi significativo. No entanto, realça-se a eficiência do uso combinado de ARR e AE (Figuras 6 e 7).

No que respeita ao efeito da cura dos provetes na retração total, verifica-se um atraso favorável no desenvolvimento da retração nos provetes submetidos à cura nas primeiras idades. No entanto, a longo prazo, os provetes submetidos à cura apresentaram maiores retrações (Figuras 2 a 7). Em [7] é discutido este fenómeno podendo ser atribuível ao refinamento da estrutura porosa dos provetes submetidos à cura.

4.- CONCLUSÕES

Neste estudo foi analisada a eficiência de adjuvantes redutores de retração e de um agente expansivo na mitigação da retração. Os resultados obtidos são, em geral, concordantes com o referido na bibliografia consultada.

Para BAC com razões água/ligante mais correntes, como a usada neste trabalho, cerca de 0,43, que, devido ao uso de adições correspondem normalmente a razões água/cimento

mais elevadas, sugerem-se 3 níveis de atuação, com eficiência crescente, para a mitigação da retração:

- Nível 1 – Utilização de ARR.
- Nível 2 – Uso combinado ARR e AE, com dosagens baixas de AE, até cerca de 20 kg/m³.
- Nível 3 – Uso combinado ARR e AE por formulação específica de composições através de estudo experimental e recorrendo ao conceito de retração programada, com salvaguarda do eventual uso deletério em ambientes de humidade elevada.

REFERÊNCIAS

- [1] Folliard KJ, Berke NS, “Properties of high-performance concrete containing shrinkage-reducing admixtures”, *Cem Concr Res* (1997) 27:1357-64.
- [2] Rongbing B, Jian S., “Synthesis and evaluation of shrinkage-reducing admixture for cementitious materials”, *Cem Concr Res* (2005) 35:445-8.
- [3] Ribeiro, A.B., Carrajola, A., Gonçalves, A. And Branco, F., “Effect of the synergy of two shrinkage reducing admixtures”, *International RILEM Conferences on “Volume Changes of Hardening Concrete: Testing and Mitigation”*, Denmark, Lyngby, (2006) 223-30.
- [4] Maltese C., Pistolesi C., Lolli A., Bravo A., Cerulli T., Salvioni D., “Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to obtain stable and durable mortars”. *Cem Concr Res* (2005) 35:2244-51.
- [5] Meddah MS, Szuki M, Sato R, “Influence of a combination of expansive and shrinkage-reducing admixture on autogenous deformation and self-stress of silica fume high-performance concrete”, *Constr Build Mater* (2011) 25 (1): 239-50.
- [6] Oliveira M, Bettencourt A, Branco FG, “Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to control autogenous shrinkage in self-compacting concrete”, *Const Build Mater* (2014) 52:267-75.
- [7] Oliveira M, Bettencourt A, Branco FG, “Curing effect in the shrinkage of a lower strength self-compacting concrete”, *Const Build Mater* (2015) 93:1206-15.