



EFEITO DOS POLÍMEROS SUPERABSORVENTES NA RESISTÊNCIA DO BETÃO AO GELO-DEGELO

João Custódio¹, António Bettencourt Ribeiro²

¹*Departamento de Materiais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), jcustodio@lnec.pt,*

²*Departamento de Materiais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), bribeiro@lnec.pt*

RESUMO

A grande evolução da tecnologia do betão verificada nas últimas décadas deve-se, em grande parte, ao desenvolvimento e utilização de novos adjuvantes, os quais apesar de serem utilizados em muito pequena quantidade no betão resultam no melhoramento substancial das suas propriedades, quer no estado fresco quer no estado endurecido. Os superplastificantes de última geração constituem um dos exemplos mais importantes pois permitiram o desenvolvimento de novos tipos de betão, em especial o betão autocompactável que tornou compatível a coexistência de elevada fluidez e muito alta resistência. Um outro exemplo menos divulgado é o da utilização de polímeros superabsorventes para controlar as propriedades reológicas do betão fresco e a absorção ou libertação de água no betão, no estado fresco ou endurecido. Mais recentes são os trabalhos que visam avaliar se a utilização destes polímeros superabsorventes permite melhorar a durabilidade do betão através, por exemplo, da melhoria da sua resistência à ação do gelo-degelo.

No âmbito dos trabalhos desenvolvidos pela comissão técnica 225-SAP da RILEM foi realizado um estudo envolvendo ensaios interlaboratoriais, com o qual se pretendeu avaliar o desempenho de dois polímeros superabsorventes na melhoria da resistência ao gelo-degelo de betão.

Nesta comunicação são apresentadas as principais conclusões resultantes do trabalho desenvolvido por todos os participantes deste estudo interlaboratorial.

Palavras-chave: Degradação / Betão / Polímeros superabsorventes / Gelo-degelo



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

1. INTRODUÇÃO

A grande evolução da tecnologia do betão verificada nas últimas décadas deve-se, em grande parte, ao desenvolvimento e utilização de novos adjuvantes (aditivos) químicos, os quais apesar de serem utilizados em muito pequena quantidade resultam no melhoramento substancial de diversas propriedades do betão, no estado fresco e no estado endurecido (Dodson 1990; Ramachandran *et al.* 1998). Um dos exemplos mais proeminentes consistiu no desenvolvimento de superplastificantes de última geração que permitiu novos tipos de betão, como por exemplo, o betão autocompactável e o betão com simultaneamente elevada fluidez e muito alta resistência (Rixom and Mailvaganam 1999; Spiratos *et al.* 2003). Um outro exemplo, mais recente, consiste na utilização de polímeros superabsorventes, PSAs, para controlar as propriedades reológicas do betão fresco e a absorção ou libertação de água no betão, no estado fresco ou endurecido (Buchholz and Graham 1998; Mechtcherine *et al.* 2014; Mechtcherine and Reinhardt 2012). Mais recentemente tentou-se utilizar os PSAs para melhorar a durabilidade do betão através, por exemplo, da melhoria da sua resistência à ação do gelo-degelo.

Atualmente, a melhoria do comportamento do betão face ao gelo-degelo é essencialmente conseguida através da utilização de adjuvantes introdutores de ar, AIA, os quais permitem incorporar durante a amassadura uma quantidade controlada de pequenas bolhas de ar uniformemente repartidas e que subsistem após o endurecimento. Contudo, estes adjuvantes possuem algumas limitações, por exemplo, o sistema de vazios pode não ser suficientemente estável para resistir ao transporte, colocação e compactação do betão ou, simplesmente, não ser adequado ao método de aplicação do betão, como sucede com o betão projetado (Du and Folliard 2005; Pigeon and Pleau 1995).

A eficácia dos AIA depende, entre outros fatores, da temperatura no momento da betonagem, da dosagem de areia, do processo de mistura dos constituintes do betão, da dosagem e forma das partículas dos agregados, assim como, do tipo, dosagem e finura do cimento (Dodson 1990; Du and Folliard 2005).

O sistema de vazios criado pelos PSAs no betão resulta, não da fixação do ar introduzido neste durante a amassadura, mas sim do espaço que as partículas do PSA deixam no betão após perderem, total ou parcialmente, a água que possuíam inicialmente.

Apesar de os trabalhos existentes na literatura demonstrarem ser possível melhorar a resistência do betão à ação do gelo-degelo através da utilização de polímeros



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

superabsorventes (Laustsen *et al.* 2008; Reinhardt *et al.* 2008), é ainda necessário aferir a robustez de tal solução. Nesse sentido, no âmbito da comissão técnica da RILEM 225-SAP “Application of super absorbent polymers in concrete construction” foi realizado um estudo que incluiu ensaios interlaboratoriais, envolvendo 13 grupos de investigação distribuídos por 10 países (Quadro 1), no qual se pretendeu avaliar o desempenho de dois polímeros superabsorventes na melhoria resistência ao gelo-degelo de betão produzido com agregados e cimentos correntemente utilizados nos países participantes. Nesta comunicação será apresentado com maior detalhe o trabalho realizado pelo LNEC no referido estudo; sendo que os resultados globais de todos os participantes pode ser consultada em (Mechtcherine *et al.* 2017).

Quadro 1 – Participantes no estudo interlaboratorial

N.º	Instituição	País
1	Empa - Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology	Suíça
2	LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil	Portugal
3	National Research Council Canada	Canada
4	Delft University of Technology	Holanda
5	University of Stuttgart	Alemanha
6	Purdue University	EUA
7	Kanazawa University	Japão
8	Oita National College of Technology	Japão
9	Technical University of Dresden	Alemanha
10	BASF Trostberg	Alemanha
11	Ghent University	Bélgica
12	Moscow State University of Civil Engineering	Rússia
13	Riga Technical University	Letónia

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A campanha experimental desenvolvida no LNEC para avaliar o desempenho de dois polímeros superabsorventes, PSA 1 e PSA 2, na melhoria resistência do betão ao gelo-degelo, está apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Campanha experimental

Ensaio	Betão de referência	Betão com PSA 1	Betão com PSA 2
Determinação do espalhamento do betão fresco			
Determinação do teor de ar do betão fresco			
Determinação da resistência à compressão de betão endurecido	R.45	S1.50	S2.50
Determinação da resistência do betão ao gelo-degelo			



2.1. Betões avaliados

O estudo envolveu a avaliação de três composições de betão, uma de referência (designada por R.45) e duas contendo os PSAs 1 e 2 (designadas respetivamente por S1.50 e S2.50).

Relativamente aos betões de referência usados pelos participantes, estes foram formulados de modo a obter uma composição que se aproximasse o mais possível da composição de base definida pelo participante 9 (Quadro 3), no que se refere a granulometria dos agregados, dosagem de cimento e razão *a/c*.

Quadro 3 – Composição do betão do participante 9

Constituintes	Dosagem [kg/m ³]	Dosagem [dm ³ /m ³]
Cimento	350,0	111,5
Água, <i>w/c</i> = 0,45	157,5	157,5
Agregado fino, 0,06-0,2 mm	135,5	51,1
Agregado fino, 0-2 mm	425,9	160,7
Agregado fino/grosso, 2-8 mm	271,0	102,3
Agregado grosso, 8-22 mm	1103,4	394,2
Superplastificante (Woerment FM30) (0,9 % <i>m_{SP}/m_C</i>)	3,15	2,9

NOTE: *m_{SP}/m_C* – percentagem mássica de adjuvante em relação ao cimento.

Após pequenas correções para acerto de trabalhabilidade, a composição do betão de referência R.45 (Quadro 7) obtida pelo participante 9, com uma razão água/cimento de 0,45, pertence à classe de consistência F3 (diâmetro de espalhamento entre 420 e 480 mm, medido de acordo com a EN 12350-5 (CEN 2009a; IPQ 2009).

Nos ensaios realizados no LNEC utilizou-se um cimento corrente comercial CEM I 42,5R; cujas características químicas, determinadas de acordo com a EN 196-2 (CEN 2013), e físicas, determinadas de acordo com a EN 196-3 e 196-6 (CEN 2005; CEN 2010), estão apresentadas no Quadro 4.

Os agregados utilizados no LNEC consistiram numa mistura proporcionada de areia siliciosa e britas calcárias. A curva granulométrica utilizada cumpre os limites estabelecidos em (DIN 2008) e está apresenta na Fig. 1. Apesar de cada participante ter utilizado agregados locais, todos utilizaram curvas granulométricas que respeitavam os valores indicados no Quadro 3.



Quadro 4 – Características químicas e físicas do cimento

Propriedade	Valor	Propriedade	Valor
Perda ao rubro	2,91 %	Densidade	3,14 g/cm ³
SiO ₂	19,77 %	Finura Blaine	4020 cm ² /g
Al ₂ O ₃	5,20 %	Pasta de consistência normal	
Fe ₂ O ₃	3,61 %	Água de pasta	27,80 %
CaO (total)	64,32 %	Tempo de início de presa	140 min
MgO	1,27 %	Tempo de final de presa	185 min
SO ₃	2,66 %	Expansibilidade	1,5 mm
K ₂ O	0,66 %		
Na ₂ O	0,22 %		
Cl	0,03 %		

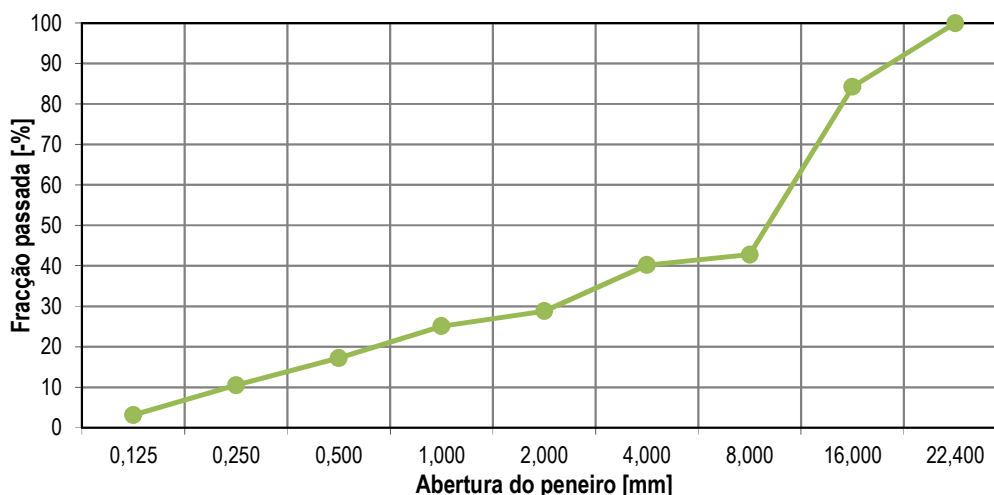


Fig. 1 – Curva granulométrica dos agregados utilizados

O adjuvante escolhido para o estudo foi o superplastificante comercial BASF Woerment FM 30 (atualmente comercializado sob a designação MasterRheobuild 30), do tipo poli(sulfonato de naftaleno). Todos os participantes utilizaram o mesmo adjuvante, com a exceção do participante 1, uma vez que esse adjuvante demonstrou ser incompatível com o cimento CEM I 42.5 N utilizado; o superplastificante alternativo escolhido foi o BASF Glenium ACE404 (atualmente comercializado sob a designação MasterGlenium ACE 404), do tipo poli(éter carboxílico).

Os dois PSAs utilizados no estudo foram selecionados com base em ensaios preliminares realizados pelo participante 9, sendo que apenas um dos PSAs estudados é um produto comercial. Ambos os PSAs são poliacrilamidas aniónicas com reticulação e densidade de carga médias. A capacidade de absorção livre dos PSAs, medida no filtrado de uma



suspensão de cimento (CEM I 42,5 N, $a/c = 4,3$), foi de 37 g/g e 35 g/g para o PSA 1 e de 35 g/g e 33 g/g para o PSA 2, respetivamente após 1 hora e 7 horas de ensaio (Schröfl *et al.* 2012). A granulometria dos dois PSAs no estado seco, medida por granulometria laser e utilizando o propan-2-ol como meio dispersante, está apresentada na Fig. 2. A dosagem de PSA utilizada por cada participante foi ajustada ligeiramente a partir do valor recomendado de 0,15 % (percentagem da massa de cimento) para que o espalhamento do betão produzido se enquadrasse na classe de consistência F3. A razão a/c dos betões contendo os PSAs, S1.50 e S2.50, foi aumentada de 0,45 para 0,50 para ter em conta a água que os mesmos absorvem durante a amassadura. O procedimento utilizado para misturar os constituintes do betão, comum a todos os participantes, está apresentado no Quadro 5. Para alguns participantes, como foi o caso do LNEC, foi ainda necessário reduzir a dosagem de superplastificante.

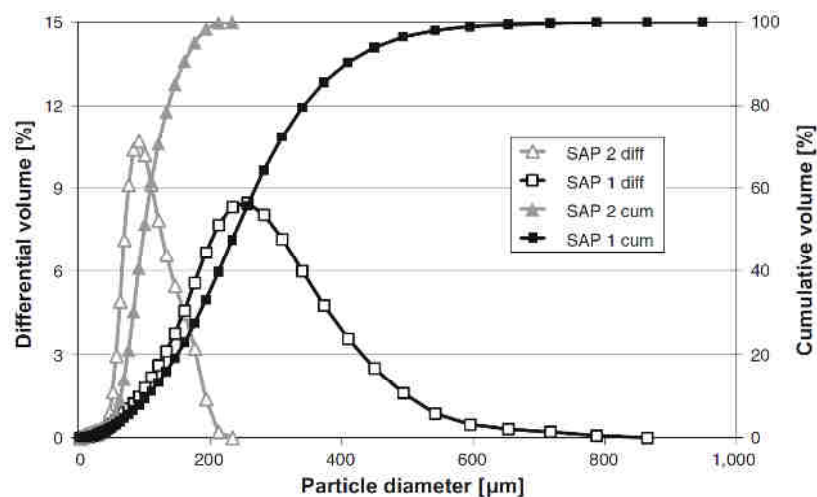


Fig. 2 – Distribuição da dimensão das partículas dos dois PSAs [figura adaptada de (Mechtcherine *et al.* 2017)]

Quadro 5 – Procedimento de mistura dos constituintes do betão

Tempo [min:s]	Ação	Duração [min:s]
-02:00 - 00:00	Homogeneizar constituintes secos	02:00
00:00 - 00:30	Adicionar água	00:30
00:30 - 01:30	Misturar	01:00
01:30 - 01:45	Adicionar superplastificante	00:15
01:45 - 03:45	Misturar	02:00



2.2. Métodos

Após a definição da formulação dos betões, a campanha experimental (Quadro 2) visou a avaliação do desempenho dos PSAs no que se refere à sua influência nas resistências à compressão e ao gelo-degelo.

A formulação do betão de referência foi efetuada ajustando a composição de base (Quadro 3), em termos da dosagem de superplastificante, para que, com o cimento e agregados nacionais, fosse possível obter um betão com uma classe de consistência F3. O método utilizado para determinar o espalhamento do betão fresco foi o definido na norma EN 12350-5 (CEN 2009a). Para se obter um valor de espalhamento entre 420 e 480 mm foi necessário reduzir a dosagem de superplastificante de 0,9 % para 0,65 % (Quadro 6). Uma vez definida a dosagem de superplastificante, foram realizados ensaios de determinação do espalhamento do betão fresco contendo os PSAs (betões S1.50 e S2.50). Verificou-se que a dosagem de PSA recomendada, de 0,15 %, produzia espalhamentos inferiores aos da classe F3, pelo que foi necessário utilizar uma dosagem de 0,12 % para o PSA 1 e de 0,13 % para o PSA 2 (Quadro 6). As composições finais dos betões avaliados estão descritas nos Quadros 7 a 9.

Quadro 6 – Valores de espalhamento dos betões avaliados

Betão	Espalhamento (mm)
Referência	468
S1.50	465
S2.50	481

Quadro 7 – Composição do betão de referência, R.45

Constituintes	Dosagem [kg/m ³]
Cimento CEM I 42.5 R	350
Água, w/c = 0,45	157,5
Agregado fino, 0-2 mm	533
Agregado fino/grosso, 2-8 mm	258
Agregado grosso, 8-22,4 mm	1058
Superplastificante (Woerment FM 30) (0,65 % m _{SP} /m _C)	2,28

NOTE: m_{SP}/m_C – percentagem mássica de adjuvante em relação ao cimento.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Quadro 8 – Composição do betão com PSA 1, S1.50

Constituintes	Dosagem [kg/m ³]
Cimento CEM I 42.5 R	350
Água, a/c = 0,45	175
Agregado fino, 0-2 mm	533
Agregado fino/grosso, 2-8 mm	258
Agregado grosso, 8-22,4 mm	1058
Superplastificante (Woerment FM 30) (0,65 % m _{SP/mc})	2.28
Polímero superabsorvente 1 (0,12 % m _{PSA/mc})	0.42

NOTA: m_{SP/mc} – percentagem mássica de adjuvante em relação ao cimento;
m_{PSA/mc} – percentagem mássica do polímero superabsorvente seco em relação ao cimento.

Quadro 9 – Composição do betão com PSA 2, S2.50

Constituintes	Dosagem [kg/m ³]
Cimento CEM I 42.5 R	350
Água, w/c = 0,45	175
Agregado fino, 0-2 mm	533
Agregado fino/grosso, 2-8 mm	258
Agregado grosso, 8-22,4 mm	1058
Superplastificante (Woerment FM 30) (0,65 %)	2.28
Polímero superabsorvente 2 (0,13 % m _{PSA/mc})	0,45

NOTA: m_{SP/mc} – percentagem mássica de adjuvante em relação ao cimento;
m_{PSA/mc} – percentagem mássica do polímero superabsorvente seco em relação ao cimento.

Para além da avaliação das resistências à compressão e ao gelo-degelo, foi também determinado o teor de ar do betão fresco. O teor de ar foi determinado de acordo com o método do manómetro definido na norma EN 12350-7 (CEN 2009b). A resistência à compressão foi determinada aos 28 dias em cubos de 150 mm de acordo com a norma EN 12390-3 (CEN 2009c).

O ensaio de determinação da resistência do betão ao gelo-degelo foi efetuado seguindo o método de referência estabelecido no documento DD CEN/TS 12390-9 (CEN 2006). Foi avaliada a resistência do betão ao gelo-degelo na presença de dois meios de congelação distintos, água destilada e uma solução de cloreto de sódio com uma concentração mássica de 3 %.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios de determinação do teor de ar dos betões no estado fresco estão apresentados no Quadro 10. Analisando os resultados verifica-se que o teor obtido no betão de referência (R.45) é semelhante aos obtidos nos betões contendo PSAs



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

(S1.50 e S2.50), pelo que se verifica que a adição dos PSAs não resultou num aumento do teor de ar e, conseqüentemente, eventuais diferenças no desempenho dos betões face ao gelo-degelo estarão relacionadas apenas com a ação dos polímeros superabsorventes. Este foi também o comportamento observado pela maioria dos participantes no estudo. Refira-se ainda que, o maior teor de ar observado para o betão S2.50 relativamente ao betão S1.50 poderá dever-se à ligeiramente maior dosagem de PSA utilizada no primeiro (*i.e.* 0,13 % no S2.50 e 0,12 % no S1.50). Alguns participantes avaliaram também uma composição de referência com uma razão a/c de 0,5 (R.50), tendo-se verificado que o seu teor de ar era semelhante ao das restantes composições (R.45, S1.50 e S2.50).

Quadro 10 – Teor de ar do betão no estado fresco

Betão	Teor de ar [%]
R.45	2,30
S1.50	2,30
S2.50	2,35

No que diz respeito à resistência à compressão dos provetes de betão (Quadro 11), verifica-se existir uma redução na resistência com a introdução dos polímeros superabsorventes. Esta foi também a tendência verificada pela maioria dos participantes no estudo, estando de acordo com o esperado, uma vez que aos betões contendo PSAs foi adicionada mais água para compensar aquela que é por eles absorvida; estando também de acordo com o comportamento observado em estudos anteriores (Mechtcherine *et al.* 2014; Mechtcherine and Reinhardt 2012). No presente caso, observou-se que a redução foi ligeiramente superior para a composição S2.50; dos resultados obtidos pelos restantes participantes não foi possível extrair um padrão nesta variação. Através dos resultados dos participantes que também avaliaram a composição R.50, verificou-se que o valor da resistência se situava entre o do betão R.45 e os dos betões S1.50 e S2.50 ou, então, era semelhante ao das composições com PSAs (*i.e.* S1.50 e S2.50).

Quadro 11 – Resistência do betão à compressão

Betão	Resistência à compressão aos 28 dias [MPa]
R.45	55,7 (2,0)
S1.50	51,4 (1,9)
S2.50	50,8 (0,9)

NOTA: O valor apresentado entre parenteses representa o desvio padrão.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Os resultados obtidos no ensaio de determinação da resistência do betão ao gelo-degelo estão apresentados no Quadro 12 e nas Figuras 3 a 5.

Quadro 12 – Massa de betão perdido durante o ensaio de gelo-degelo

Betão	S_{n,H_2O} [kg·m ⁻²]	$S_{n,NaCl}$ [kg·m ⁻²]
R.45	*	5,1 (1,5)
S1.50	*	8,2 (2,6)
S2.50	*	3,7 (2,4)

NOTA: S_n = massa de betão destacado, durante 56 ciclos de gelo-degelo, por unidade de área exposta ao meio congelante.

* Não foi registada qualquer perda de massa relevante no ensaio que utilizou a água destilada como meio congelante.

O valor apresentado entre parênteses representa o desvio padrão.

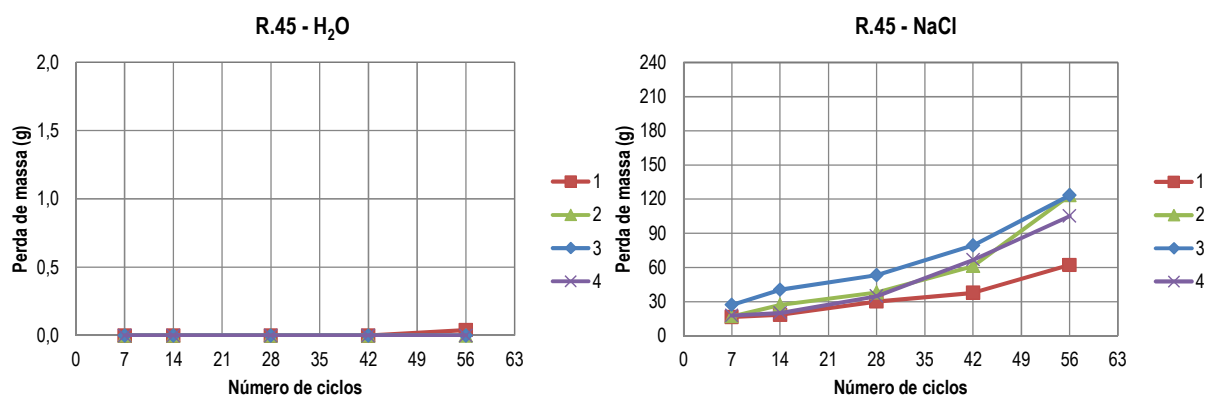


Fig. 3 – Resultados obtidos nos ensaios de determinação da resistência do betão de referência ao gelo-degelo (à esquerda com água destilada e à direita com uma solução de cloreto de sódio)

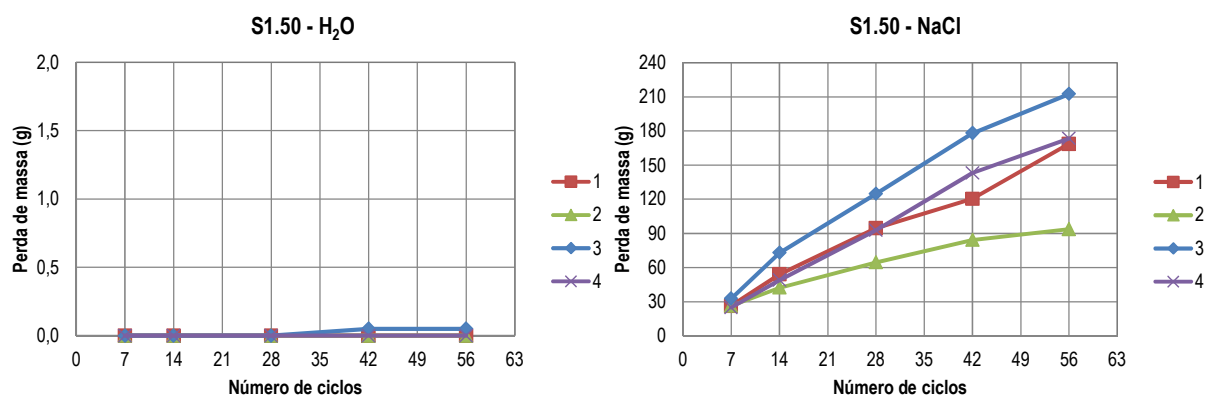


Fig. 4 – Resultados obtidos nos ensaios de determinação da resistência do betão com PSA 1 ao gelo-degelo (à esquerda com água destilada e à direita com uma solução de cloreto de sódio)

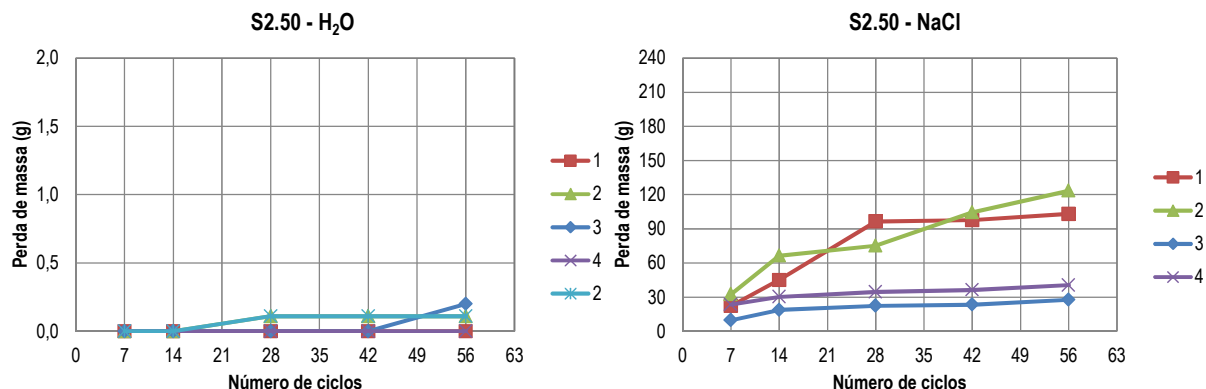


Fig. 5 – Resultados obtidos nos ensaios de determinação da resistência do betão com PSA 2 ao gelo-degelo (à esquerda com água destilada e à direita com uma solução de cloreto de sódio)

Nos ensaios realizados sem cloreto de sódio, todos os betões apresentaram um valor de S_n inferior a 1 kg/m^2 após 56 ciclos de gelo-degelo, pelo que se considera que os mesmos apresentam uma boa resistência ao gelo-degelo (Siebel and Breit 1999; SIS 1995); contudo, na presença de cloreto de sódio, todas as composições de betão ultrapassaram esse valor, pelo que, de acordo com (Siebel and Breit 1999; SIS 1995), os betões avaliados não apresentam uma resistência satisfatória ao gelo-degelo na presença de sais descongelantes. Refira-se que no ensaio realizado, não se avaliou a existência de dano interno no betão, pelo que as conclusões referem-se apenas aos efeitos do gelo-degelo na superfície do betão. Analisando os resultados dos ensaios em que se utilizou a solução de cloreto de sódio, é possível constatar que o betão S2.50 apresentou um melhor desempenho do que o betão R.45. O betão S1.50 registou o desempenho menos satisfatório, contudo a elevada dispersão obtida nos resultados, não permite extrair mais ilações. Comparando os resultados obtidos no LNEC (Quadro 12) com os obtidos pelo participante 11 (Quadro 13), verifica-se ter sido obtido um comportamento semelhante; contudo, neste caso, o betão S1.50 obteve um desempenho claramente superior ao do betão R.45. Considerando os resultados de todos os participantes, constata-se que a inclusão de um PSA no betão, sem a adição extra de água, resulta numa melhoria significativa da resistência do betão ao gelo-degelo; contudo, quando a inclusão de um PSA no betão é acompanhada pela adição extra de água, o desempenho é muito variado, podendo manter-se inalterado, melhorar ou mesmo ser inferior ao do betão de referência. Em geral, o PSA 2 foi mais eficaz na melhoria da resistência do betão ao gelo-degelo. Uma vez que ambos os PSAs apresentam uma cinética de absorção e uma forma das partículas



semelhantes entre si, a diferença observada no seu desempenho poderá advir da menor dimensão das partículas do PSA 2 comparativamente às do PSA 1 (Fig. 2) (Laustsen *et al.* 2008) ou da sua composição química específica, que permita obter vazios com uma melhor estabilidade a longo-prazo (Justs *et al.* 2015).

Quadro 13 – Massa de betão perdido durante o ensaio de gelo-degelo realizado pelo participante 11

Betão	S_{n,H_2O} [kg·m ⁻²]	$S_{n,NaCl}$ [kg·m ⁻²]
R.45	*	5,0 (1,5)
S1.50	*	1,9 (1,3)
S2.50	*	2,4 (1,2)
R.50	*	7,6 (0,6)

NOTA: S_n = massa de betão destacado, durante 56 ciclos de gelo-degelo, por unidade de área exposta ao meio congelante.

* Não foi registada qualquer perda de massa relevante no ensaio que utilizou a água destilada como meio congelante.

O valor apresentado entre parenteses representa o desvio padrão.

4. CONCLUSÕES

Através do presente estudo pretendeu-se verificar a robustez da utilização de polímeros superabsorventes na melhoria da resistência do betão ao gelo-degelo. Para isso, foram testados dois polímeros superabsorventes, um produto comercial e um produto em desenvolvimento, em betões produzidos com cimento e agregados locais. Foram avaliados betões com razões a/c de 0,45 e 0,50, com e sem polímeros superabsorventes. Alguns participantes testaram também o desempenho de adjuvantes introdutores de ar. Foram ainda caracterizadas as propriedades mecânicas do betão aos 28 dias de idade, nomeadamente a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e a resistência à tração por compressão diametral. A resistência do betão ao gelo-degelo foi aferida através de vários métodos de ensaios, com e sem agentes de descongelação.

Os ensaios mecânicos permitiram concluir que, em geral, a utilização de polímeros superabsorventes no betão, resulta numa redução das propriedades mecânicas sempre que em simultâneo é adicionada água extra para compensar a que é absorvida pelos polímeros durante a amassadura. Sendo essa redução semelhante à que ocorre quando se aumenta, na mesma proporção, a razão a/c do betão sem polímeros superabsorventes.

No que diz respeito à resistência do betão ao gelo-degelo, concluiu-se que a utilização dos polímeros superabsorventes com a adição extra de água resulta, na maior parte dos casos, na manutenção do desempenho ou numa melhoria moderada a significativa deste. Contudo, existiram situações, ainda que pontuais, em que o betão produzido com polímeros superabsorventes registou um desempenho inferior ao do betão de referência.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Os betões produzidos com o polímero superabsorvente, cujas partículas apresentavam uma menor dimensão, registaram globalmente melhores resultados no ensaio de gelo-degelo.

A resistência ao gelo-degelo dos betões produzidos com polímeros superabsorventes, sem a adição suplementar de água, foi sempre superior à dos betões de referência.

Conclui-se ainda que resistência ao gelo-degelo dos betões produzidos com adjuvantes introdutores de ar foi, em geral, superior à obtida com os betões que continham polímeros superabsorventes; apenas pontualmente, se obtiveram desempenhos equivalentes.

Neste estudo foi possível ainda verificar que o decréscimo de resistência observado para os betões que utilizavam polímeros superabsorventes, com a água adicional, foi sempre inferior ao que ocorreu para os betões contendo adjuvantes introdutores de ar.

Os resultados do presente estudo evidenciam ser ainda necessário aprofundar o estudo do mecanismo de ação dos polímeros superabsorventes no comportamento do betão face ao gelo-degelo por forma a melhorar a eficácia e a robustez desta solução.

5. REFERÊNCIAS

- Buchholz, F. L. and Graham, A. T. (1998). "Modern Superabsorbent Polymer Technology", Wiley-VCH: New York.
- CEN (2005). "EN 196-3:2005 Method of testing cement. Part 3: Determination of setting times and soundness", European Committee for Standardization (CEN): Brussels.
- CEN (2006). "DD CEN/TS 12390-9:2006 Testing hardened concrete. Freeze-thaw resistance. Scaling", European Committee for Standardization (CEN): Brussels.
- CEN (2009a). *EN 12350-5:2009 Testing Fresh Concrete. Part 5: Flow Table Test*, European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- CEN (2009b). *EN 12350-7:2009 Testing fresh concrete. Part 7: Air content - Pressure methods*, European Committee for Standardization (CEN), 36 rue de Stassart, B - 1050 Brussels, Belgium.
- CEN (2009c). "EN 12390-3:2009 Testing hardened concrete. Part 3: Compressive strength of test specimens", European Committee for Standardization (CEN): Brussels.
- CEN (2010). "EN 196-6:2010 Method of testing cement. Part 6: Determination of fineness", European Committee for Standardization (CEN): Brussels.
- CEN (2013). "EN 196-2:2013 Method of testing cement. Part 2: Chemical analysis of cement", European Committee for Standardization (CEN): Brussels.
- DIN (2008). "DIN 1045-2:2008 Concrete, reinforced and prestressed concrete structures. Part 2: Concrete. Specification, properties, production and conformity. Application rules for DIN EN 206-1", Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): Berlin.
- Dodson, V. H. (1990). *Concrete Admixtures*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Du, L. and Folliard, K. J. (2005). "Mechanisms of air entrainment in concrete". *Cement and Concrete Research*, 35 (8), 1463-1471.
- IPQ (2009). "NP EN 12350-5:2009 Ensaio do betão fresco. Parte 5: Ensaio da mesa de espalhamento", Instituto Português da Qualidade, I.P. (IPQ): Caparica.
- Justs, J., *et al.* (2015). "Internal curing by superabsorbent polymers in ultra-high performance concrete". *Cement and Concrete Research*, 76, 82-90.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Laustsen, S., *et al.* (2008). "A new technology for air-entrainment of concrete", in 2nd International Conference on Microstructural-related Durability of Cementitious Composites. Nanjing, China. 2008.
- Mechtcherine, V., *et al.* (2014). "Effect of internal curing by using superabsorbent polymers (SAP) on autogenous shrinkage and other properties of a high-performance fine-grained concrete: results of a RILEM round-robin test". *Materials and Structures*, 47 (3), 541-562.
- Mechtcherine, V. and Reinhardt, H.-W. (2012). "Application of Super Absorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction. State-of-the-Art Report Prepared by Technical Committee 225-SAP". *RILEM State-of-the-Art Reports*, Springer Netherlands: Dordrecht.
- Mechtcherine, V., *et al.* (2017). "Effect of superabsorbent polymers (SAP) on the freeze-thaw resistance of concrete: results of a RILEM interlaboratory study". *Materials and Structures*, 50:14.
- Pigeon, M. and Pleau, R. (1995). *Durability of Concrete in Cold Climates*, E&FN Spon, London.
- Ramachandran, V. S., *et al.* (1998). *Superplasticizers: properties and applications in concrete*, Canada Centre for Mineral and Energy Technology - CANMET Publication MTL 97-14 (TR), Ottawa.
- Reinhardt, H.-W., *et al.* (2008). "Superabsorbent polymers (SAPs) - an admixture to increase the durability of concrete", in 2nd International Conference on Microstructural-related Durability of Cementitious Composites. 2008.
- Rixom, R. and Mailvaganam, N. (1999). *Chemical Admixtures for Concrete*, E & FN Spon, London.
- Schröfl, C., *et al.* (2012). "Relation between the molecular structure and the efficiency of superabsorbent polymers (SAP) as concrete admixture to mitigate autogenous shrinkage". *Cement and Concrete Research*, 42 (6), 865-873.
- Siebel, E. and Breit, W. (1999). "Ergebnisse eines europäischen Ringversuchs. Frost- und frost-tausalz-prüfverfahren - Results of an European Round Robin Test. Standard methods for testing the resistance of concrete to freezing and thawing ". *Betontechnische Berichte*, 11, 85-92.
- SIS (1995). "SS 137244:1995 Concrete testing. Hardened concrete. Scaling at freezing", Swedish Standards Institute (SIS): Stockholm.
- Spiratos, N., *et al.* (2003). *Superplasticizers for Concrete: Fundamentals, Technology, and Practice*, Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development, Inc., Ottawa.