

Acção das temperaturas negativas no betão às primeiras idades



Manuel Vieira ¹



Arlindo Gonçalves ²

RESUMO

A NP ENV 13670 estabelece que a superfície do betão dever ser protegida de temperaturas negativas até que o betão da zona superficial tenha atingido uma resistência à compressão tal que consiga resistir à acção do gelo sem sofrer danos (em geral desde que $f_c > 5\text{MPa}$).

Em certas zonas do nosso país e na época do Inverno, ocorrem com facilidade temperaturas abaixo de 0°C, as quais nos elementos estruturais mais expostos e de menor espessura, como por exemplo as lajes, poderão conduzir a perdas significativas da resistência.

Nesta comunicação apresentam-se os resultados obtidos num betão corrente sujeito a temperaturas negativas nas primeiras horas, tendo-se iniciado o abaixamento da temperatura logo após a amassadura e depois de o betão já ter adquirido uma resistência à compressão superior a 5 MPa. A eficiência de um adjuvante com propriedades anticongelantes foi também avaliada.

Os resultados obtidos confirmam que a recomendação da norma de execução de estruturas de betão deve ser efectivamente seguida, pois de contrário verificam-se reduções da resistência à compressão.

PALAVRAS-CHAVE

Betão; Temperatura; Gelo; Anticongelantes; Revibração.

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Materiais, Núcleo de Betões, 1700-066 Lisboa, Portugal. mvieira@lnec.pt

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Materiais, Núcleo de Betões, 1700-066 Lisboa, Portugal. arlindo@lnec.pt

1. INTRODUÇÃO

A literatura refere que a hidratação do cimento pode ocorrer a temperaturas até cerca de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]. No entanto, quando sujeita a temperaturas negativas, a água do betão gela, diminuindo assim a quantidade de água líquida disponível para as reacções de hidratação, retardando a presa e o endurecimento do betão. A água no interior do betão começa a gelar quando atinge cerca de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Entretanto, à medida que congela, a concentração iónica na água líquida vai aumentando, baixando então o ponto de congelação. Refira-se que por cada $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ de diminuição da temperatura, o tempo de início de presa duplica, aproximadamente.

Caso o betão congele logo que seja colocado, a presa não terá lugar, e então não haverá pasta de cimento para ser danificada pela formação do gelo. Assim, enquanto as baixas temperaturas se mantiverem, o processo de hidratação será interrompido. Quando a uma idade posterior ocorrer o degelo, o betão deverá ser revibrado. Devido à expansão da água de amassadura, quando congela, a ausência de revibração permitirá que o betão endureça com um grande volume de poros, com a consequente diminuição de resistência à compressão. Assim, a revibração durante o degelo deverá conduzir à obtenção de um betão satisfatório [1]. No entanto, tal procedimento não é recomendável pela dificuldade em estabelecer os tempos de presa em obra.

Se o congelamento ocorrer após o betão ter iniciado a presa, mas antes de desenvolver uma resistência à compressão apreciável, a expansão associada à formação de gelo pode destruir a estrutura interna do betão, conduzindo a uma perda irrecuperável da sua resistência. No entanto, se o betão atingiu uma resistência suficiente, então poderá resistir à acção do gelo sem dano. Tal se deve, não só por o betão oferecer maior resistência à pressão do gelo mas também porque uma grande quantidade da água se terá combinado com o cimento ou estará localizada em poros de pequena dimensão, não podendo então congelar. De acordo com o ACI 306R-88 [2], quando o betão atinge a resistência à compressão de cerca $3,5\text{ MPa}$, o grau de saturação desce abaixo do valor crítico, desde que não haja ingresso de água no betão. Nesta fase o betão tem já capacidade de resistir a um ciclo de gelo-degelo.

Refira-se que a norma NP ENV 13670 [3] estabelece que a superfície do betão deve ser protegida de temperaturas negativas até que o betão da zona superficial tenha atingido uma resistência à compressão tal que consiga resistir à acção do gelo sem sofrer danos. O valor mínimo recomendado para a resistência é de $5,0\text{ MPa}$, valor este superior ao preconizado pelo ACI.

Para obviar os efeitos das baixas temperaturas na resistência do betão, são aconselhados alguns procedimentos para a aplicação do betão nestas condições adversas.

Relativamente à composição dos betões, esta deverá permitir o ganho de presa o mais rápido possível, para por um lado aproveitar intervalos de tempo em que as temperaturas ambiente não sejam muito baixas, e por outro, no sentido de haver uma maior e mais rápida libertação de calor das reacções de hidratação. Assim, são recomendados a utilização de adjuvantes aceleradores de presa (sem cloretos), de cimentos com elevado calor de hidratação ou de grandes resistências iniciais e de adjuvantes redutores de água, para diminuir a quantidade de água de amassadura e acelerar as reacções de hidratação.

Para a produção do betão convém que os materiais tenham estado protegidos do gelo e da neve, de modo a que não se introduzam na misturadora com inclusões de gelo. Recomenda-se também que seja aumentado o tempo de amassadura para que, pelo efeito mecânico das pás, se aumente o calor da mistura e se desagreguem possíveis pedaços de gelo.

Quanto ao transporte e à colocação, estes devem tomar o menor tempo possível. É exigido que nunca se betone um elemento cujas cofragens estejam geladas ou cobertas de neve, recomendando-se o uso de cofragens isoladas termicamente.

Após a colocação, é primordial a protecção do betão, a qual pode ser feita recorrendo a coberturas, a painéis de poliestireno, a produtos de cura, entre outros. Caso seja possível, é eficaz o aquecimento do betão. Por fim, deve efectuar-se o controlo da resistência do betão antes da sua descofragem seja por cubos de prova colocados nas mesmas condições da obra, seja por maturometria.

Para avaliar a influência das temperaturas negativas na resistência à compressão do betão e de algumas medidas correctivas, efectuou-se um estudo experimental cujos resultados se apresentam na presente comunicação.

2. TRABALHO EXPERIMENTAL

O trabalho experimental foi efectuado em duas fases distintas: uma primeira na qual as temperaturas negativas aplicadas foram inferiores a -10°C e uma segunda a -5°C . Em ambas as fases estudou-se o efeito da aplicação de um adjuvante anticongelante e da idade em que se iniciou a exposição às temperaturas negativas. Na primeira fase avaliou-se também o efeito da revibração nas resistências à compressão dos betões.

2.1 Materiais

Foram utilizados materiais de diferentes origens para os ensaios de cada fase do trabalho experimental. No entanto, procurou-se que o tipo de material fosse o mais similar possível.

Os cimentos utilizados na primeira e na segunda fase foram do tipo I 42,5R, com valores de massas volúmicas de 3110 kg/m^3 e 3160 kg/m^3 , respectivamente.

Foram utilizadas areias naturais de origem siliciosa e agregados grossos britados de origem calcária. Na primeira fase empregou-se apenas uma areia, enquanto na segunda optou-se por uma mistura de duas areias, uma mais grossa e outra fina. As curvas granulométricas dos agregados utilizados apresentam-se na Fig. 1. As massas volúmicas e respectivos valores de absorção de água apresentam-se no Quadro 1.

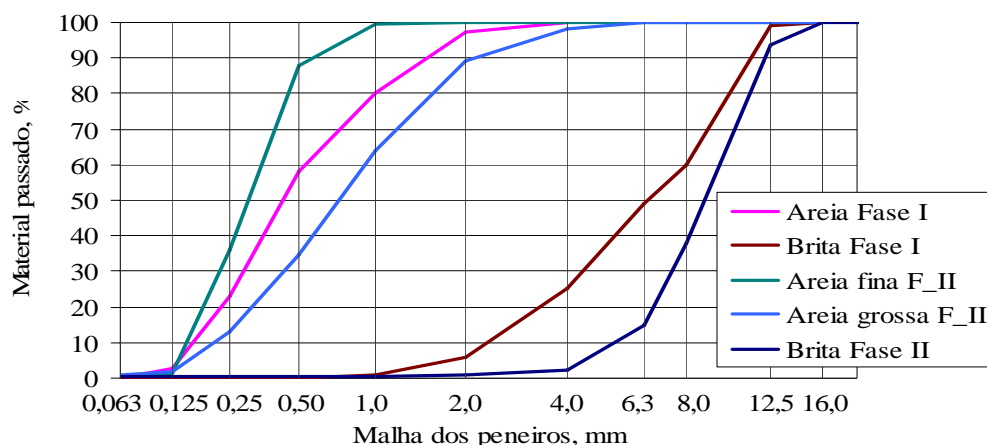


Figura 1. Granulometria dos agregados

Quadro 1. Massas volúmicas secas e absorção de água dos agregados

Fase	Primeira		Segunda		
Propriedade	Areia	Brita	Areia grossa	Areia fina	Brita
Massa volúmica seca (kg/m^3)	2580	2590	2590	2590	2630
Absorção, %	0,4	0,8	0,3	0,4	0,9

O único adjuvante utilizado é descrito comercialmente como um anticongelante para betão, consistindo numa solução aquosa de sais inorgânicos. Não se dispõem de outras referências para este adjuvante para além de possuir propriedades aceleradoras do tempo de presa e de redução do ponto de congelamento da água de amassadura. Relativamente a este ponto, o fornecedor especifica que a água com 2% deste adjuvante congela a cerca de -5°C. Possui um teor de cloretos menor que 0,1%, podendo considerar-se isento destes iões.

2.2 Composições e metodologia

2.1.1 Composições

As composições utilizadas apresentam-se no Quadro 2. Neste quadro, as composições indicadas por REF consistem nos betões de referência sem introdução de adjuvante, enquanto as restantes (AC) incluem o anticongelante em estudo. A quantidade de água indicada consiste na água total de amassadura, incluindo a água de absorção dos agregados. As quantidades destes referem-se à massa seca.

Quadro 2. Composições dos betões (kg/m³)

<i>Fase</i>	<i>Primeira</i>		<i>Segunda</i>	
<i>Componente</i>	<i>REF 1^a</i>	<i>AC 1^a</i>	<i>REF 2^a</i>	<i>AC 2^a</i>
Brita	1138	1138	958	958
Areia grossa	578	578	508	508
Areia fina	–	–	365	365
Cimento	300	300	300	300
Água	210	210	192	192
Anticongelante	0,00	3,60	0,00	3,60
A/C	0,66	0,66	0,60	0,60

2.1.2 Procedimento experimental

Na primeira fase, para cada um dos betões, após a amassadura foi determinado o abaixamento medido pelo cone de Abrams. De seguida, foram moldados 20 provetes cúbicos de 100 mm de aresta para ensaio. Dividiu-se o total de provetes em quatro grupos para avaliar quatro procedimentos diferentes de cura. Foi também preparado um provete para determinação do tempo de presa de acordo com a NP 1387 [4]. Os procedimentos de cura aplicados foram os seguintes: conservação no molde durante 24 horas ao ambiente do laboratório; colocação em câmara fria cerca de 30 min após a amassadura (antes do início de presa), até às 24 horas de idade; colocação em câmara fria após o início de presa e antes do fim de presa, até às 24 horas de idade; colocação em câmara fria após o betão ter atingido uma resistência mínima, até às 24 horas de idade. O grupo colocado na câmara fria antes do início de presa foi ainda sub-dividido tendo-se procedido à revibração de alguns desses provetes.

As condições termo-higrométricas do laboratório foram de 20 ± 2 °C de temperatura e uma humidade relativa de cerca de 60 %. As temperaturas na câmara fria rondaram os -13 °C. A resistência mínima, a que os provetes da última série foram colocados ao frio, foi de 10,8 MPa para o betão REF 1^a e 8,2 MPa para o AC 1^a.

Durante a cura, vários provetes dos que se mantiveram ao ambiente do laboratório foram sendo ensaiados à compressão para avaliar a resistência às primeiras horas. Após a cura, todos os provetes se mantiveram ao ambiente do laboratório, tendo sido desmoldados às 48 horas e colocados em câmara saturada até à idade de ensaio. Nesta comunicação apresentam-se apenas resultados obtidos aos 7 dias, tendo-se observado porém em ensaios pontuais que, aos 28 dias, se mantinha a mesma tendência de variação.

Na segunda fase, repetiu-se todo o procedimento experimental da primeira à excepção da revibração que não foi efectuada. Nesta fase a temperatura da câmara fria foi fixada em -5 °C. A resistência

mínima de entrada dos provetes na câmara fria foi de 5,4 MPa para o betão REF 2ª e de 5,1 MPa para o AC 2ª.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Resultados da primeira fase

O abaixamento medido nos betões foi de 120 mm e de 150 mm, para o REF 1ª e AC 1ª, respectivamente. O maior valor obtido para o AC 1ª prende-se com o facto de não se ter compensado a água da amassadura com a componente líquida do adjuvante, obtendo-se então um betão com uma relação A/C superior à teórica indicada no Quadro 2.

Os tempos de presa dos betões produzidos nesta fase apresentam-se no Quadro 3. Estes resultados permitem confirmar o carácter acelerador do adjuvante utilizado. Ainda que o ganho de tempo de presa tenha sido apenas de cerca de 25 min.

Quadro 3. Tempos de presa dos betões da primeira fase

<i>Presa</i>	<i>REF 1ª</i>	<i>AC 1ª</i>
Início	4h 20 min	3h 55min
Fim	6h 05min	5h 40min

No Quadro 4 apresentam-se os resultados médios da resistência à compressão, dos provetes ensaiados aos 7 dias, em função do procedimento de cura. As siglas indicadas correspondem a: N – cura normal no ambiente do laboratório; RA – provetes colocados no frio antes da presa e revibrados; A – provetes colocados no frio antes da presa e não revibrados; B – provetes colocados no frio após o início da presa; C – provetes colocados no frio após o betão ter atingido uma resistência mínima.

Quadro 4. Resistência à compressão aos 7 dias dos betões da primeira fase (MPa)

<i>Procedimento de cura</i>	<i>REF 1ª</i>	<i>AC 1ª</i>
N	25,8	24,7
RA	19,0	16,4
A	13,0	13,5
B	20,4	20,0
C	25,4	24,0

Na Fig. 2 apresentam-se a resistência à compressão dos provetes sujeitos aos procedimentos N, RA e A. Indicam-se também as barras de erro correspondentes ao desvio padrão do conjunto dos resultados. Neste gráfico ilustra-se o efeito da revibração na resistência à compressão dos betões produzidos nesta primeira fase.

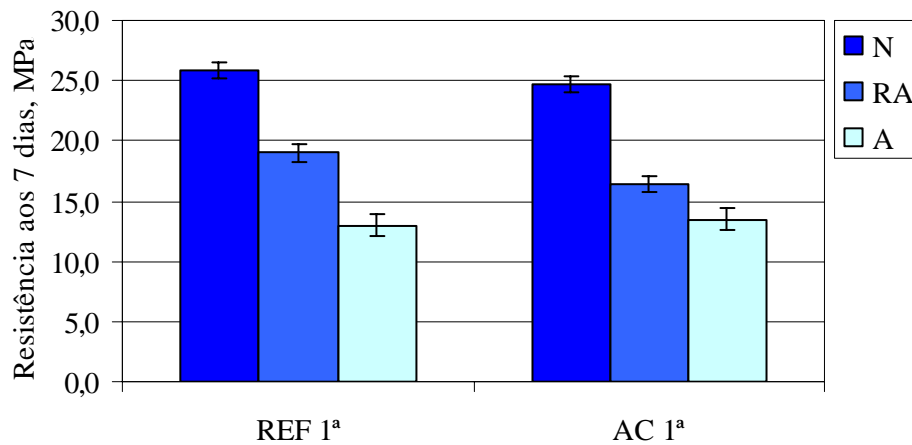


Figura 2. Avaliação do efeito da revibração na resistência à compressão dos betões

É evidente a diminuição da resistência do betão quando sujeito a temperaturas negativas. A diminuição verificada foi de metade do resultado obtido em condições de cura convencionais. A revibração permitiu recuperar alguma resistência, atingindo, no entanto, apenas cerca de 70% da resistência com cura normal (N). Considera-se que a utilização do adjuvante não conduziu a ganhos em termos de resistência. Depreende-se que actuou essencialmente como acelerador da presa e não como anticongelante. É possível que, para temperaturas tão negativas, este adjuvante perca a sua eficácia.

O efeito da idade a que o betão fica sujeito às temperaturas negativas está ilustrado na Fig. 3. Neste gráfico apresentam-se os resultados da resistência à compressão, determinada aos 7 dias, dos provetes cuja cura foi efectuada de acordo com os procedimentos N, A, B e C.

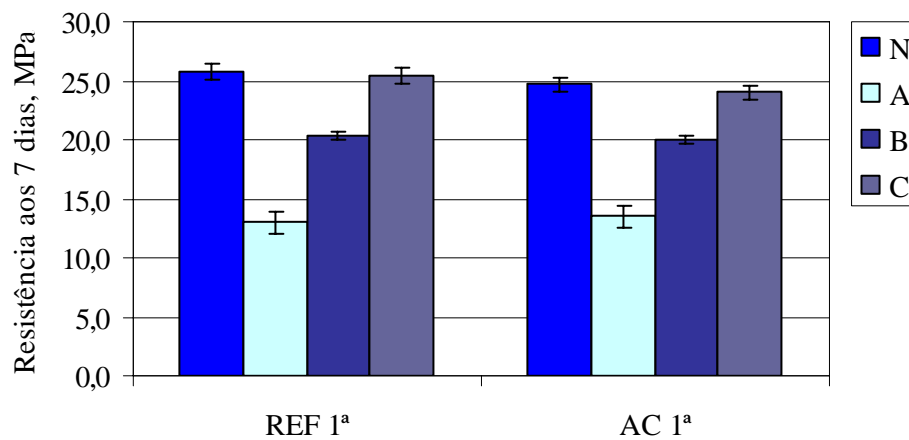


Figura 3. Avaliação do efeito do início do frio na resistência dos betões da primeira fase

Observa-se que, não ocorreu perda de resistência assinalável quando o betão ficou exposto às temperaturas negativas após se ter atingido um nível de resistência mínimo (C). O mesmo não se verificou para os provetes expostos ao frio após o início da presa (B). Ainda assim, estes apresentaram melhor desempenho face aos provetes congelados antes do início de presa (A). O nível de resistência dos provetes cuja cura seguiu o procedimento B foi de cerca de 80% dos provetes N.

3.2 Resultados da segunda fase

Os abaixamentos medidos nos betões desta fase foram 30 mm e 60 mm, para o REF 2ª e AC 2ª, respectivamente. O maior valor obtido para o AC 2ª prende-se com a mesma razão apontada para a primeira fase. Estes abaixamentos são inferiores aos determinados na primeira fase porque as composições da segunda fase tiveram uma relação A/C menor.

Os tempos de presa dos betões produzidos nesta fase apresentam-se no Quadro 5. O ganho de tempo de presa foi de cerca de 1h 15 min. Refira-se que este ganho é superior ao verificado na primeira fase. Pode deduzir-se que tenha ocorrido uma melhor compatibilidade entre o cimento desta segunda fase e o adjuvante, potenciando as suas características de acelerador de presa, possivelmente devido também ao menor teor de água destas composições e por conseguinte a uma maior concentração do adjuvante.

Quadro 5. Tempos de presa dos betões da segunda fase

<i>Presa</i>	<i>REF 2^a</i>	<i>AC 2^a</i>
Início	4h 25 min	3h 10min
Fim	6h 10min	5h 00min

No Quadro 6 apresentam-se os resultados dos ensaios da resistência à compressão obtidos nos betões da segunda fase. Estes resultados apresentam-se graficamente na Fig. 4. Relativamente aos betões da primeira fase, estes resultados revelam o efeito da menor relação A/C destas composições.

Quadro 6. Resistência à compressão aos 7 dias dos betões da segunda fase (MPa)

<i>Procedimento de cura</i>	<i>REF 2^a</i>	<i>AC 2^a</i>
N	39,4	37,3
A	19,8	19,0
B	29,3	30,5
C	38,9	39,6

Apesar de se terem utilizado materiais diferentes dos da primeira fase, e de as composições serem distintas, as relações entre os resultados dos diversos procedimentos de cura mantiveram-se semelhantes, em comparação com os resultados da primeira fase.

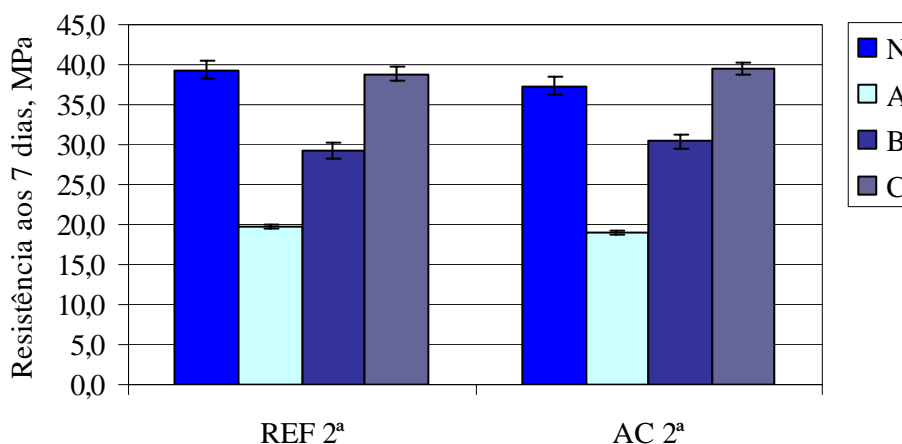


Figura 4. Avaliação do efeito do início do frio na resistência dos betões da segunda fase

4. CONCLUSÕES

A exposição do betão a temperaturas negativas nas primeiras horas provoca perdas significativas de resistência à compressão, em particular se tal ocorrer antes do início da presa. A redução da resistência atinge cerca de 50% aos 7 dias, podendo esta perda ser parcialmente mitigada com a revibração do betão após o descongelamento. Caso o betão fique exposto às temperaturas negativas após o início da presa aquela redução diminui para cerca de 20%.

O adjuvante anticongelante não se revelou eficaz para melhorar a resistência à compressão do betão à acção das temperaturas negativas, provocando, no entanto, uma diminuição dos tempos de presa.

Assim, considera-se que, na eventualidade do betão poder vir a estar exposto a temperaturas negativas, este deve ser protegido dessas condições até atingir um mínimo de resistência à compressão, sendo suficiente o valor de 5,0 MPa, preconizado pela NP ENV 13670.

REFERÊNCIAS

[1] NEVILLE, A.M. – Properties of Concrete. 4th ed. Essex: Addison Wesley Longman Ltd., 1997. 844 p. ISBN 0-582-23070-5

[2] ACI – Cold Weather Concreting. Reported by ACI Committee 306, ACI 306R-88, American Concrete Institute, 2007, ISSN 0065-7875

[3] NP ENV 13670-1:2005, Execução de estruturas em betão. Parte 1: Regras gerais. Lisboa : IPQ. 68 p.

[4] NP 1387:1976, Betões. Determinação dos tempos de presa. Lisboa : IPQ. 2 p.