

## O descimbramento na NP EN 13670

Arlindo F. Gonçalves<sup>1</sup> M. J. Esteves Ferreira<sup>2</sup>

### DESCRIÇÃO

As normas e os regulamentos sobre execução de estruturas de betão, além de disposições gerais sobre as condições para a remoção segura de cimbramentos, escoras e subescoras, estabelecem frequentemente prazos para a execução desta operação em função de um ou dois parâmetros. É o caso do Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado (REBAP, art. 153º) e de outras disposições internacionais, mas não da NP ENV 13670-1, em vigor ao abrigo do Decreto-Lei nº 301/2007, de 23 de Agosto, e da EN 13670:2009 – “Execution of concrete structures”, publicada pelo CEN. Foram por isso introduzidas, no Anexo Nacional da NP EN 13670:2011 – “Execução de estruturas de betão”, que irá substituir a NP ENV 13670-1, disposições que estimam estes prazos nas situações correntes.

O descimbramento e a remoção de escoras partem do princípio de que o betão tem, decorrido o tempo  $t$  desde a betonagem, uma resistência relativamente à de projecto pelo menos igual à razão  $\alpha$  entre as cargas no momento do descimbramento e as cargas de projecto, para os estados limites.

A evolução desta resistência relativa com o tempo  $t$ ,  $\beta = f_{cm,t}/f_{cm,28}$ , ou coeficiente de endurecimento na terminologia do REBAP (art.º 15º), está estabelecida para o betão curado e ensaiado à compressão simples a 20 °C na secção 3.1.2 da NP EN 1992-1-1 – “Eurocódigo 2. Projecto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios” em função dum único parâmetro adimensional,  $s$ , que é assim caracterizador do desenvolvimento da resistência do betão e determina mesmo uma classificação deste desenvolvimento. Considerou-se porém preferível manter a classificação da NP EN 206-1, feita com base na razão  $r = f_{cm,2}/f_{cm,28}$ , em desenvolvimento rápido ( $r > 0,50$ ), médio ( $0,50 \geq r > 0,30$ ) e lento ( $0,3 \geq r > 0,15$ ) e determinar os valores deste parâmetro  $s$  para cada um destes desenvolvimentos igualando  $\beta$ , para  $t = 2$  d, ao limite inferior de cada razão  $r$  (0,50; 0,30 e 0,15). Os valores de  $s$  assim obtidos foram 0,25; 0,44 e 0,70, definidores do limite inferior do desenvolvimento rápido, médio e lento do betão sujeito à temperatura  $\theta = 20$  °C, respectivamente, já que não é corrente utilizar em lajes e vigas betões de desenvolvimento muito lento. Os prazos de descimbramento e remoção de escoras,  $t$  (dias), quando a temperatura do betão é 20 °C é então dada por:

$$t = 28 / (1 - \text{Log}_e \beta/s)^2 \quad (1)$$

expressão que se considerou abranger a gama de temperaturas  $(20 \pm 5)$  °C.

Para betões sujeitos a temperaturas  $\theta > 25$ °C e  $\theta < 15$  °C, recorreu-se à informação sobre prazos de cura do betão estabelecida no Anexo F da NP EN 13670, que tem em conta a classificação do desenvolvimento da resistência da NP EN 206-1, a temperatura do betão (estruturada em 4 patamares, um dos quais à volta de 20 °C) e a razão  $c$  entre a resistência à compressão do betão ao fim do tempo  $t$  de cura e a resistência característica,  $c = f_{cm,t}/f_{ck}$ , com 3 valores ( $c = 0,35$ ,  $c = 0,50$  e  $c = 0,70$ ). Tal permite (i) relacionar este parâmetro  $c$  com o parâmetro  $\beta$ , dado que ambos tratam de relações entre resistências ( $\beta = f_{cm,t}/f_{cm,28} = c \cdot f_{ck}/(f_{ck} + 8)$ ), e (ii) assimilar a prazos de descimbramento os prazos de cura para temperaturas diferentes de  $(20 \pm 5)$  °C. A razão  $f_{ck}/(f_{ck} + 8)$  varia ligeiramente com  $f_{ck}$ , tendo-

<sup>1</sup> Investigador-Coordenador do LNEC; Director do Departamento de Materiais do LNEC, Lisboa, Portugal, [arlindo@lneec.pt](mailto:arlindo@lneec.pt)

<sup>2</sup> Investigador-Coordenador do LNEC, aposentado; Presidente da CT 104 - Betão no ONS/ATIC, Lisboa, Portugal. [estevesferreira@sapo.pt](mailto:estevesferreira@sapo.pt)

se tomado para  $f_{ck}$  até 70 MPa os valores correspondentes a  $f_{ck} = 35$  MPa, pelo que os prazos do Anexo F da NP EN 13670 para  $c$  igual a 0,35; 0,50 e 0,70 são atribuídos a  $\beta = 0,28; 0,41$  e  $0,57$ .

Tendo-se verificado para  $\theta = 20$  °C que os prazos de cura eram um pouco superiores aos prazos de descimbramento calculados pela eq. (1), para obter estes prazos para  $\theta \neq 20$  °C e para qualquer valor de  $\beta$  entre 0 e 1 (com base naqueles 3 valores) em cada um dos 3 níveis de desenvolvimento da resistência, determinaram-se (i) os acréscimos de dias entre os prazos estabelecidos, por um lado, para as temperaturas  $\theta = 20$  °C e  $\theta > 25$  °C, e por outro, para as temperaturas  $\theta = 20$  °C e  $\theta < 15$  °C, (ii) extrapolaram-se estes acréscimos recorrendo a polinómios de 2º grau e (iii), somaram-se algebricamente aos prazos fornecidos pela equação (1). Uma primeira consequência desta extrapolação foi verificar que, para  $\beta = 1$ , os 28 dias da eq. (1) se reduziam a 21 d se  $\theta > 25$  °C e aumentavam para 34 d, 40 d e 47 d se  $\theta < 15$  °C se o desenvolvimento for rápido, médio ou lento, respectivamente; outra consequência foi verificar que o endurecimento  $\beta$  resultante destes dois níveis de temperatura ( $\theta > 25$  °C e  $\theta < 15$  °C) exibia um andamento extremamente semelhante ao obtido com a eq. (1) (nomeadamente para  $\beta \geq 0,60$  e do lado da segurança para  $\beta < 0,60$ ), se fossem utilizados, em vez de 28 d, os prazos acima para  $\beta = 1$  e valores adequados de  $s$ , que foram determinados.

## RESULTADOS RELEVANTES

Os prazos de descimbramento  $t$  (em dias), tendo em conta a influência dos três patamares de temperatura e dos três níveis de desenvolvimento da resistência à compressão da NP EN 206-1, são então dados pela equação:

$$t = L / (1 - \text{Log}_e \beta/s)^2 \quad (2)$$

sendo os valores de  $L$  e  $s$  os seguintes:

Temperatura $\theta$ (°C)	$\theta > 25$			$25 \geq \theta \geq 15$			$\theta < 15$		
	rápido	médio	lento	rápido	médio	lento	rápido	médio	lento
$L$ (dias)		21			28		34	40	47
$s$ (-)	0,16	0,32	0,50	0,25	0,44	0,70	0,32	0,55	0,85

Os prazos assim determinados são alterados quando a temperatura (i) desce abaixo dos 10 °C (devendo então somar-se ao tempo obtido para  $\theta < 15$  °C o número de dias em que tal situação se verificar) e (ii) se mantém acima de 25 °C e a razão  $\alpha$  for superior a 0,80 (devendo os prazos ser calculados assumindo que a temperatura é 20 °C). Verifica-se que os prazos indicados no art.º 153º do REBAP, adoptando coeficientes de endurecimento do art.º 15º para temperaturas de 20 °C e desenvolvimento da resistência médio, ou são iguais ou diferem 1 dia dos calculados pela eq. (2).

Por outro lado a NP EN 1992-1-1 e a experiência obtida em Portugal permite ligar as 3 classes de desenvolvimento da resistência do betão ao tipo e classe de resistência do cimento ou ligante (cimento + adições) utilizado no fabrico desse betão, o que simplifica a tomada de decisão sobre quando descimbrar. Tal informação consta do Anexo Nacional da NP EN 13670.

## CONCLUSÕES

Nas situações correntes, consideradas cuidadosamente as cargas que o elemento estrutural vai suportar no momento do descimbramento (e mesmo durante alguns dias mais por segurança), o cálculo da razão  $\alpha$  determina o nível de endurecimento  $\beta$  do betão, cuja classe de desenvolvimento da resistência está ligada ao tipo e classe de resistência do cimento (ou do ligante) utilizado no seu fabrico. Haverá portanto apenas que ter em conta a temperatura do betão durante o seu endurecimento – em geral dependente da estação do ano – para determinar o prazo de remoção de cimbramentos, escoras ou subescoras do elemento estrutural executado com este betão.