

Ref: CLME'2011_0804A

CONFORMIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BETÕES – UM EXEMPLO NO NORTE DE PORTUGAL

Paulo Cunha^{*1}, Barroso Aguiar¹, Pedro Oliveira², Aires Camões¹

¹University of Minho, Department of Civil Engineering - Guimarães, Portugal

²University of Minho, Department of Production and Systems – Guimarães, Portugal

*Email: paulojpdcunha@gmail.com

RESUMO: *O incumprimento das regras especificadas e a conseqüente não conformidade dos betões em relação à normativa vigente, pode originar o aparecimento de anomalias e a degradação precoce das construções. Os objectivos deste estudo foram a caracterização de procedimentos adoptados para a produção de betão nalgumas obras no norte de Portugal, determinando a classe de resistência do betão produzido e comparando com a classe de resistência requerida no projecto. Neste contexto, calculámos a resistência à compressão do betão in situ e comparamos com a classe de resistência obtida nas obras em estudo. Foi verificado que a qualidade do betão in situ é superior à obtida com a recolha de provetes. Podemos dizer que quanto mais extensa, rápida e apertada é a inspecção, melhor conseguimos controlar e fazer correcções a tempo, com o objectivo de manter a qualidade do betão usado. É importante para uma adequada resposta, treinar e dar formação às pessoas envolvidas neste assunto.*

1. INTRODUÇÃO

O betão convencional é um material fabricado a partir da mistura de cimento, de agregados e de água, resultante da hidratação do cimento, desenvolvendo assim as suas propriedades. Para além destes componentes básicos, pode também conter adjuvantes e adições.

De modo a garantir o adequado desempenho, é de importância considerável a escolha dos constituintes do betão (cimento, agregados, água e adjuvantes), o seu fabrico e a sua aplicação (transporte, colocação, compactação, cura, protecção e descofragem). A composição do betão, isto é, as dosagens de cimento, agregados e água, adições e adjuvantes (quando utilizados) devem ser seleccionadas de maneira a satisfazer os critérios de comportamento para o betão fresco e para o betão endurecido, incluindo a consistência, densidade, resistência, durabilidade e protecção das armaduras contra a corrosão. A composição do betão deve permitir obter uma trabalhabilidade compatível com o método de construção a utilizar. A máxima dimensão do agregado tem de ser escolhida de modo que o betão possa ser colocado e compactado à volta das armaduras sem que haja segregação.

Para produzir um betão durável, que proteja as armaduras contra a corrosão e suporte satisfatoriamente as condições ambientais e de serviço a que estará exposto durante o tempo de vida útil previsto, devem ser tomados em consideração alguns factores: escolha dos constituintes, escolha da composição, acções mecânicas, amassadura, colocação, compactação e a cura do betão. O controlo da qualidade dos diversos factores é regulamentado pela EN 206-1 [ECS, 2005].

O não controlo da conformidade da resistência à compressão dos betões tem levado a um descuido da sua qualidade. O não cumprimento da norma EN 206-1 [ECS, 2005], associado à não qualidade e não conformidade dos betões, potenciam o surgimento de patologias, quer ao nível da estrutura, quer, por via desse facto, ao nível dos revestimentos e alvenarias, podendo mesmo originar uma degradação precoce das construções em causa. Este não cumprimento da

norma surge, frequentemente, por desconhecimento ou relaxamento, mas também, por vezes, com o intuito de poupar material, de forma a aumentar o lucro final.

2. BETÃO

O betão é legitimamente considerado o material de construção mais versátil. Utiliza materiais correntes, a tecnologia de fabrico é simples e requer consumos energéticos baixos. Este material surgiu da necessidade de ultrapassar os grandes blocos de pedras que formavam as mais diversas construções, permitindo execuções mais moldáveis aos interesses dos construtores. De uma forma muito genérica, podemos definir o betão como o resultado da mistura de cimento, água e agregados, onde estão agrupados a areia, a brita ou o godo, obtendo-se um material mais ou menos homogéneo e plástico [Illston, 1996; Jackson e Dhir, 1998].

O betão apresenta certas características gerais mas, no entanto, muitas vezes é conveniente conferir-lhe determinadas características como, por exemplo, uma maior impermeabilidade, fluidez ou velocidade de obtenção das resistências mecânicas, possíveis com adição de pequenas quantidades de adjuvantes que serão os responsáveis pela obtenção destas e outras características do betão. Assim sendo, hoje em dia, podem considerar-se os adjuvantes como o quarto constituinte do betão.

Um bom betão reside num compromisso entre a resistência e a permeabilidade por um lado, e a trabalhabilidade por outro. Assim, é preciso conhecer alguns elementos relacionados com a natureza e o tipo de obra, meios de colocação e compactação do betão, armaduras e moldes, exigências do caderno de encargos relativas à classe e tipo de betão desejado, bem como as condições ambientais previstas [Larrard, 1999].

De acordo com a EN 206-1 [ECS, 2005], todo o betão deve ser sujeito ao controlo da produção, sob a responsabilidade do produtor. O controlo da produção compreende todas as medidas necessárias para manter as propriedades do betão em conformidade com os requisitos especificados. Relativamente aos constituintes do betão, é necessário atender à sua selecção, tendo em conta os requisitos exigidos. Os materiais constituintes não devem conter substâncias nocivas em quantidades que possam ser prejudiciais à durabilidade do betão ou causar corrosão das armaduras e devem ser adequados ao uso previsto para o betão. Quando a aptidão geral de um material como constituinte do betão se encontrar estabelecida, tal não implica, obrigatoriamente, aptidão em todas as situações e em todas as composições de betão [Neville, 1995].

3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL

3.1. Recolha de provetes

A recolha de vários provetes em algumas obras, ao longo dos anos de 2007, 2008 e 2009, teve como objectivo realizar um estudo estatístico “alargado”, não só do número mínimo de resultados exigidos pela EN 206-1 [ECS, 2005], mas, com um vasto número de resultados, e com várias combinações entre eles, verificar que possibilidades existem de a norma ser respeitada.

Foram contactadas algumas empresas, para recolher nas suas obras provetes de betão, ensaiando-os no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho. Para a realização dos ensaios foram utilizados equipamentos existentes no Laboratório, tais como

vibrador de agulha e moldes (Figura 1). Comparamos depois estes resultados com os resultados das três carotes retiradas dessas obras.



Figura 1: Vibrador, moldes e equipamento para o ensaio de compressão

Nas obras 1, 3, 7 e 9 foi utilizado betão pronto com certificação do controlo de produção, da classe de resistência à compressão C20/25. Na obra 2 foi utilizado betão feito em obra da classe de resistência C20/25. Na obra 4 foi utilizado betão pronto com certificação do controlo de produção, de classe C25/30. Na obra 5, a classe de resistência à compressão pretendida foi a C12/15 e era betão feito em obra. Na obra 6, a classe de resistência à compressão pretendida foi igualmente a C12/15, só que desta vez, tratava-se de betão pronto com certificação do controlo de produção. Finalmente, nas obras 8 e 10 utilizou-se mais uma vez betão pronto com certificação do controlo de produção, tendo na primeira sido utilizado betão C30/37 e na segunda C16/20.

Dentro de cada obra foram obtidos 10 resultados de resistência à compressão. Individualmente para cada combinação, foi feita a verificação dos critérios de conformidade da resistência à compressão, bem como a determinação da classe de betão obtida. O procedimento adoptado no controlo da conformidade foi feito de acordo com a EN 206-1 [ECS, 2005]. Foi betonada uma peça de betão, com as dimensões de 40x40x20 cm³, tendo-se daí extraído três carotes cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura: uma foi retirada do centro da peça (C), outra da esquina (E) e a última do lado (L) (Figura 2). Depois, no final, comparam-se os respectivos resultados.

De acordo com a norma EN 206-1 [ECS, 2005], para todas as obras foram realizadas as seguintes combinações: 45 de 2 resultados; 120 de 3 resultados; 210 de 4 resultados; 252 de 5 resultados; 210 de 6 resultados.

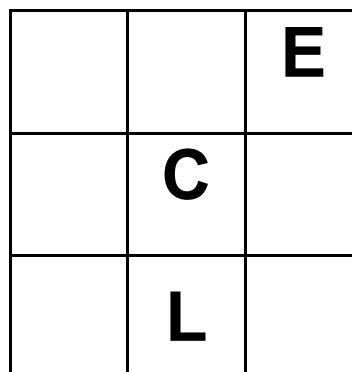


Figura 2: Carotes extraídas da peça de betão

Tipo de cálculos efectuados segundo a norma EN 206-1

Produção inicial - 3 resultados:

a) O valor das tensões obtidas:

$$f_{c1} = 29,65 \text{ MPa}$$

$$f_{c2} = 28,93 \text{ MPa}$$

$$f_{c3} = 29,08 \text{ MPa}$$

a) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 3 resultados:

$$f_{cm} = \frac{29,65 + 28,93 + 29,08}{3} = 29,22 \text{ MPa}$$

b) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

c) Verificar se cumpre os seguintes critérios:

$$\text{Critério 2} \rightarrow f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \Leftrightarrow f_{ci} \geq 20 - 4 \rightarrow (\text{verifica})$$

$$\text{Critério 1} \rightarrow f_{cm} \geq f_{ck} + 4 \Leftrightarrow 29,22 \geq 20 + 4 \rightarrow (\text{verifica})$$

d) Determinar a classe do betão:

$$28,93 \geq f_{ck} - 4 \Rightarrow f_{ck} \leq 32,93 \text{ MPa}$$

$$29,22 \geq f_{ck} + 4 \Rightarrow f_{ck} \leq 25,22 \text{ MPa}$$

-Sendo 25,22 MPa o menor valor \Rightarrow Classe do Betão Obtida: C20/25 \Rightarrow *Verifica*

Ensaio de identidade - 6 ou mais resultados:

a) O valor das tensões obtidas:

$$f_{c1} = 27,30 \text{ MPa}$$

$$f_{c2} = 28,00 \text{ MPa}$$

$$f_{c3} = 30,50 \text{ MPa}$$

$$f_{c4} = 27,20 \text{ MPa}$$

$$f_{c5} = 27,90 \text{ MPa}$$

$$f_{c6} = 28,50 \text{ MPa}$$

$$f_{c7} = 29,30 \text{ MPa}$$

$$f_{c8} = 30,00 \text{ MPa}$$

$$f_{c9} = 29,20 \text{ MPa}$$

$$f_{c10} = 28,50 \text{ MPa}$$

b) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 6 primeiros resultados:

$$f_{cm} = \frac{27,3 + 28,0 + 30,5 + 27,2 + 27,9 + 28,5}{6} = 28,2 \text{ MPa}$$

Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 6 últimos resultados:

$$f_{cm} = \frac{27,9 + 28,5 + 29,3 + 30,0 + 29,2 + 28,5}{6} = 28,9 \text{ MPa}$$

Logo, a média mais baixa é $f_{cm,men} = 28,2 \text{ MPa}$

c) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

d) Verificar se cumpre os seguintes critérios:

$$\text{Critério 1} \rightarrow f_{cm,men} \geq f_{ck} + 2 \Leftrightarrow 28,2 \geq 25 + 2 \rightarrow (\text{verifica})$$

$$\text{Critério 2} \rightarrow f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \Leftrightarrow f_{ci} \geq 25 - 4 \rightarrow (\text{verifica})$$

e) Determinar a classe do betão:

$$28,2 \geq f_{ck} + 2 \Rightarrow f_{ck} \leq 26,2 \text{ MPa}$$

$$27,2 \geq f_{ck} - 4 \Rightarrow f_{ck} \leq 31,2 \text{ MPa}$$

-Sendo 26,2MPa o menor valor \Rightarrow Classe do Betão Obtida: C21/26 \Rightarrow Verifica

Tipo de cálculos efectuados para a carotagem com a norma EN 13791

a) O valor das tensões obtidas:

$$f_{c1} = 24,17 \text{ MPa}$$

$$f_{c2} = 22,14 \text{ MPa}$$

$$f_{c3} = 23,00 \text{ MPa}$$

b) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 3 resultados:

$$f_{cm} = \frac{24,17 + 22,14 + 23,00}{3} = 23,10 \text{ MPa}$$

c) O valor característico especificado:

$$f_{ck,is} = 17 \text{ MPa}$$

d) Verificar se cumpre as seguintes condições:

$$\text{Condição 1} \rightarrow f_{cm} \geq f_{ck} + k \Leftrightarrow 23,10 \geq 17 + 7 \rightarrow (\text{não verifica})$$

$$\text{Condição 2} \rightarrow f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \Leftrightarrow f_{ci} \geq 17 - 4 \rightarrow (\text{verifica})$$

e) Determinar a resistência “in situ” característica do betão:

$$f_{ck,is} = f_{cm} - 7 \Rightarrow f_{ck,is} = 16,10 \text{ MPa}$$

$$f_{ck,is} = f_{cmenor} + 4 \Rightarrow f_{ck,is} = 26,14 \text{ MPa}$$

- Resistência “in situ” característica do betão obtida é 16,10 MPa \Rightarrow

$$\Rightarrow f_{ck} = 16,10 / 0,85 = 18,94 \text{ MPa} \Rightarrow$$

\Rightarrow Classe de resistência à compressão do betão obtida: C18/23

4. RESULTADOS

Com base nos resultados alcançados na recolha em 10 obras de 10 provetes e 3 carotes, fez-se então a análise dos mesmos. Os 10 provetes foram analisados segundo a norma EN 206-1 [ECS, 2005]. As 3 carotes foram analisadas segundo a norma EN 13791 [ECS, 2007].

Com o objectivo de avaliar a qualidade dos estaleiros, procedeu-se à determinação de um coeficiente de estaleiro (ce) utilizando a seguinte expressão:

$$ce = \frac{V}{10dT} \quad (1)$$

onde V é o coeficiente de variação e dT é a diferença da tensão obtida em relação à tensão característica.

Com base neste coeficiente (ce), classificou-se então o estaleiro em ‘Excelente’ se o coeficiente desse menor que 0,05, em ‘Muito Bom’ se o coeficiente desse de 0,05 até 0,10, em ‘Bom’ se o coeficiente desse de 0,10 até 0,20, em ‘Razoável’ se o coeficiente desse de 0,20 até 0,40 e em ‘Mau’ se o coeficiente desse igual ou superior a 0,40, ou inferior a 0. Classificaram-se os estaleiros utilizando primeiro os provetes (Quadro 1) e depois as carotes (Quadro 2), e compararam-se as classificações obtidas.

Na obra 1, quer com provetes, quer com carotes, a classificação do estaleiro foi ‘Mau’. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Assim, verificava-se que não os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, conservavam-nos ao ar livre. O facto de esperar algum tempo para começar a executar os provetes, leva a que ao voltar a trabalhar o betão, as ligações entre as partículas constituintes do betão que se formam no imediato, na concepção dos provetes irão ser quebradas, levando a que ao ser ensaiado tenha uma resistência à compressão inferior à real. Além disso, os provetes depois de conservados em local húmido, devem ser desmoldados e encaminhados imediatamente para laboratório. Aqui, os trabalhadores esperam até três dias para o fazerem. Este é mais um factor a contribuir para a diminuição da resistência à compressão dos provetes.

Quadro 1 - Classificação dos estaleiros com base nos provetes

Provetes	Tensão característica [TC] (MPa)	Tensão obtida [TO] (MPa)	10dT [10(TO-TC)] (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente variação [V] (%)	Estaleiro [V/(10dT)]	Classificação do estaleiro
Obra 1	25	16,7	-83,0	18,8	0,71	3,78	-0,05	Mau
Obra 2	25	26,2	12,0	28,6	1,10	3,85	0,32	Razoável
Obra 3	25	22,6	-24,0	24,5	0,89	3,63	-0,15	Mau
Obra 4	30	30,9	9,0	33,3	1,52	4,56	0,51	Mau
Obra 5	15	18,7	37,0	20,9	1,13	5,41	0,15	Bom
Obra 6	15	12,7	-23,0	14,8	0,35	2,36	-0,10	Mau
Obra 7	25	27,8	23,0	30,5	2,23	7,31	0,32	Razoável
Obra 8	37	37,4	4,0	40,3	2,70	6,70	1,68	Mau
Obra 9	25	30,5	55,0	33,2	1,40	4,22	0,08	Muito Bom
Obra 10	20	18,8	-12,0	21,2	0,80	3,77	-0,31	Mau

Quadro 2 - Classificação dos estaleiros com base nas carotes

Carotes	Tensão característica [TC] (MPa)	Tensão obtida [TO] (MPa)	10dT [10(TO-TC)] (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente variação [V] (%)	Estaleiro [V/(10dT)]	Classificação do estaleiro
Obra 1	25	23,9	-11,0	23,1	1,02	4,42	-0,40	Mau
Obra 2	25	25,1	1,0	24,1	0,66	2,74	2,74	Mau
Obra 3	25	27,7	27,0	26,3	0,96	3,65	0,14	Bom
Obra 4	30	40,2	102,0	34,4	0,06	0,17	0,00	Excelente
Obra 5	15	16,0	10,0	17,2	3,61	20,99	2,10	Mau
Obra 6	15	14,5	-5,0	16,8	0,34	2,02	-0,41	Mau
Obra 7	25	34,9	99,0	32,4	1,32	4,07	0,04	Excelente
Obra 8	37	47,3	103,0	38,7	1,61	4,16	0,04	Excelente
Obra 9	25	32,7	77,0	30,5	3,98	13,05	0,17	Bom
Obra 10	20	23,9	39,0	23,1	2,13	9,22	0,24	Razoável

Os provetes apresentavam também muito má aparência, com muitos vazios, correspondendo a uma deficiente vibração. Quanto à peça betonada, de onde foram retiradas as carotes, foi-nos referido durante o inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma deficiente vibração e consequentemente a uma menor resistência à compressão.

Na obra 2, com provetes, a classificação do estaleiro foi ‘Razoável’ e com carotes foi ‘Mau’. Após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Apesar disso, verificava-se que os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra e cobriam-nos após a sua concepção. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Os provetes apresentavam uma razoável aparência, com alguns vazios. Quanto à peça betonada, foi-nos referido no inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura nunca era introduzida na totalidade no betão, tendo a peça no final apresentado uma vibração mais ou menos uniforme, conforme se pode comprovar comparando os resultados das carotes do centro 24,6 MPa, meio 24,2 MPa e esquina 23,3 MPa. Podemos concluir daqui que realmente o betão não era de muito boa qualidade.

Na obra 3, com provetes, a classificação do estaleiro foi ‘Mau’ e com carotes foi ‘Bom’. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores quase sempre realizavam provetes nas suas obras. No entanto, verificava-se que não os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, conservavam-nos ao ar livre. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Este é mais um factor a contribuir para a diminuição da resistência à compressão dos provetes. Os provetes apresentavam também muito má aparência, com muitos vazios, correspondendo a uma deficiente vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido no inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura nunca era introduzida na totalidade no betão, tendo a peça no final apresentado uma vibração mais ou menos uniforme, conforme se pode comprovar comparando os resultados das carotes do centro 27,4 MPa, meio 25,8 MPa e esquina

25,7 MPa. Esta diferença entre a classificação do estaleiro nos provetes e nas carotes fica a dever-se em grande parte também ao facto da peça de onde foram retiradas as carotes ter sido concebida pelo Encarregado da Obra e os provetes terem sido feitos por um servente.

Na obra 4, com provetes, a classificação do estaleiro foi ‘Mau’ e com carotes foi ‘Excelente’. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores tinham alguma experiência na execução de provetes. Assim, verificava-se que não os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Apesar disso, conservavam-nos cobertos. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para o laboratório. Os provetes apresentavam também má aparência, com vazios, correspondendo a uma deficiente vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido no inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura nunca era introduzida na totalidade no betão, tendo a peça no final apresentado uma vibração muito uniforme, conforme se pode comprovar comparando os resultados das carotes do centro 34,3 MPa, meio 34,5 MPa e esquina 34,4 MPa. Esta diferença entre a classificação do estaleiro nos provetes e nas carotes fica a dever-se em grande parte também ao facto da peça de onde foram retiradas as carotes ter sido concebida pelo Encarregado da Obra e os provetes terem sido feitos por um servente.

A obra 5 apresentou uma muito melhor classificação do estaleiro com provetes, ‘Bom’, do que com carotes, ‘Mau’. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Verificava-se apesar disso que os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, para os conservar cobriam-nos. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Os provetes apresentavam muito boa aparência, correspondendo a uma adequada vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido durante o inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma muito fraca vibração e conseqüentemente a uma menor resistência à compressão, conforme se pode comprovar comparando os dispares resultados das carotes do centro 20,4 MPa, meio 17,9 MPa e esquina 13,3 MPa.

Na obra 6, com provetes e carotes a classificação do estaleiro foi ‘Mau’. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Verificava-se apesar disso que os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, para os conservar cobriam-nos. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Os provetes apresentavam muito boa aparência, correspondendo a uma óptima vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido durante o inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma fraca vibração e conseqüentemente a uma menor resistência à compressão.

Na obra 7, com provetes, a classificação do estaleiro foi ‘Razoável’ e com carotes foi ‘Excelente’. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores tinham alguma experiência na execução de provetes. Verificava-se que não os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, conservavam-nos ao ar livre. Os trabalhadores esperaram mais de três dias para os enviarem para laboratório. Os provetes apresentavam também má aparência, com vazios, correspondendo a uma deficiente vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido no inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura nunca era introduzida na totalidade no betão, tendo a peça no final apresentado uma vibração uniforme, conforme se pode comprovar comparando os resultados das carotes do centro 33,6 MPa, meio 32,6 MPa e esquina 31,0 MPa.

Na obra 8, com provetes, a classificação do estaleiro foi ‘Mau’ e com carotes foi ‘Excelente’. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores tinham alguma

experiência na execução de provetes. Assim, verificava-se que não os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Os provetes são conservados ao ar livre. Os trabalhadores esperaram mais de três dias para enviarem os provetes para o laboratório. Os provetes apresentavam também má aparência, com vazios, correspondendo a uma deficiente vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido no inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura nunca era introduzida na totalidade no betão, tendo a peça no final apresentado uma vibração mais ou menos uniforme, conforme se pode comprovar comparando os resultados das carotes do centro 40,5 MPa, meio 38,3 MPa e esquina 37,3 MPa. Esta diferença entre a classificação do estaleiro nos provetes e nas carotes fica a dever-se em grande parte também ao facto da peça de onde foram retiradas as carotes ter sido concebida pelo encarregado da obra e os provetes terem sido feitos por um servente.

A obra 9 apresentou uma melhor classificação de estaleiro com provetes, ‘Muito Bom’, do que com carotes, ‘Bom’. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Verificava-se apesar disso que os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, para os conservar cobriam-nos. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Os provetes apresentavam uma razoável aparência, correspondendo a uma razoável vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido durante o inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma muito fraca vibração e conseqüentemente a uma menor resistência à compressão, conforme se pode comprovar comparando os dispaes resultados das carotes do centro 33,4 MPa, meio 32,1 MPa e esquina 26,0 MPa. Esta diferença entre a classificação do estaleiro nos provetes e nas carotes fica a dever-se em grande parte também ao facto da peça de onde foram retiradas as carotes ter sido concebida por um servente e os provetes terem sido feitos pelo encarregado da obra.

Finalmente, na obra 10, com provetes, a classificação do estaleiro foi ‘Mau’ e com carotes foi ‘Razoável’. Nesta obra e após resposta aos inquéritos, constatou-se que os trabalhadores não tinham experiência na execução de provetes. Verificava-se apesar disso que os faziam de imediato, logo aquando da chegada do betão à obra. Além disso, para os conservar cobriam-nos. Os trabalhadores esperaram até três dias para enviarem os provetes para laboratório. Os provetes apresentavam uma razoável aparência, correspondendo a uma razoável vibração. Quanto à peça betonada, foi-nos referido durante o inquérito que a agulha do vibrador na execução dos elementos da estrutura era erradamente introduzida na totalidade no betão, levando assim a uma fraca vibração e conseqüentemente a uma menor resistência à compressão.

Ao analisar todas as obras, pelas classificações obtidas para o estaleiro com os provetes, e comparando-as com as das carotes pode-se concluir que tecnicamente se falhou na execução dos provetes. Por outro lado, na classificação do estaleiro através das carotes, verifica-se que há 4 obras com o estaleiro com classificação de ‘Mau’, confirmando em duas delas, obras 1 e 6, a classificação obtida nos provetes, o que é um mau resultado para os betões analisados.

Conforme se pode constatar pelo Quadro 4, em 8 das 10 obras o resultado mais elevado verificou-se no centro da peça betonada, seguido do meio e por fim o resultado mais baixo verificou-se nas esquinas das peças, onde regra geral a peça fica pior vibrada. Só numa das obras, a obra 4, aquela que obteve o desvio padrão mais baixo, o centro da peça obteve o pior resultado, ainda que ligeiramente, tendo aqui o meio da peça obtido o melhor resultado. Isto vem provar que a vibração do betão nas obras não é perfeita. Noutra peça, a da obra 10, o segundo melhor resultado foi obtido na esquina da peça e o pior resultado foi obtido no meio da peça. No entanto, no centro da peça, o resultado é superior em 4 MPa do que no resto da peça. Isto vem-nos mostrar que se trata de mais uma peça mal vibrada. Como exemplos de mais obras com peças mal vibradas temos as obras 5 e 9, uma vez que aqui, nas duas

obras, a diferença entre a carote da esquina e a carote do meio é de aproximadamente 7 MPa. De realçar que as obras 5 e 9 são as únicas que apresentam uma classificação do estaleiro superior com provetes do que com carotes. Daqui se pode concluir que existe uma grande deficiência no fabrico e execução de provetes. Apesar de nalguns casos se verificar o mesmo na concepção de elementos betonados, nunca chega a ser tão grave como nos provetes. Aqui os trabalhadores esmeraram-se na sua concepção, pois por um lado saía fora do habitual método de avaliação do betão, e por outro, uma qualquer avaliação que daí resultasse, na óptica deles, não convinha que lhes trouxesse problemas futuros. Assim, o falhanço nalguns resultados passa mais pela deficiente mão de obra na aplicação do betão, do que pela qualidade do próprio betão. De igual forma, o bom resultado na classificação do estaleiro nalgumas obras fica a dever-se em grande parte à boa qualidade do betão, superando as más práticas da aplicação do mesmo. O melhor exemplo disso é a obra 7, onde apesar dos provetes apresentarem muitos vazios devido à deficiente vibração, os resultados da resistência à compressão são satisfatórios. Podemos ainda concluir que, o facto da maior parte do betão passar a ser fornecido por centrais de produção com certificação do seu controlo de produção é uma forte garantia da qualidade do betão.

5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados para as 10 obras, em relação à verificação dos critérios de conformidade com as duas normas, complementados com os testes das carotes, mostra-nos que a classe de betão obtido é superior à pretendida. A percentagem de verificação é muito alta, tendo existido só problemas de resultados nas obras 1 e 6.

Verifica-se nos últimos anos uma clara aposta do sector da Construção Civil na *Qualidade*, como forma de marcar a diferença, numa área cada vez mais competitiva. O controlo é positivo e pode repercutir-se em vantagens económicas. O maior investimento inicial compensa. Regista-se também, que são mais as amostras que não verificam nas classes de betão mais baixas do que nas mais altas, concluindo-se, portanto, que existe um cuidado maior por parte dos produtores de betão aquando do fabrico de classes de betão mais elevadas. Daqui se pode concluir também que, uma grande percentagem dos resultados que não verificam os critérios de conformidade da resistência à compressão pretendida, se ficam a dever em grande parte a desleixo e relaxamento dos produtores de betão, bem como à sua falta de formação. Daí que seja importante fazer uma aposta na formação da mão-de-obra que trabalha neste sector.

Além das razões de desleixo e relaxamento dos produtores de betão, apontadas como factores para o não cumprimento da resistência à compressão pretendida, temos também a falta de formação nesta área por parte destes. Esta constatação foi confirmada através de um método encontrado para a classificação do estaleiro. Das 10 obras analisadas através dos provetes, 6 estaleiros obtiveram a classificação de 'Mau', 2 de 'Razoável', 1 de 'Bom' e 1 de 'Muito Bom'. A má execução dos provetes, explica-se também em parte, porque para o seu fabrico são escolhidos aqueles trabalhadores que durante a betonagem estão mais desocupados, que por regra, são os menos qualificados, como por exemplo, os serventes. De facto, nas carotes extraídas de uma peça betonada e curada nas mesmas condições da estrutura, das 10 obras analisadas, 4 estaleiros obtiveram a classificação de 'Mau', 1 de 'Razoável', 2 de 'Bom' e 3 de 'Excelente'. Comparando com os resultados obtidos nos provetes, concluímos que os das carotes são substancialmente superiores. Aqui fica-se a dever em parte ao facto de ser um método de avaliação diferente para os trabalhadores, tendo-se esmerado mais nesta situação, e sendo inclusive muitas vezes o próprio encarregado da obra a concepcionar a peça, desde a cofragem à betonagem. Ainda assim, verifica-se cada vez mais uma opção dos empreiteiros da construção civil pelo betão pronto, em detrimento do betão feito em obra. Isto fica-se a dever fundamentalmente ao factor económico. Os empreiteiros começam a aperceber-se que

fica mais barato comprar betão pronto, do que fabricá-lo na obra. O custo da mão-de-obra tem muita influência nesta situação.

A juntar a tudo isto, nota-se também cada vez mais uma maior competição entre as empresas do sector de produtores e fornecedores de betão. De notar ainda que, as novas normas são mais exigentes para com os produtores de betão. Por exemplo, em relação às classes de inspecção, prevê-se que somente as empresas produtoras de betão, com certificação do controlo de produção, possam fornecer betão para as obras da classe de inspecção 3. Sabe-se que, devido ao factor económico, os empreiteiros da construção civil optam cada vez mais pelo betão pronto, em vez do betão feito em obra. E sabendo que em relação ao betão pronto, a qualidade tem vindo também claramente a subir, devido a um regime normativo cada vez mais exigente para com os produtores e fornecedores de betão, e devido a um sector de actividade cada vez mais competitivo, em que a qualidade do produto marca cada vez mais a diferença na escolha entre as empresas do ramo. Conclui-se portanto que, todos estes factores em conjunto, levam a que o betão utilizado nas obras, seja cada vez mais de melhor qualidade. Pode-se dizer ainda que, com o aumento da classe de betão verificam-se mais facilmente os critérios de conformidade da resistência à compressão do betão.

REFERÊNCIAS

European Committee for Standardisation, EN 206-1, Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity, Brussels, Belgium, 2005.

European Committee for Standardisation, EN 13791, Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components, Brussels, Belgium, 2007.

Illston J. M., Construction materials, their nature and behaviour, E & FN Spon, London, 1996.

Jackson N. and Dhir R., Civil engineering materials, MacMillan Education, London, 1988.

Larrard F., Concrete mixture proportioning: a scientific approach, E & FN Spon, London, 1999.

Neville A. M., Properties of concrete, Longman, London, 1995.