

CONFORMIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BETÕES

Paulo J. Cunha, José B. Aguiar, e Pedro N. Oliveira

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho
Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães
aguiar@civil.uminho.pt, pno@dps.uminho.pt

Aires Camões

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães
aires@civil.uminho.pt

Resumo

O incumprimento das regras especificadas e a consequente não conformidade dos betões em relação à normativa vigente pode originar o aparecimento de anomalias e a degradação precoce das construções. Neste contexto procedeu-se à recolha de vários provetes *in situ*, representativos do betão a aplicar em determinadas obras, com o objectivo de realizar um estudo estatístico com um número suficientemente vasto de resultados exigidos pelas normas, o que permitiu verificar as probabilidades de estas serem respeitadas ou não. A análise dos resultados obtidos evidenciou que em quatro das cinco obras seleccionadas a classe de betão obtida foi superior à exigida, enquanto que numa das obras o betão não verificou os critérios. Nesta obra, a classificação do estaleiro pode ser considerada como média, enquanto nas restantes variou entre bom e muito bom. A classificação foi feita tomando em conta o desvio-padrão dos resultados dos ensaios de resistência à compressão.

Palavras-chave: betão, conformidade, resistência à compressão, análise estatística.

1 Introdução

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

É ainda 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 (e das adições e adjuvantes quando utilizados) deve ser seleccionada 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 está exposto durante o tempo de vida útil previsto, devem ser tomados em consideração alguns factores: escolha dos constituintes, escolha da composição, selecção da classe de exposição, requisitos para o betão fresco, relacionados com a amassadura, colocação, compactação e a cura, e requisitos para o betão endurecido. O controlo da qualidade dos diversos factores é regulamentado actualmente através da Norma NP EN 206-1 [1].

O não controlo da conformidade da resistência à compressão dos betões, tem levado a um descuido da sua qualidade. Assim, o não cumprimento da Norma NP ENV 206 [2], que foi recentemente substituída pela NP EN 206-1 [1], e a consequente não qualidade e não conformidade dos betões, podem originar anomalias, quer ao nível da estrutura, quer consequentemente ao nível dos revestimentos e alvenarias, podendo reflectir-se numa degradação precoce das construções em causa. Este não cumprimento da Norma surge, frequentemente, devido ao desconhecimento ou relaxamento, mas também por vezes com o intuito de poupar material de forma a aumentar o lucro final.

2 Betão hidráulico

O betão é legitimamente considerado como um material de construção muito versátil: utiliza materiais correntes, a tecnologia de fabrico é simples e requer consumos energéticos baixos. Este surgiu da necessidade de substituir a construção em alvenaria de pedra, permitindo execuções mais moldáveis aos interesses dos construtores. De uma forma geral 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 uma pedra artificial, mais ou menos homogénea e plástica, que pode atingir a durabilidade e a resistência da pedra natural, mas uma pedra que pode ser facilmente moldada, armada pré-esforçada, pós-tensionada com cabos e misturada com fibras de vários tipos [3, 4].

O betão com agregados, cimento e água apresenta certas características gerais, mas no entanto, muitas vezes é conveniente conferir-lhe outras determinadas características, como por exemplo, uma maior impermeabilidade, fluidez, velocidade de obtenção das resistências mecânicas, possível por intermédio da incorporação de pequenas quantidades de adjuvantes que serão os responsáveis pela obtenção de estas, e outras, características do betão. Assim sendo, hoje em dia os adjuvantes podem considerar-se 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 [5, 6].

O betão é uma pedra artificial resultante da mistura entre uma substância ligante (cimento ou betuminoso) e um material agregado (não reagente) portador de boas características de resistência mecânica. Nos casos em que o ligante é o cimento é ainda necessária a adição de água para promover a reacção química de aderência. Com vista à obtenção de melhorias ao nível de algumas das suas propriedades, é usual a inclusão de outras substâncias químicas à mistura, designadas de adjuvantes. Sendo as suas propriedades dependentes de diversos factores, assumem especial relevo as propriedades dos agregados envolvidos (geométricas, mecânicas e químicas), o tipo de cimento adoptado e as diversas proporções entre os elementos, razão água/cimento (A/C) e quantidade de água por m³ [7, 8].

3 Descrição do trabalho experimental

3.1 Recolha de provetes

A recolha de vários provetes em determinadas obras, ao longo do ano de 2005, teve como objectivo principal a realização de um estudo estatístico relativamente alargado, não só do número mínimo de resultados exigidos pela NP ENV 206 [2], mas, com um vasto número de resultados, e com várias combinações entre eles, respeitando o número mínimo de resultados exigidos pela Norma, verificar que possibilidades existem de esta ser respeitada ou não.

Foram contactadas algumas empresas, para recolher em cinco das 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 (Figuras 1 e 2).



Figura 1 - Vibrador de agulha e moldes.

Assim, na obra 1 foi utilizado betão feito em obra, da classe de resistência à compressão C16/20. Na obra 2 foi utilizado betão pronto da classe de resistência C16/20. Nas obras 3 e 4 foi utilizado betão C20/25 feito em obra. Na obra 5 a classe de resistência à compressão pretendida era a C25/30 e tratava-se de betão pronto.



Figura 2 – Ensaio de compressão.

Para cada obra foram realizados vinte ensaios. Individualmente, para cada combinação, procedeu-se à verificação dos critérios de conformidade da resistência à compressão assim como à determinação da classe do betão obtida. O procedimento adoptado no controlo da conformidade foi feito inicialmente de acordo com a Norma NP ENV 206 [2]. O controlo da conformidade avaliou-se também, de acordo com a Norma NP EN 206-1 [1], comparando-se os dois resultados obtidos.

Primeiro, e de acordo com a Norma NP ENV 206 [2], para as obras 1, 2, 3 e 4, existem 1140 combinações de 3 resultados cada e para a obra 5 existem 38760 combinações de 6 resultados cada. Depois, e segundo a Norma NP EN 206-1 [1], para as cinco obras existem 1140 combinações de 3 resultados cada, visto tratar-se de uma produção inicial. Para as obras 1, 3 e 4, a verificação dos critérios de conformidade da resistência à compressão foi feita utilizando unicamente os critérios referentes à produção inicial, uma vez que se trata de betão sem certificação do controlo de produção. Para as obras 2 e 5, embora tratando-se de betão com certificação do controlo de produção, uma vez que temos um número de resultados obtidos e conhecidos inferior a 35, teremos igualmente que utilizar os critérios de conformidade da resistência à compressão referentes à produção inicial.

No entanto, e em relação a duas obras, a obra 2 e a obra 5, colocamos a hipótese de serem conhecidos os 35 resultados anteriores, tratando-os em cada uma delas, como se se tratasse de uma produção contínua, utilizando para tal o desvio padrão obtido para os vinte resultados. Assim, além das 1140 combinações de 3 resultados para cada uma, para as obras 2 e 5, fizemos também combinações de 15 resultados cada, obtendo assim 15504 combinações em cada uma, partindo, é claro, do pressuposto que estaríamos perante duas produções contínuas. Analisámos também os 20 resultados em simultâneo, numa só combinação, ao abrigo da Norma NP EN 206-1 [1], fazendo o mesmo segundo a Norma NP ENV 206 [2] (com esta Norma analisámos desta forma as cinco obras), comparando-os a seguir.

No final, comparámos os resultados obtidos segundo as Normas, a NP ENV 206 [2] e a NP EN 206-1 [1]. Para as obras 2 e 5, comparámos também as combinações de 15 resultados e a combinação dos 20 resultados no global. Por questões de simplicidade utilizou-se uma folha de cálculo como ferramenta para esquematizar todo o estudo descrito até ao momento. Temos, então, e para a Norma NP EN 206-1

[1], que para a determinação da classe do betão obtida e controlo da conformidade da resistência à compressão é necessário antes do mais verificar se cada provete ensaiado aos 28 dias cumpre o critério 2. Deve ainda confirmar-se se o betão em causa cumpre o critério 3, isto é, se pertence à família, isto no caso dos betões com certificação do controlo da produção. Por fim, é necessário que a média dos “n” resultados transpostos cumpram o critério 1.

3.2 Cálculos de acordo com a Norma NP ENV 206

3.2.1 3 a 5 resultados

Obra 1 no ano 2005

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

$$X_n = \frac{29,65 + 28,93 + 29,08}{3} = 29,22 MPa \quad (1)$$

- b) O menor valor das tensões obtidas:

$$X_{min} = 28,93 MPa$$

- c) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 20 MPa$$

- d) Verificação das seguintes condições:

$$X_n \geq f_{ck} + 5 \Leftrightarrow 29,22 \geq 20 + 5 \rightarrow O.K. (verifica) \quad (2)$$

$$X_{min} \geq f_{ck} - 1 \Leftrightarrow 28,93 \geq 20 - 1 \rightarrow O.K. (verifica) \quad (3)$$

- e) Determinação da classe do betão:

$$29,22 \geq f_{ck} + 5 \Rightarrow f_{ck} \leq 24,22 MPa \quad (2)$$

$$28,93 \geq f_{ck} - 1 \Rightarrow f_{ck} \leq 29,93 MPa \quad (3)$$

-Sendo 24,22 MPa o menor valor \Rightarrow Classe do Betão Obtida: C19/24

3.2.2 6 ou mais resultados

Obra 5 no ano 2005

- a) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 6 resultados:

$$X_n = \frac{33,99 + 35,72 + 36,41 + 23,47 + 20,49 + 28,44}{6} = 29,75 MPa \quad (1)$$

- b) O menor valor das tensões obtidas:

$$X_{min} = 20,49 MPa$$

- c) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 30 MPa$$

- d) Cálculo do desvio padrão:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_n)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(33,99-29,75)^2 + (35,72-29,75)^2 + \dots + (20,49-29,75)^2 + (28,44-29,75)^2}{6-1}} = 6,71 \quad (4)$$

e) Determinação dos valores λ e k do quadro, em função do número de amostras:

$$\lambda=1,48 \text{ e } k=3$$

f) Verificação das seguintes condições:

$$X_n \geq f_{ck} + \lambda * S_n \Leftrightarrow 29,75 \geq 30 + 1,48 * 6,71 \rightarrow K.O. \text{ (não verifica)} \quad (5)$$

$$X_{\min} \geq f_{ck} - k \Leftrightarrow 20,49 \geq 30 - 3 \rightarrow K.O. \text{ (não verifica)} \quad (6)$$

g) Determinação da classe do betão:

$$29,75 \geq f_{ck} + 1,48 * 6,71 \Rightarrow f_{ck} \leq 19,83 \text{ MPa} \quad (5)$$

$$20,49 \geq f_{ck} - 3 \Rightarrow f_{ck} \leq 23,49 \text{ MPa} \quad (6)$$

-Sendo 19,83 MPa o menor valor \Rightarrow Classe do Betão Obtida: C15/19

3.3 Cálculos de acordo com a Norma NP EN 206-1

3.3.1 Produção inicial - 3 resultados

Obra 1 no ano 2005

a) O valor das tensões obtidas:

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

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

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

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

$$f_{cm} = \frac{29,65 + 28,93 + 29,08}{3} = 29,22 \text{ MPa} \quad (7)$$

c) O valor característico especificado:

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

d) Verificação dos seguintes critérios:

$$\text{Critério 2} \rightarrow f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \Leftrightarrow f_{ci} \geq 20 - 4 \rightarrow O.K. \text{ (verifica)} \quad (8)$$

$$\text{Critério 1} \rightarrow f_{cm} \geq f_{ck} + 4 \Leftrightarrow 29,22 \geq 20 + 4 \rightarrow O.K. \text{ (verifica)} \quad (9)$$

e) Determinação da classe do betão:

$$28,93 \geq f_{ck} - 4 \Rightarrow f_{ck} \leq 32,93 \text{ MPa} \quad (8)$$

$$29,22 \geq f_{ck} + 4 \Rightarrow f_{ck} \leq 25,22 \text{ MPa} \quad (9)$$

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

3.3.2 Produção contínua - 15 ou mais resultados

Obra 2 no ano 2005

a) O valor das tensões obtidas:

$$f_{c1} = 33,72 MPa$$

$$f_{c2} = 33,58 MPa$$

$$f_{c3} = 33,72 MPa$$

$$f_{c4} = 33,28 MPa$$

$$f_{c5} = 34,14 MPa$$

$$f_{c6} = 31,64 MPa$$

$$f_{c7} = 31,76 MPa$$

$$f_{c8} = 32,21 MPa$$

$$f_{c9} = 32,50 MPa$$

$$f_{c10} = 32,19 MPa$$

$$f_{c11} = 31,70 MPa$$

$$f_{c12} = 31,52 MPa$$

$$f_{c13} = 32,97 MPa$$

$$f_{c14} = 32,82 MPa$$

$$f_{c15} = 32,67 MPa$$

b) Cálculo da média das tensões de rotura à compressão dos 15 resultados:

$$f_{cm} = \frac{33,72 + \dots + 32,67}{15} = 32,69 MPa \quad (7)$$

c) O valor característico especificado:

$$f_{ck} = 20 MPa$$

d) Cálculo do desvio padrão:

Neste ponto, uma vez que, por hipótese, se tratava de uma produção contínua, teríamos que ter calculado o desvio padrão a partir de, pelo menos, 35 resultados consecutivos. No nosso caso, foi calculado com base nos 20 resultados obtidos em obra:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_n)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(35,95-33,47)^2 + \dots + (32,67-33,47)^2}{20-1}} = 1,59 \quad (4)$$

e) Verificação dos seguintes critérios:

$$\text{Critério 2} \rightarrow f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \Leftrightarrow f_{ci} \geq 20 - 4 \rightarrow O.K. (\text{verifica}) \quad (8)$$

$$\text{Critério 3} \rightarrow f_{cm} \geq f_{ck} + 3 \Leftrightarrow 32,69 \geq 20 + 3 \rightarrow O.K. (\text{verifica}) \quad (10)$$

$$\text{Critério 1} \rightarrow f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma \Leftrightarrow 32,69 \geq 20 + 1,48 * 1,59 \rightarrow O.K. (\text{verifica}) \quad (11)$$

f) Determinação da classe do betão:

$$31,52 \geq f_{ck} - 4 \Rightarrow f_{ck} \leq 35,52 MPa \quad (8)$$

$$32,69 \geq f_{ck} + 3 \Rightarrow f_{ck} \leq 29,69 MPa \quad (10)$$

$$32,69 \geq f_{ck} + 1,48 * 1,59 \Rightarrow f_{ck} \leq 30,34 MPa \quad (11)$$

-Sendo 29,69 MPa o menor valor \Rightarrow Classe do Betão Obtida: C24/29

4 Resultados

Tal como já foi referido, o procedimento adoptado no controlo da conformidade para a resistência à compressão foi feito inicialmente de acordo com a Norma NP ENV 206 [2], utilizando o mesmo tipo de cálculos exemplificados em 3.2. Posteriormente, avaliou-se também, a conformidade com a Norma NP EN 206-1 [1] (ver número 3.3), e compararam-se os resultados obtidos. Para tal, utilizaram-se várias combinações possíveis de efectuar com os 20 resultados de cada obra (Tabela 1).

Tal como já referimos anteriormente, primeiro, e de acordo com a Norma NP ENV 206 [2], para as obras 1, 2, 3 e 4, existem 1140 combinações de 3 resultados cada e para a obra 5 existem 38760 combinações de 6 resultados cada. Depois, e segundo a Norma NP EN 206-1 [1], para as cinco obras existem 1140 combinações de 3 resultados cada. No entanto, e em relação a duas obras, a obra 2 e a obra 5, existem combinações de 15 resultados cada, obtendo assim 15504 combinações em cada uma, partindo, é claro, do pressuposto que estaríamos perante duas produções contínuas. Analisámos também, e como já referido, para as obras 2 e 5, os 20 resultados ao mesmo tempo, numa só combinação ao abrigo da Norma NP EN 206-1 [1], fazendo o mesmo segundo a Norma NP ENV 206 [2] (neste caso para as cinco obras), comparando-os a seguir.

Tabela 1 – Resultados das cinco obras de 2005 (valores em MPa).

	Obra 1	Obra 2	Obra 3	Obra 4	Obra 5
	29,65	35,95	39,60	35,06	33,99
	29,70	35,63	38,02	34,15	37,83
	30,16	33,72	38,09	38,52	39,30
	29,99	33,58	38,92	37,36	35,72
	29,80	36,37	42,78	35,18	38,56
	28,93	33,72	44,13	36,15	39,55
	29,82	34,76	28,04	37,53	36,41
	30,33	33,28	29,11	37,45	38,96
	30,83	34,14	28,93	35,08	38,69
	29,08	36,24	29,56	37,00	38,41
	39,36	31,64	32,82	39,35	23,47
	39,51	31,76	31,77	38,46	36,93
	39,30	32,21	30,89	38,32	20,49
	39,08	32,50	33,81	36,86	28,44
	39,32	32,19	31,83	38,62	37,27
	39,65	31,70	32,50	38,47	37,18
	38,20	31,52	32,22	37,20	37,47
	37,37	32,97	32,86	38,59	39,03
	38,74	32,82	31,25	37,82	38,44
	39,67	32,67	32,74	38,21	37,53
Média	34,42	33,47	33,99	37,27	35,68
Desvio Padrão	4,76	1,59	4,64	1,45	5,31
Mediana	34,10	33,13	32,62	37,49	37,50
Coef.varia.	0,14	0,05	0,14	0,04	0,15
Estaleiro	Bom	M.Bom	Bom	M.Bom	Médio

Na Obra 1, onde foi utilizado betão fabricado no local, sem certificação do controlo de produção, a classe de resistência à compressão pretendida era a C16/20. Fazendo combinações de 3 resultados, com os 20 provetes ensaiados, existem 1140 combinações no total. Como se pode constatar pela Tabela 2, dessas 1140 combinações, todas elas, verificaram os critérios de conformidade da resistência à compressão, tanto ao abrigo da Norma NP ENV 206 [2], como com a Norma NP EN 206-1 [1]. Das combinações realizadas a 3 resultados, segundo a Norma NP ENV 206 [2], a tensão característica de resistência à compressão mais baixa obtida foi de 24 MPa e a mais alta foi de 34 MPa. Para a Norma NP EN 206-1 [1], o valor mais baixo foi de 25 MPa e o mais elevado foi de 35 MPa, aumentando em 1 MPa tanto no valor mais baixo como no valor mais elevado. Utilizando o conjunto de resultados determinados, foi possível efectuar as seguintes combinações: uma com os três resultados mais baixos e outra com os três resultados mais elevados observados de entre os vinte. Com base nos resultados obtidos o estaleiro foi classificado de ‘Bom’. A sua classificação é dada pela razão entre o desvio padrão e a média. A média das tensões observadas foi de 34,42 MPa. Segundo a Norma NP ENV 206 [2], obteve-se a tensão característica de resistência à compressão de 27 MPa.

Tabela 2 – Combinações de resultados para a obra 1 de 2005.

	<i>Combinações de 3 resultados</i>				<i>Combinações de 15 resultados</i>				<i>20 resultados</i>
	OK %	KO %	$f_{ck,max}$ (MPa)	$f_{ck,min}$ (MPa)	OK %	KO %	$f_{ck,max}$ (MPa)	$f_{ck,min}$ (MPa)	$f_{ck,obtida}$ (MPa)
NP ENV 206	100	0	34	24	-	-	-	-	27
NP EN 206-1	100	0	35	25	-	-	-	-	-

Tabela 3 – Combinações de resultados para a obra 2 de 2005.

	<i>Combinações de 3 resultados</i>				<i>Combinações de 15 resultados</i>				<i>20 resultados</i>
	OK %	KO %	$f_{ck,max}$ (MPa)	$f_{ck,min}$ (MPa)	OK %	KO %	$f_{ck,max}$ (MPa)	$f_{ck,min}$ (MPa)	$f_{ck,obtida}$ (MPa)
NP ENV 206	100	0	33	28	100	0	31	31	31
NP EN 206-1	100	0	32	27	100	0	31	29	30

Para a Obra 2 (betão pronto, com certificação do controlo de produção), a classe de betão pretendida era também a C16/20. Com os 20 resultados, fazendo combinações de 3, existem 1140 combinações. Conforme é possível observar na Tabela 3, todas elas verificaram os critérios de conformidade da resistência à compressão ao abrigo das duas Normas. Para a Norma NP ENV 206 [2], a tensão característica de resistência à compressão mais baixa obtida foi de 28 MPa e a mais alta foi de 33 MPa. Para a Norma NP EN 206-1 [1], o valor mais baixo foi de 27 MPa e o mais elevado foi de 32 MPa, diminuído em 1 MPa tanto no valor mais baixo como no valor mais elevado. Fizeram-se também combinações de 15 resultados, existindo 15504 combinações. Igualmente, todas elas verificaram as condições prescritas nas duas Normas. Para a Norma NP ENV 206 [2], a tensão característica de resistência à compressão mais baixa e a mais elevada obtida foi de 31 MPa. Para a Norma NP EN 206-1 [1], o valor mais baixo foi de 29 MPa e o mais elevado foi de 31 MPa. Verifica-se que há uma diminuição de 2 MPa para o valor mais baixo, enquanto que o mais elevado se mantém constante nos 31 MPa. A média das tensões observadas foi de 33,72 MPa. A classificação do estaleiro foi de ‘Muito

Bom'. A resistência característica obtida para os vinte resultados, de acordo com a Norma NP ENV 206 [2], foi de 31 MPa e na Norma NP EN 206-1 [1] atingiu 30 MPa.

Na Obra 3, betão fabricado no local, sem certificação do controlo de produção, a classe de betão pretendida era a C20/25 (Tabela 4). Existem igualmente 1140 combinações com os 20 provetes ensaiados, fazendo combinações de 3 resultados. Segundo a Norma NP ENV 206 [2], 97,02 % das combinações (1106 combinações), verificam os critérios de conformidade da resistência à compressão e somente 2,98 % não o fazem, correspondendo a 34 combinações. Ao abrigo da NP EN 206-1 [1], 99,74 % (1137 combinações), verificam os critérios e 0,26 % não, ou seja, 3 combinações. Para a Norma NP ENV 206 [2], a tensão característica de resistência à compressão mais baixa obtida foi de 23 MPa e a mais alta foi de 37 MPa. Para a Norma NP EN 206-1 [1], o valor mais baixo foi de 24 MPa e o mais elevado foi de 38 MPa, aumentando em 1 MPa tanto no valor mais baixo como no valor mais elevado. A média das tensões observadas foi de 33,99 MPa. O estaleiro foi classificado de 'Bom'. A resistência característica obtida na Norma NP ENV 206 [2] foi 27 MPa.

Tabela 4 – Combinações de resultados para a obra 3 de 2005.

	<i>Combinações de 3 resultados</i>				<i>Combinações de 15 resultados</i>				<i>20 resultados</i>
	OK %	KO %	$f_{ck,max}$ (MPa)	$f_{ck,min}$ (MPa)	OK %	KO %	$f_{ck,max}$ (MPa)	$f_{ck,min}$ (MPa)	$f_{ck,obtida}$ (MPa)
NP ENV 206	97,02	2,98	37	23	-	-	-	-	27
NP EN 206-1	99,74	0,26	38	24	-	-	-	-	-

Na Obra 4, betão fabricado no local, sem certificação do controlo de produção, a classe pretendida era igualmente a C20/25. Mais uma vez existem 1140 combinações, com os 20 provetes ensaiados, com combinações de 3. Conforme Tabela 5, tanto segundo uma Norma como com outra, a verificação dos critérios de conformidade da resistência à compressão foi de 100 %. Para a Norma NP ENV 206 [2], a tensão característica de resistência à compressão mais baixa obtida foi de 29 MPa e a mais alta foi de 33 MPa. Para a Norma NP EN 206-1 [1], o valor mais baixo foi de 30 MPa e o mais elevado foi de 34 MPa, aumentando em 1 MPa tanto no valor mais baixo como no valor mais elevado. A média das tensões observadas foi de 37,27 MPa. O estaleiro foi classificado de 'Muito Bom'. A resistência característica obtida na Norma NP ENV 206 [2] foi 35 MPa.

Tabela 5 – Combinações de resultados para a obra 4 de 2005.

	<i>Combinações de 3 resultados</i>				<i>Combinações de 15 resultados</i>				<i>20 resultados</i>
	OK %	KO %	$f_{ck,max}$ (MPa)	$f_{ck,min}$ (MPa)	OK %	KO %	$f_{ck,max}$ (MPa)	$f_{ck,min}$ (MPa)	$f_{ck,obtida}$ (MPa)
NP ENV 206	100	0	33	29	-	-	-	-	35
NP EN 206-1	100	0	34	30	-	-	-	-	-

Finalmente, na Obra 5 (betão pronto, com certificação do controlo de produção), a classe do betão pretendida era a C25/30 (Tabela 6). De realçar, à partida, que nesta obra existem três provetes com resultados muito diferentes e muito baixos em relação aos restantes. Segundo a Norma NP ENV 206

[2], existem 38760 combinações com os 20 resultados, fazendo combinações de 6 resultados. Verificou-se que em 47,89 % (18564) das combinações cumprem os critérios de verificação e 52,11 % (20196 combinações) não. Com a Norma NP EN 206-1 [1], fizeram-se combinações de 3 resultados, obtendo no total 1140 combinações. Em 71,38 % dos casos (816 combinações) verificaram-se os critérios de conformidade da resistência à compressão e em 37,19 % (324 combinações) não. Curiosamente verificou-se o mesmo sentido do ocorrido na Obra 3, aumentando o número de combinações que cumprem os critérios desta nova Norma, sendo que aqui, nesta obra, de um modo mais significativo. Para a Norma NP ENV 206 [2], a tensão característica de resistência à compressão mais baixa obtida foi de 19 MPa e a mais alta foi de 38 MPa. Para a Norma NP EN 206-1 [1], o valor mais baixo foi de 20 MPa, aumentando em 1 MPa em relação à anterior Norma. O mais elevado foi de 35 MPa, diminuindo em 3 MPa em relação à NP ENV 206 [2].

Tabela 6 – Combinações de resultados para a obra 5 de 2005.

	<i>Combinações de resultados</i>				<i>Combinações de 15 resultados</i>				<i>20 resultados</i>
	OK %	KO %	$f_{ck,max}$ (MPa)	$f_{ck,min}$ (MPa)	OK %	KO %	$f_{ck,max}$ (MPa)	$f_{ck,min}$ (MPa)	$f_{ck,obtida}$ (MPa)
NP ENV 206	47,89 ^{a)}	52,11 ^{a)}	38 ^{a)}	19 ^{a)}	5,26	94,74	36	24	24
NP EN 206-1	71,58 ^{b)}	37,19 ^{b)}	35 ^{b)}	20 ^{b)}	5,26	94,74	30	24	24

a) – Combinações de 6 resultados

b) – Combinações de 3 resultados

Fizeram-se, também, combinações de 15 resultados, existindo 15504 combinações. Igualmente nas duas Normas, somente em 816 combinações (5,26 %) cumprem os critérios de verificação e 94,74 % (14688 combinações) não. Para as duas Normas, a tensão de resistência à compressão mais baixa foi de 24 MPa. Para a NP ENV 206 [2], o valor mais elevado foi de 36 MPa e para a Norma NP EN 206-1 [1], o mais elevado foi de 30 MPa. Verifica-se que no valor de tensão característica de resistência à compressão mais elevado há uma diminuição de 6 MPa na nova Norma. A média das tensões observadas foi de 35,68 MPa. Embora estivéssemos a analisar resultados provenientes de Betão Pronto, o estaleiro foi classificado de ‘Médio’. Para os vinte resultados verificados ao mesmo tempo, a resistência característica obtida na Norma NP ENV 206 [2] foi 24 MPa e na Norma NP EN 206-1 [1] foi igualmente 24 MPa.

Em relação ao ano 2005, tanto com a Norma NP ENV 206 [2] como com a NP EN 206-1 [1], no universo das cinco obras analisadas, nas quais se realizaram uma semana de ensaios, com vinte resultados cada, constatou-se que o número de ensaios em que a classe do betão obtida é superior à classe exigida é muito elevado. Somente na Obra 5 se registaram alguns problemas com a verificação dos critérios de conformidade de resistência à compressão.

5 Conclusões

Começando pelas Obras 1, 3 e 4, em que o betão foi fabricado no local e sem certificação do controlo da produção, podemos observar que para combinações de três resultados, a Norma NP EN 206-1 [1]

tem um critério menos exigente que a NP ENV 206 [2], como se pode ver pelas percentagens de verificação dos critérios de conformidade da resistência à compressão obtido na Obra 3, proporcionando, também, uma tensão de resistência à compressão mais elevada em 1 MPa, em qualquer uma das três obras em questão.

Para as Obras 2 e 5, casos em que se trata de betão pronto e com certificação do controlo da produção, verifica-se, como se pode constatar pelas percentagens obtidas, que quer para combinações com um número mínimo de resultados, quer para combinações de quinze resultados, quer mesmo na análise global feita aos vinte resultados, existe também um cumprimento mais fácil dos critérios de conformidade da resistência à compressão. No entanto, a tensão de resistência à compressão obtida é mais baixa nesta nova Norma NP EN 206-1 [1], passando a existir também o contributo importante de um novo critério na verificação dos critérios de conformidade da resistência à compressão, o critério de família.

Após analisarmos os resultados para as cinco obras de 2005, em relação ao cumprimento dos critérios de conformidade nas duas Normas, verificámos que a condição em que se verifica que a classe de betão obtida é superior à exigida, a percentagem é muito elevada, tendo havido só alguns problemas de resultados com a Obra 5. Nesta Obra verifica-se ainda que existem três resultados muito baixos em relação aos restantes provetes ensaiados. Ora, sabendo nós que os provetes realizados ao longo do ano de 2005 tiveram uma concepção cuidada, e ao compararmos com os maus resultados verificados ao longo de anos anteriormente estudados, conclui-se, portanto, que é importante uma vasta e cuidada concepção de vários provetes ao longo de uma obra, de maneira a controlar de uma forma mais fiável e real a classe de resistência à compressão do betão aí utilizado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Eng. Daniel Pinheiro e ao Sr. Paulo Caetano pela sua prestabilidade aquando da realização dos ensaios no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho.

Referências

- [1] Instituto Português da Qualidade (IPQ), NP EN 206-1. *Betão – Comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade*, 2005.
- [2] Instituto Português da Qualidade (IPQ), NP ENV 206. *Betão – Comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade*, 1993.
- [3] Illston, J. M. *Construction Materials, their nature and behaviour*, E & FN Spon, London, 1996.
- [4] Jackson, N.; Dhir, R. *Civil Engineering Materials*, MacMillan Education, 1988.
- [5] Larrard, *Concrete Mixture Proportioning: a scientific approach*, E & FN Spon, 1999.
- [6] Coutinho, A. S. *Fabrico e Propriedades do Betão*, LNEC, Lisboa 1998.
- [7] Aguiar, J. B. *Materiais de Construção II*, Guimarães, 2000.
- [8] Neville, A. M. *Properties of Concrete*, Longman, London, 1995.