

Controle da resistência à compressão do concreto: análise comparativa entre os procedimentos propostos pela ABNT, ACI e EN

RICARDO BONI

PAULO HELENE

PhD ENGENHARIA

CARLOS BRITZ

BRITZ CONSULTORIA

I. INTRODUÇÃO

No Brasil, atualmente, o controle da resistência à compressão do concreto é realizado de acordo com as prescrições da norma ABNT NBR 12655:2015 “Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento”, que apresenta, no subitem 6.2 “Ensaio de resistência à compressão”, os limites máximos para a formação de lotes de concreto, critérios de amostragem e os dois tipos de controle considerados: controle estatístico por amostragem parcial e controle por amostragem total.

No controle por amostragem parcial as amostras são coletadas aleatoriamente de betonadas distintas, respeitando a quantidade mínima de exemplares (conforme os grupos e classes de resistência do concreto), para posterior determinação do $f_{ck,est}$ por meio de expressões matemáticas (com fundamento estatístico) denominadas estimadores, formulados para o caso

mais comum de amostras, com número de exemplares compreendidos entre $6 \leq n < 20$, e, para amostras com vinte ou mais exemplares ($n \geq 20$). Neste caso leva em conta a resistência média (f_{cm}) e o desvio padrão de produção e ensaio efetivo, denominado na norma como s_d .

Ressalta-se que, no Brasil, o controle por amostragem parcial é comumente empregado em fábricas de pré-moldados de concreto (lajes alveolares, vigas, pilares, dormentes, etc.), devido, principalmente, à dinâmica de produção que usa betoneiras de pequeno volume ($< 1m^3$). Nos casos de obras de arte ou de edificações, construídas por concretagem in loco e caminhões betoneira de $8 m^3$, a amostragem é preponderantemente total, a 100%.

Quanto ao controle por amostragem total (100%), todas as betonadas são amostradas e a resistência característica à compressão do concreto estimada ($f_{ck,est}$) é dada pelo valor da resistência à compressão do exemplar de cada be-

tonada, uma vez que a amostra, neste caso de 100%, confunde-se com a população. Trata-se de um controle largamente utilizado no Brasil em obras de edifícios comerciais e residenciais de múltiplos pavimentos desde a vigência da ABNT NB-1 de 1978.

Conforme estabelecido no subitem 6.2.2 “Amostragem” da norma ABNT NBR 12655:2015, cada exemplar deve ser constituído por, no mínimo, dois corpos de prova da mesma amassada e moldados no mesmo ato. A resistência do exemplar (ou seja, daquela betonada), para uma determinada idade de ruptura, é a maior dentre os dois valores obtidos no ensaio de resistência à compressão. Outras normas, como ACI 318 e EN 206, adotam a média dos valores, estabelecendo uma tolerância máxima de diferença entre dois ou mais resultados de corpos de prova da mesma amassada/betonada. Em todas as normas uma amassada/betonada, qualquer que seja seu volume, só tem um valor de resistência, ou seja,



► Tabela 1 – Traço do concreto $f_{ck} = 40\text{MPa}$, em massa, materiais secos, para 1m^3 de concreto

Insumos do traço do concreto	$f_{ck} 40\text{MPa}$
Cimento (CP III-40-RS)	380kg
Sílica ativa	20kg
Água	180kg
Areia fina natural	364kg
Areia artificial, areia de brita	546kg
Brita 0 (dimensões de 4,5mm a 9,5mm)	279kg
Brita 1 (dimensões de 9,5mm a 19mm)	651kg
Aditivo polifuncional, 0,6% em massa de cimento	2,3kg
Aditivo superplastificante, 1,2% em massa de cimento	4,6kg
Massa específica do concreto fresco (kg/m^3)	2420
Espalhamento (classe)	SF2
Teor de ar aprisionado (%)	0,8

sempre representam apenas um exemplar, ou seja, uma unidade de produto ou um indivíduo estatístico.

O controle da resistência à compressão do concreto das estruturas de edificação e de obras de arte é parte integrante da introdução da segurança no projeto estrutural, sendo indispensável sua permanente comprovação ao longo da execução da estrutura, bem como a sua respectiva rastreabilidade por meio do adequado mapeamento do lançamento do concreto.

Neste trabalho estão apresentados os resultados obtidos durante o controle de resistência à compressão do concreto realizado por amostragem total à luz da ABNT NBR 12655, bem como análises comparativas com o controle proposto pela norma americana ACI 318-14 “*Building Code Requirements for Structural Concrete*” e pela norma europeia EN-206:2013 “*Concrete – Specification, performance, production and conformity*”.

Para tanto, foi analisado um único traço de concreto $f_{ck} = 40\text{MPa}$, autoadensável com classe de espalha-

mento SF 2 (*slump-flow* de 660mm a 750 mm), conforme classificação da ABNT NBR 15823:2010 “Concreto autoadensável. Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco”, produzido em uma única Central dosadora, durante um período de 2 anos e 9 meses, e aplicado nas estruturas de concreto armado de 1 (uma) torre comercial e 2 (duas) torres corporativas, com 24 e 36 pavimentos, de um empreendimento de grande porte localizado na cidade de São Paulo.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO E PREMISSAS

2.1 Características do concreto e particularidades da produção

Com base nas diretrizes do método de dosagem IBRACON (Tutikian & Hele- ne, 2011), nas especificações de projeto, nos insumos disponíveis, nas condições e particularidades do canteiro de obras do empreendimento, foi realizado um extenso estudo de dosagem racional e experimental para elaboração de um traço de concreto autoadensável com $f_{ck} = 40\text{MPa}$. Este estudo foi desenvolvido em conformidade com as normas ABNT NBR 12655 e ABNT NBR 15823.

Considerando todos os aspectos mencionados, obteve-se o traço detalhado na Tabela 1.

Também foi realizado um evento de concretagem protótipo para avaliar o comportamento do concreto estudado em laboratório, nas condições de obra. Na oportunidade, observou-se em campo que a quantidade de aditivo superplastificante seria variável, da ordem de 30%, em virtude das condições climáticas, mantendo-se constantes as demais variáveis.

A Fig. 1 apresenta o aspecto visual



► Figura 1
Aspecto visual do concreto autoadensável observado durante o ensaio de espalhamento (*slumpflow test*)

do concreto em questão, em seu estado fresco, observado durante a execução do ensaio de espalhamento para determinação da fluidez (*slumpflow test*).

Esse traço foi adotado para a produção regular, tendo se mostrado adequado durante todo o período de mais de 2 anos, considerado neste estudo.

A produção do concreto foi realizada em Central dosadora estacionária provida de sistema de carregamento automatizado, baias e ponto de carga cobertos, balanças e hidrômetros aferidos mensalmente (inclusive os hidrômetros localizados nos locais denominados redosadores) e disponibilidade de seis caminhões betoneira. A Central dosadora estacionária de concreto se localizava no interior do canteiro de obras e produziu os vários concretos exclusivamente para o empreendimento em questão, com capacidade de produção de até 70 m³/hora.

Quanto aos procedimentos de carga, as britas, areias, cimento, água e aditivo polifuncional eram adicionados no ponto de carga da Central e a sílica ativa era colocada na esteira rolante diretamente sobre os agregados, visando assegurar melhor homogeneização da mistura final, que era realizada no balão do caminhão betoneira.

A umidade dos agregados miúdos era determinada 3 vezes ao dia, no mínimo, através da utilização do frasco de Chapman (ABNT NBR 9775:2011 “Agregado Miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio”). A umidade obtida era lançada no software do sistema de balança da Central dosadora, que efetuava automaticamente as correções necessárias.

Após carregamento do concreto, era adicionado, no redosador da Central dosadora, o aditivo superplastificante. Essa adição era procedida em volume por profissional treinado por meio da utilização de baldes graduados.

Importante registrar que, uma vez fora da Central dosadora, não era permitido adicionar água ao concreto, em hipótese alguma. Caso houvesse necessidade de correção do espalhamento, era empregado o aditivo superplastificante (adicionado, eventualmente, em canteiro de obras por profissional treinado após autorização do responsável e somente para correção da fluidez do concreto fresco).

Nesse contexto, o concreto foi fornecido sempre com o mesmo traço, pela mesma Central dosadora, durante

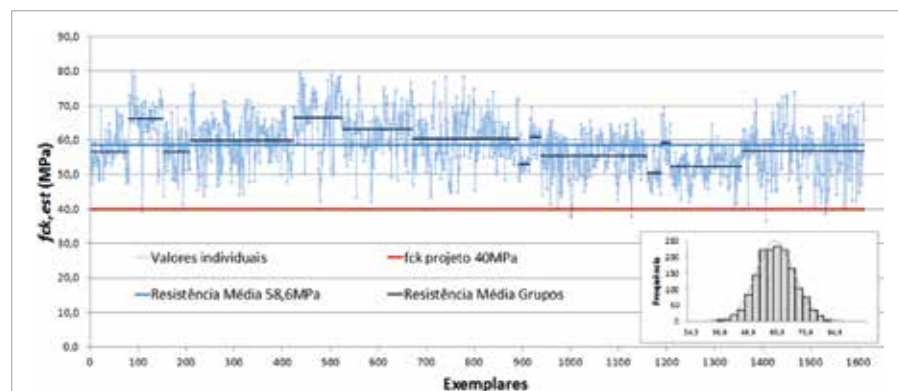
um período de 2 anos e 9 meses. No total, foram gerados, com este traço, aproximadamente 1.600 caminhões betoneira com, no máximo, 8 m³ cada, totalizando cerca de 12.000 m³ de concreto, ou seja, em média 360 m³/mês.

2.2 Plano de controle da resistência adotado

O controle de resistência à compressão do concreto foi realizado por amostragem total, respeitando as prescrições da norma ABNT NBR 12655, por Laboratório acreditado pelo INMETRO, pertencente à Rede Brasileira de Laboratório de Ensaio (RBLE), que utilizou laboratoristas qualificados e certificados pelo IBRACON através de seu Núcleo de Qualificação e Certificação de Pessoal (NQCP).

O plano de controle da resistência do concreto adotado durante todo o processo de produção consistia na moldagem de 4 (quatro) corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm para cada um dos caminhões betoneira, sendo, 1 (um) para ensaio de resistência à compressão aos 7 dias, 2 (dois) para 28 dias e 1 (um) para 63 dias de idade.

Os corpos de prova foram moldados em fôrmas metálicas, em local plano, protegido das intempéries, à sombra e, posteriormente (após desfôrma entre 24 h e 36 h), transportados em caixas de areia seca até a central do Laboratório de controle tecnológico, localizado a uma distância de aproximadamente 15 km do canteiro de obras, para sazonalização e ensaio. Esses corpos de prova foram armazenados em câmara úmida, tiveram seus topos preparados por meio de retificação e foram ensaiados em prensas calibradas periodicamente, em conformidade



► **Figura 2**
Carta de valores individuais com base nos resultados de resistência à compressão do concreto aos 28 dias de idade e histograma correspondente



com as normas ABNT NBR 5738:2015 “Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova” e ABNT NBR 5739:2007 “Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos”.

3. RESULTADOS

3.1 Apresentação dos resultados de resistência à compressão à luz da ABNT

A resistência à compressão de cada um dos exemplares foi determinada após ruptura dos corpos de prova, conforme prescrições da norma ABNT NBR 5739.

Na Fig. 2 está apresentada a carta de valores individuais das resistências à compressão do concreto aos 28 dias de idade, o histograma e a distribuição normal correspondente. Nesta carta, o eixo das abscissas apresenta os exemplares em ordem cronológica e o eixo das ordenadas, os valores de resistência à compressão de cada um dos exemplares.

A carta apresenta cerca de 1600 resultados de resistência à compressão, obtidos ao longo de 2 anos e 9 meses. Esses resultados variaram de 36,6 MPa a 80,1 MPa, com média de 58,6 MPa, sendo o menor valor obtido equivalente a $0,91 \cdot f_{ck}$. Foram constatados 11 (onze) resultados abaixo da resistência especificada em projeto ($f_{ck} = 40\text{MPa}$), ou seja, cerca de 0,7% do total de caminhões. Em uma distribuição normal (curva de Gauss), o quantil de defeituosos corresponderia a um coeficiente de 2,46 (ao invés de 1,645 para quantil de 5%).

A variabilidade da resistência à compressão de um mesmo traço de concreto pode oscilar em torno de diferentes valores, pois no decorrer do processo produtivo ocorrem mudanças de centra-

► Tabela 2 – Desvio padrão do processo, ABNT NBR 7212:2012

Local de preparo do concreto	Desvio padrão (MPa)			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Central	$s < 3,0$	$3,0 < s < 4,0$	$4,0 < s < 5,0$	$s > 5,0$

gem, principalmente devido a diferentes partidas de cimento e agregados.

Considerando o conceito de resistência característica do concreto descrito no subitem 12.2 “Valores característicos” da norma ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de estruturas de concreto – Procedimento”, o valor da resistência à compressão desse concreto, obtido diretamente da população, seria de $f_{ck,5\%} = 46,5\text{MPa}$. O desvio padrão das operações de produção e ensaio obtido foi $s_c = 6,6\text{MPa}$ e o coeficiente de variação $V_c = 11,2\%$.

Ainda, a resistência característica desse concreto, adaptada do critério de amostragem parcial da ABNT NBR 12655, seria de $f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \cdot s_c = 47,7\text{MPa}$, apesar que, neste caso, trata-se apenas de uma especulação matemática, pois o critério efetivo a ser utilizado deve ser o de amostragem total a 100%.

3.2 Avaliação do controle do processo de produção

De acordo com o item 7 “Análise do processo” da ABNT NBR 7212:2012

“Execução de concreto dosado em central – Procedimento”, a avaliação do controle do processo deve ser realizada com base no desvio-padrão, conforme apresentado na Tabela 2.

Dessa forma, por meio da análise do desvio padrão e dos critérios preconizados pela ABNT NBR 7212:2012, trata-se de uma Central Nível 4. De acordo com os parâmetros estabelecidos atualmente pela ABNT NBR 12655, esse desvio padrão da produção é elevado e não compatível com produção de concreto em usina, classe A. Por outro lado, a norma ABNT NB-1 de 1960, considerava que produção de concreto com desvio padrão igual ou inferior a 15% devia ser classificada como produção rigorosa, ou seja, corresponderia à melhor classificação na época.

Segundo o ACI 214 subitem 4.5 “Standards of control”, para concretos de $f_{ck} \geq 35\text{MPa}$ (caso em questão), o coeficiente de variação (v_c) é o parâmetro que deve ser usado para qualificar ou classificar o rigor de produção do concreto, conforme apresentado na Tabela 3, e nesse caso a

► Tabela 3 – Coeficiente de variação das operações de produção e ensaio (v_c), ACI 214

Tipo de serviço	Padrão de controle				
	Excelente	Muito bom	Bom	Razoável	Deficiente
Controle em canteiro de obras	$< 7,0\%$	7,0% a 9,0%	9,0% a 11,0%	11,0% a 14,0%	$> 14,0\%$
Pesquisas em laboratório	$< 3,5\%$	3,5% a 4,5%	4,5% a 5,0%	5,0% a 7,0%	$> 7,0\%$

► Tabela 4 – Coeficientes d_2 para cálculo do desvio padrão das operações de ensaio e controle

Número p de corpos de prova	d_2
2 (dois)	1,128
3 (três)	1,693
4 (quatro)	2,059

produção pode ser classificada com rigor bom/razoável.

Pode-se então concluir que a produção desse traço ao longo de mais de 2 anos apresentou rigor adequado com variabilidade normal ou razoável.

3.3 Influência das operações de ensaio e controle

Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias de idade disponibilizados foram analisados, do ponto de vista da influência das operações de ensaio e controle, de acordo com os critérios recomendados pelo American Concrete Institute no ACI-214R-11 “*Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete*”, que partem do pressuposto de que cada betonada/amassada apresenta apenas um resultado de resistência e a eventual diferença entre corpos de prova irmãos se deve às operações de ensaio.

► Tabela 5 – Coeficiente de variação das operações de ensaio e controle (v_e), ACI 214

Tipo de serviço	Padrão de controle				
	Excelente	Muito bom	Bom	Razoável	Deficiente
Controle em canteiro de obras	< 3,0%	3,0% a 4,0%	4,0% a 5,0%	5,0% a 6,0%	> 6,0%
Pesquisas em laboratório	< 2,0%	2,0% a 3,0%	3,0% a 4,0%	4,0% a 5,0%	> 5,0%

Os critérios de controles sugeridos no Capítulo 4 “*Analysis of Strength Data*” do ACI-214R-11 estabelecem o seguinte:

- a) Cálculo do desvio padrão das operações de ensaio e controle:

$$se = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n.d_2} \quad 1$$

onde:

s_e : desvio padrão das operações de ensaio em MPa;

n : número de exemplares considerados compostos de p corpos de prova (nunca inferior a 10 exemplares);

A : diferença entre o maior e o menor resultado de corpos de prova que representam um mesmo exemplar;

d_2 : coeficiente que depende do número p de corpos de prova representativos de um mesmo exemplar, conforme Tabela 4.

- b) Cálculo do coeficiente de variação ou variabilidade das operações de ensaio e controle:

$$V_e = \left(\frac{se}{f_{cmj}} \right) \cdot 100 \quad 2$$

onde:

s_e : desvio padrão das operações de ensaio em MPa (valor obtido no item a);

V_e : coeficiente de variação devido às operações de ensaio e controle (%);

f_{cmj} : média de todos os resultados utilizados, a j dias de idade, em MPa.

- c) Padrão de Controle, conforme Tabela 5.

Considerando a diferença de resistência à compressão entre os 2 (dois)

corpos de prova irmãos rompidos aos 28 dias de idade, os resultados obtidos ao longo de todo o período de produção do concreto indicaram desvio padrão das operações de ensaio e controle (s_e) variando de 0,6 MPa a 1,0 MPa e coeficiente de variação devido as operações de ensaio e controle (v_e) entre 1,1% a 1,6%, podendo ser considerado padrão excelente de controle.

3.4 Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

Conforme detalhado anteriormente, o controle da resistência à compressão do concreto foi realizado por amostragem total de acordo com as prescrições da norma ABNT NBR 12655. Entretanto, quando os valores de resistência à compressão dessa mesma produção de concreto são analisados à luz do ACI 318, o julgamento final do processo não coincide. Isso se justifica devido ao fato dos procedimentos de amostragem, bem como os critérios de aceitação prescritos pelo ACI, serem distintos do modelo adotado pela ABNT.

Quanto à amostragem, o ACI 318 no item 26.12 “Concrete evaluation and acceptance” recomenda como critérios mínimos:

- um exemplar por dia de concretagem;
- um exemplar para cada 115 m³ de concreto produzido;
- um exemplar para cada 465 m² de área superficial para lajes ou paredes;
- o controle para volumes inferiores a 38 m³ é dispensado, desde que exista carta de traço aprovada.

Ainda, de acordo com o ACI 318, o valor da resistência à compressão de cada um dos exemplares é determinado pela média aritmética simples dos resultados obtidos. Conforme ASTM



C39-16b “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, caso os valores individuais dos corpos de prova irmãos difiram de mais de 8%, os resultados são inadequados e o ensaio deveria ser repetido. O ACI 318, assim como a ABNT NBR 12655 e a norma europeia EN-206:2013 “Concrete – Specification, performance, production and conformity”, também considera que de cada betonada moldada é obtido apenas 1 (um) valor de resistência à compressão.

O ACI 318 prescreve os seguintes critérios de aceitação e conformidade:

- ▶ para $f_{ck} \leq 35\text{MPa}$, nenhum resultado individual deve ser inferior a $f_{ck} - 3,5\text{MPa}$;
- ▶ para $f_{ck} > 35\text{MPa}$ (caso em questão), nenhum resultado individual pode ser inferior a $0,9 \cdot f_{ck}$;
- ▶ a média móvel de quaisquer 3 (três) resultados consecutivos deve ser igual ou superior a resistência característica definida em projeto (f_{ck}).

Dessa forma, a fim de realizar uma análise comparativa entre os controles efetuados pela ABNT e ACI, todos os valores de resistência à compressão obtidos aos 28 dias de idade também foram tratados e organizados de acordo com os critérios de amostragem e aceitação propostos pelo ACI 318, conforme apresentado adiante.

Considerando o critério mínimo de amostragem proposto pelo ACI de um exemplar a cada 115 m^3 de concreto (ou seja, uma moldagem de corpos de prova a cada 14 caminhões betoneira de 8 m^3), tornou-se possível analisar inúmeras combinações de resultados, uma vez que foram moldados corpos de prova para todos os caminhões betoneira (população). Sendo assim, para estudar todas as possibilidades, foram determinadas as envoltórias dos va-



► **Figura 3**
Envoltória de resistência à compressão dos valores médios individuais de cada caminhão betoneira

lores individuais e da média móvel de 3(três) resultados consecutivos (valores máximos e mínimos assumidos).

Conforme critério preconizado pelo ACI 318, todos os valores individuais devem ser maiores que 36 MPa ($0,9 \cdot f_{ck}$). Observa-se na Fig. 3 (envoltória dos valores individuais) que, diante de todas as possibilidades, nenhum valor é menor que 36 MPa (salienta-se que o menor valor médio individual registrado foi de 36,2 MPa). Logo, este critério de aceitação foi sempre atendido.

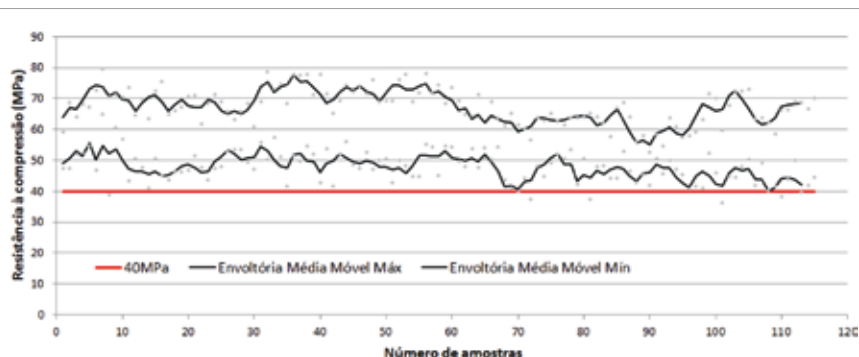
Ainda, de acordo com o ACI, para garantir a aceitação do concreto, deve-se efetuar outro tipo de análise. Na Fig. 4 está apresentada a envoltória da média móvel ao longo de todo o período de produção [valores máximos e mínimos de quaisquer 3 (três) resultados consecutivos]. Nota-se que em nenhum caso a média móvel foi inferior à resistência

característica definida em projeto (40 MPa). O menor valor registrado foi de 40,1 MPa. Sendo assim, seja qual for a combinação de resultados considerada, esse critério de aceitação também foi sempre atendido.

Portanto, considerando o cenário mais desfavorável possível, se o controle tecnológico do concreto fosse realizado à luz do ACI 318 não existiriam não conformidades uma vez que ambos os critérios (valores individuais e média móvel) sempre foram atendidos simultaneamente. Essa constatação difere da ABNT NBR 12655 que encontrou 11 não conformidades!

3.5 Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e EN

Assim como a norma americana, a



► **Figura 4**
Envoltória da média móvel de 3 valores consecutivos ao longo do período de produção

metodologia europeia EN 206 estabelece 2 (dois) critérios para análise da conformidade da resistência à compressão do concreto: critério para resultados individuais e critério para resultados médios.

No caso da análise por meio do critério individual, cada resultado deve satisfazer a seguinte condição: todo e qualquer valor individual deve ser $\geq f_{ck} - 4 \text{ MPa}$.

Quanto ao critério para resistências médias, a norma em questão permite que a resistência à compressão seja avaliada por um dos seguintes métodos:

- ▶ método A ou controle da produção inicial. Neste caso, a resistência média de 3 (três) resultados consecutivos deve ser $\geq f_{ck} + 4 \text{ MPa}$, sendo que os critérios de conformidade foram desenvolvidos com base em resultados de ensaio não sobrepostos. Logo, a aplicação de critérios de sobreposição de resultados (média móvel de resultados consecutivos) aumenta o risco de rejeição;
- ▶ método B ou controle de produção contínua. Trata-se de uma opção quando os critérios de produção contínua são estabelecidos, ou seja, quando pelo menos 35 (trinta e cinco) resultados de ensaios es-

tão disponíveis em um período de 3 (três) meses. De acordo com este método, a média de 15 (quinze) ou mais resultados consecutivos [disponibilizados em um período não superior a 3 (três) meses deve ser $\geq f_{ck} + 1,48 \cdot \sigma$ (adotando-se como σ o desvio padrão determinado no final do controle de início de produção).

A EN 206 ainda permite que a conformidade da resistência à compressão do concreto seja avaliada pelo emprego de gráficos de controle (método C), desde que as condições de produção contínua estejam estabelecidas e que esta seja certificada por terceiros, o que não é o caso desse estudo.

Quanto à formação dos lotes, quando a produção contínua é realizada em centrais de concretos com certificação de controle de produção, as amostras devem ser retiradas a cada 200 m³ (ou uma a cada 3 dias de produção). Se a produção de concreto não possuir certificação de controle de produção (caso em questão), as amostras devem ser retiradas a cada 150 m³ (ou uma por dia de produção). Importante: nos primeiros 50 m³ de produção devem ser retiradas 3 (três) amostras, no mínimo.

É válido registrar que esta norma permite como resultado de um exemplar o valor obtido de um único corpo de prova ou, no caso de mais rupturas, o resultado é definido como o valor médio. Os resultados individuais que se afastarem mais de 15% do valor da média devem ser desconsiderados.

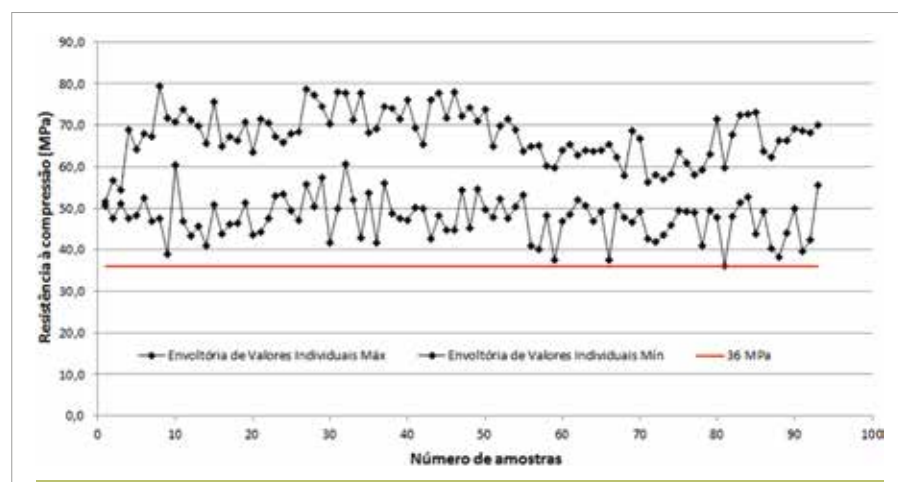
Sendo assim, analogamente ao caso discutido anteriormente (ACI), uma vez que foram moldados corpos de prova para todos os caminhões betoneira (população), no caso da EN também foi possível efetuar uma análise considerando inúmeras combinações de resultados.

De acordo com o critério mínimo de amostragem proposto pela EN de 3 (três) exemplares nos primeiros 50 m³ de produção e, posteriormente, 1 (um) exemplar a cada 150 m³ de concreto (ou seja, uma moldagem de corpos de prova a cada 18 caminhões betoneira de 8 m³), obteve-se a envoltória de valores individuais apresentada na Fig. 5.

Nota-se que, durante o período de produção, o critério de valores individuais preconizado no subitem 8.2.1.3.1 “Criteria for individual results” da EN 206:2013 foi atendido em todos os casos. Novamente, vale lembrar que o menor valor de resistência à compressão obtido nesse período foi de 36,2 MPa, considerando a média dentre 2 (dois) corpos de prova irmãos.

Quanto a análise dos resultados médios, de forma a contemplar todas as possibilidades, considerou-se a envoltória dos valores médios de 3 (três) resultados consecutivos não sobrepostos, conforme evidenciado na Fig. 6.

Assim como no caso da curva dos valores individuais, a curva de valores médios obtida durante todo o período de produção sempre atendeu às exigências estabelecidas no subitem



▶ **Figura 5**
Envoltória de resistência à compressão dos valores individuais

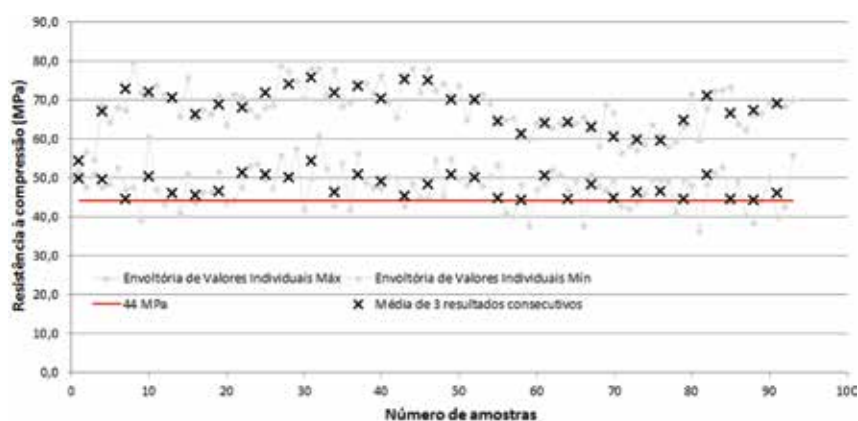
8.2.1.3.2 “Criteria for mean results” da EN 206:2013. Neste caso, o menor valor obtido, para a situação mais desfavorável, com probabilidade de ocorrência de 10-8, foi de 44,1MPa.

4. CONCLUSÕES

O controle de resistência à compressão do concreto preconizado pela normalização brasileira é muito rigoroso e o mais seguro. A amostragem total a 100% (população), os resultados são analisados individualmente, sem tolerâncias, ou seja, todo e qualquer valor de resistência que esteja inferior à especificação de projeto será considerado não conforme, por menor que seja a diferença. Entretanto, apesar de muito seguro, trata-se de um controle oneroso, pois envolve a moldagem, manuseio, transporte, cura, retificação e ruptura de muitos corpos de prova do concreto de todos os caminhões betoneira recebidos em obra (controle por amostragem total).

Neste caso para esta obra o controle via ABNT NBR 12655 implicou na moldagem e ruptura de cerca de 3.200 corpos de prova (96 cps por mês). Segundo o ACI 318 bastaria moldar e romper 228 cps (7 cps por mês) e segundo EN-206, bastaria 88 cps (nem 3 cps por mês).

Nota-se que a metodologia de controle prescrita pelo ACI 318 e EN 206 é muito mais branda, quando comparada



► **Figura 6**

Envoltória da média de 3 (três) valores consecutivos não sobrepostos ao longo do período de produção

aos critérios da norma brasileira. Nessas normas, o controle sempre é realizado por amostragem parcial leve, são estabelecidas tolerâncias para os valores individuais de resistência à compressão e, além disso, também se aplica o conceito da média de resultados consecutivos como critério de aceitação.

Na opinião dos autores deste artigo os critérios de aceitação e conformidade preconizados pela ABNT NBR 12655 são muito rigorosos e caberia flexibilizar o valor de resultados individuais dentro de uma margem de até $0,9 \cdot f_{ck}$. Por outro lado, o critério de amostragem adotado no Brasil se coloca a favor da segurança e na opinião destes autores, apesar de oneroso, deve ser mantido como está, ou seja, amostragem a 100%.

Neste estudo de caso, os resultados obtidos por meio do controle tecnológico prescrito pela ABNT NBR 12655 apontaram para um índice de não conformidade

de 11 vezes em aproximadamente 1.600 caminhões betoneira (0,7%). Essa não conformidade “insignificante” gerou consultas ao projetista, desgastes entre os intervenientes e revisões de projeto absolutamente desnecessárias. Em contrapartida, os mesmos resultados, quando analisados à luz das metodologias prescritas pelo ACI 318 e EN 206, indicaram um índice de não conformidade nulo ou zero, como de fato deveria ser.

Adotar a flexibilização, aceitando alguns poucos valores individuais de até $0,9 \cdot f_{ck}$ como conformes, certamente impactaria de maneira positiva no processo de produção, minimizando possíveis custos, retrabalhos, revisões de projeto, atrasos em cronogramas de obra e desgastes desnecessários entre os intervenientes da cadeia produtiva do concreto, sem comprometimento da segurança, durabilidade e qualidade final das estruturas de concreto. 

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT NBR 12655 (2015), Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [2] ABNT NBR 6118 (2014), Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [3] ACI 214R-11 (2011), Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete, American Concrete Institute.
- [4] ACI 318-14 (2014), Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute.
- [5] ASTM 39-16b (2016), Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International.
- [6] EN 206 (2013), Concrete – Specification, performance, production and conformity, European Committee for Standardization.
- [7] Pacheco J. & Helene P. (2013), Controle da resistência do concreto - 1ª Parte, Revista Concreto e Construções n. 69, pp 75 - 81.
- [8] Pacheco J. & Helene P. (2013), Controle da resistência do concreto - 2ª Parte, Revista Concreto e Construções n. 70, pp 90 - 98.
- [9] Tutikian B. & Helene P. (2011), Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: Geraldo C. Isaia (Org). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: Ibracon, v. 1, pp 415 - 451.