

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

Autores:

Ricardo Boni

PhD Engenharia

Carlos Britez

Programa de Educação Continuada PECE da POLI USP, PhD Engenharia

Paulo Helene

Professor Titular da Escola Politécnica da USP, PhD Engenharia

Setembro 2017

1

Ficha Técnica do Empreendimento

Obra: Parque da Cidade;

Local: Av. Nações Unidas, Morumbi, São Paulo - SP;

Arquitetura: Escritório Aflalo & Gasperini;

Empreendimento composto por 4 Glebas:

Gleba A: 1 torre corporativa, 1 hotel e 1 shopping center;

Gleba B: 3 torres corporativas;

Gleba C: 1 torre corporativa e 1 torre office;

Gleba D: 2 torres residenciais.

2

Ficha Técnica do Empreendimento

Construção:

Construtora OR - Odebrecht Realizações Imobiliárias;

Glebas construídas até o momento:

Gleba A:

Projeto Estrutural elaborado pelo Escritório Pasqua & Graziano Associados e Consultoria;

Gleba C:

Projeto Estrutural elaborado pelo Escritório França & Associados;

5



6



7

Central Dosadora de Concreto

- ✓ **Central Dosadora Estacionária localizada em Canteiro de Obras;**
- ✓ **Produziu concreto única e exclusivamente para o empreendimento em questão;**
- ✓ **Sistema de Carregamento Automatizado;**
- ✓ **Provida de 1 Ponto de Carga coberto;**
- ✓ **Capacidade de Produção de 70m³/hora;**
- ✓ **Baias de Agregados cobertas;**
- ✓ **Balanças e Hidrômetros aferidos mensalmente;**
- ✓ **Disponibilidade de 6 caminhões betoneira;**

8



9

Traço de Concreto

- ✓ Definido após realização de um extenso estudo de dosagem racional e experimental;
- ✓ $f_{ck} \geq 40\text{MPa}$;
- ✓ Concreto autoadensável: classe de espalhamento *SF2*;
- ✓ Execução de evento de concretagem protótipo.

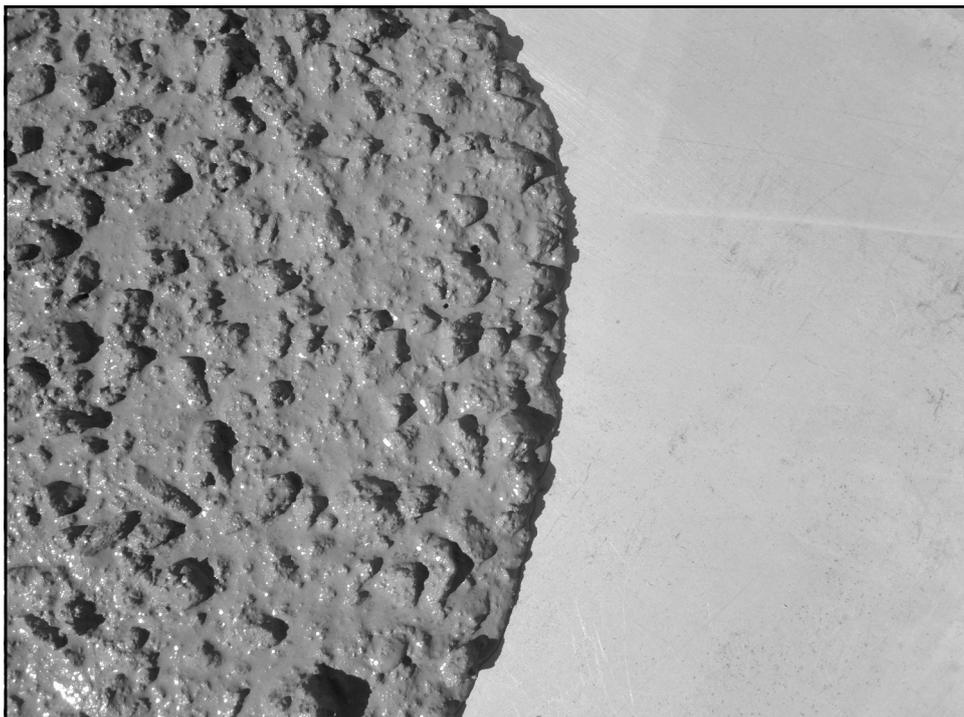
Tabela: Traço de concreto em massa, materiais secos, para 1m^3 de concreto

Insumos do traço do concreto	f_{ck} 40MPa
cimento (CP III-40-RS)	380kg
silica 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

10



11



12

Plano de Controle Tecnológico

- ✓ **Controle de resistência à compressão aos 28 dias de idade por amostragem total de acordo com a norma ABNT NBR 12655:2015 “Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento ”;**
- ✓ **Realizado durante 2 anos e 9 meses por laboratório acreditado pelo INMETRO pertencente à rede Brasileira de laboratório de Ensaio (RBLE);**
- ✓ **Laboratoristas qualificados e certificados pelo IBRACON através do Núcleo de Qualificação e Certificação de Pessoal.**

13

ABNT 12655:2015 “Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento”

Os limites máximos para formação dos lotes

Tabela 7 – Valores máximos para a formação de lotes de concreto ^a

Identificação (o mais exigente para cada caso)	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples ^b
Volume de concreto	50 m ³	100 m ³
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	três dias de concretagem ^c	

^a No caso de controle por amostragem total, cada betonada deve ser considerada um lote, conforme 6.2.3.1

^b No caso de complemento de pilar, o concreto faz parte do volume do lote de lajes e vigas

^c Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.

14

ABNT 12655

Controle do concreto por amostragem total

6.2.3.1 Controle do concreto por amostragem total (100 %)

Consiste na amostragem 100 %, ou seja, todas as betonadas são amostradas e representadas por um exemplar que define a resistência à compressão daquele concreto naquela betonada. Neste caso, o valor da resistência característica à compressão do concreto estimada ($f_{ck,est}$) é dado por:

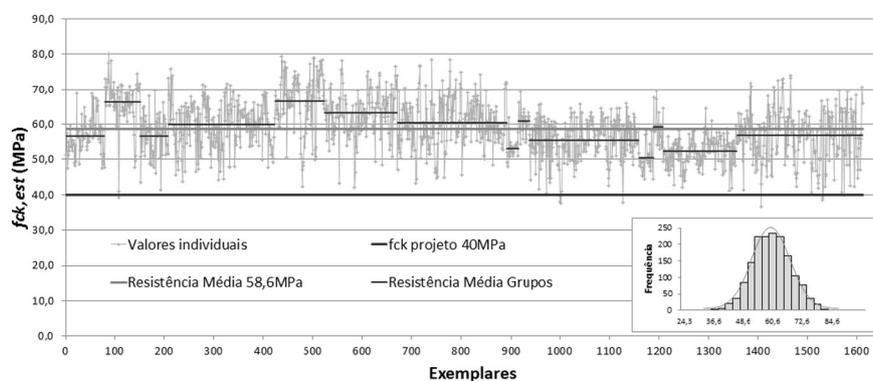
$$f_{ck,est} = f_{c,betonada}$$

onde

$f_{c,betonada}$ é o valor da resistência à compressão do exemplar que representa o concreto da betonada.

15

Controle tecnológico realizado em obra à luz da ABNT 12655



- ✓ Total de 1.611 resultados de resistência à compressão aos 28 dias de idade;
- ✓ 11 resultados não conformes (abaixo de 40MPa), ou seja, 0,7%;
- ✓ Média = 58,6MPa; Desvio Padrão = 6,6MPa, Coef. De Variação = 11,2%;

16

Influência das operações de Ensaio e Controle: ACI 214

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

$$Se = \frac{\sum_{i=1}^n Ai}{n \cdot d2} \quad [\text{MPa}]$$

Onde:

- Se:** desvio padrão das operações de ensaio e controle (MPa);
- A:** diferença entre o maior e o menor resultado de corpos de prova que representam um mesmo exemplar (MPa);
- n:** número de exemplares considerados compostos de p corpos de prova (adimensional);
- d2:** coeficiente para cálculo do desvio padrão que depende do número p de corpos de prova representativos de um mesmo exemplar, conforme tabela adiante (adimensional).

17

Influência das operações de Ensaio e Controle: ACI 214

Tabela - Coeficiente para o cálculo do desvio padrão (**d2**)

p	d2
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534
7	2,704
8	2,847
9	2,970
10	3,078

18

Influência das operações de Ensaio e Controle: ACI 214

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

$$V_e = \frac{S_e}{f_{cmj}} \cdot 100$$

Onde:

- V_e :** coeficiente de variação devido às operações de ensaio e controle (%);
- S_e :** desvio padrão das operações de ensaio e controle (MPa);
- f_{cmj} :** média de todos os resultados utilizados, a j dias de idade (MPa).

19

Influência das operações de Ensaio e Controle: ACI 214

Padrão de Controle em Canteiro de Obras

Excelente	Muito Bom	Bom	Razoável	Deficiente
< 3,0%	3,0 a 4,0%	4,0 a 5,0%	5,0 a 6,0%	> 6,0%

Resultados:

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 0,6MPa a 1,0MPa;
- ✓ coeficiente de variação devido as operações de ensaio e controle V_e entre 1,1% a 1,6%.

Sendo assim, os resultados apontaram para um padrão de controle em canteiro de obras excelente.

20

ACI 318-14 “*Building Code Requirements for Structural Concrete*”

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

21

ACI 318

O valor da resistência à compressão de cada um dos exemplares é determinado pela média aritmética simples dos resultados obtidos;

Caso os valores individuais dos corpos de prova irmãos difiram de mais de 8%, os resultados são considerados inadequados, conforme ASTM C39-16b “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*”;

O ACI 318, assim como a ABNT NBR 12655 e a norma europeia EN-206:2013 também considera que de cada betonada moldada é obtido apenas 1(um) valor de resistência à compressão.

22

ACI 318

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}).

23

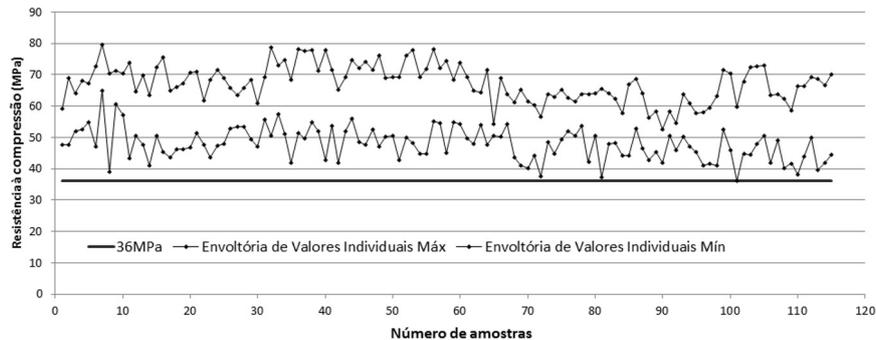
Análise comparativa entre os métodos de controle propostos pela ABNT e ACI

Considerando o critério mínimo de amostragem proposto pelo ACI de um exemplar a cada 115m^3 de concreto (ou seja, uma moldagem de corpos de prova a cada 14 caminhões betoneira de 8m^3) foram determinadas as envoltórias dos valores individuais e da média móvel de 3(três) resultados consecutivos.

24

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

Envoltória dos Valores Individuais de Resistência à Compressão

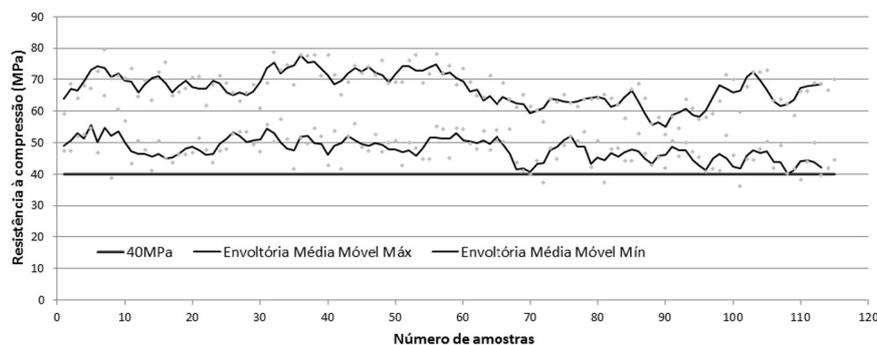


Critério de aceitação: $\geq 0,9 \cdot f_{ck} = 36\text{MPa}$

25

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

Envoltória da média móvel de 3 resultados consecutivos



Critério de aceitação: $\geq f_{ck} = 40\text{MPa}$

26

Conclusões

- ✓ O controle tecnológico de resistência à compressão do concreto por amostragem total preconizado pela ABNT 12655 é muito rigoroso, seguro e oneroso;
- ✓ A metodologia de controle prescrita pelo ACI 318 é mais branda, quando comparada aos critérios da norma brasileira.
- ✓ Na norma americana o controle não é realizado por amostragem total, são estabelecidas tolerâncias para os valores individuais de resistência à compressão;
- ✓ Além disso, na norma americana também se aplica o conceito de média móvel de resultados consecutivos como critério de aceitação;

27

Conclusões

- ✓ Os critérios de aceitação e conformidade preconizados pela ABNT NBR 12655 são exigentes 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, apesar de oneroso, deve ser mantido como está;
- ✓ Adotar a flexibilização e aceitar alguns 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.

28

OBRIGADO!