

# Avaliação da **qualidade** do **concreto** **usinado** produzido no **Distrito Federal**

JORDANNA S. VERAS – ENG.<sup>a</sup> CIVIL – jordanasaboia@gmail.com; VITOR M. S. NUNES – ENG. CIVIL;  
VALDIRENE M. S. CAPUZZO – PROF.<sup>a</sup> – UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, UNB

## R E S U M O

**Por meio** do Projeto Indicadores do Concreto, concebido pelo Sinduscon-DF, verificou-se que diversos concretos usinados produzidos no Distrito Federal não atendiam às especificações de projeto. Com o objetivo de se quantificar tal inconformidade, foi realizada a avaliação da qualidade do concreto usinado produzido na região. Durante o estudo foi elaborado um banco de dados com 1.106 resultados englobando as consistências S100, S160 e S220 e a resistência à

compressão para as classes C30 e C40. Todos os ensaios de resistência à compressão foram realizados pelo SENAI e englobam idades diversas. Os resultados foram utilizados para calcular a mediana, a média, o desvio-padrão e a distribuição normal das resistências dos concretos. Dessa forma, foi possível apresentar um panorama da qualidade do concreto usinado produzido no Distrito Federal, de modo a produzir um retorno para a sociedade e para o setor da construção civil.

**PALAVRAS-CHAVE:** QUALIDADE DO CONCRETO, CONTROLE TECNOLÓGICO, ANÁLISES ESTATÍSTICAS, CONSISTÊNCIA, RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso do concreto usinado auxilia no enfrentamento de dificuldades da construção civil, tais como: escassez de mão de obra especializada e falta de espaço para armazenamento de materiais no canteiro (ISAIA, 2011). Na contratação desse material, a concreteira é responsável por entregar o concreto com as características especificadas em contrato, enquanto a contratante deve realizar o controle tecnológico do material.

O controle tecnológico é caracterizado pela verificação de, ao menos, duas propriedades fundamentais do material, sendo elas a consistência e a resistência à compressão, conforme especificado na NBR 12655 (ABNT, 2022). A primeira delas é medida de forma indireta por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, regido pela NBR 16889 (ABNT, 2020). O segundo indicador a ser verificado é a resistência à compressão, obtido por meio de ensaio realizado de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018).

Do ponto de vista estatístico, o controle pode ser feito por amostragem parcial ou total. No primeiro caso, não se tem a identificação exata

da peça estrutural que recebeu o concreto e apenas algumas betonadas são testadas para resistência à compressão. Já, no segundo caso, todas as betonadas possuem corpo de prova para a comprovação da sua resistência, sendo esse método mais utilizado por promover uma maior rastreabilidade do material.

Os resultados obtidos dos ensaios de resistência à compressão são importantes para as construtoras e concreteiras. Para a primeira, a aceitação do concreto está condicionada ao atendimento da resistência característica de projeto. Já, para a segunda, os resultados podem ser submetidos a análises estatísticas, onde é possível analisar o controle de qualidade, verificando seu desempenho produtivo, indicado principalmente pelo desvio-padrão (ISAIA, 2011).

Devido à complexidade e importância do concreto usinado no Distrito Federal, torna-se necessária a realização de um estudo para se avaliar a qualidade do material produzido na região, empregando análise estatística. Utiliza-se, para isso, indicadores de controle tecnológico, o que pode contribuir com as construtoras para maior aceitação do concreto, com as concre-

teiras para melhorias no processo produtivo e com o mercado da construção civil de forma geral.

## 2. METODOLOGIA

Foram realizados estudos de indicadores estatísticos para concretos usinados de classe de resistência C30 e C40 produzidos no Distrito Federal por meio da construção de um banco de dados a partir de uma parceria entre os autores, o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Distrito Federal (Sinduscon-DF) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Os dados coletados foram submetidos a análises estatísticas, definidas de acordo com a quantidade de resultados obtidos.

### 2.1 Banco de dados

O banco de dados foi constituído por ensaios de resistência à compressão realizados pelo SENAI e de consistência, realizados em campo, onde foram utilizados concretos usinados de classes de resistência característica C30 e C40 e de consistência de classe S100, S160 e S220. É importante salientar que todos os dados coletados foram

## ► Tabela 1

Níveis de controle com base no desvio-padrão

Classe de operação	Variação geral				
	Desvio-padrão para diferentes níveis de controle (MPa)				
	Excelente	Muito bom	Bom	Baixo	Muito baixo
Testes gerais de construção	Abaixo de 2,8	2,8 a 3,4	3,4 a 4,1	4,1 a 4,8	Acima de 4,8
Testes em laboratório	Abaixo de 1,4	1,4 a 1,7	1,7 a 2,1	2,1 a 2,4	Acima de 2,4

Fonte: ACI 214 R (2002), adaptado

obtidos com autorização das empresas responsáveis pela aplicação do concreto em obra.

### 2.2 Análises estatísticas

Com os resultados dos ensaios compilados em planilhas eletrônicas, realizou-se o tratamento de dados com dois pilares estatísticos principais: a estatística descritiva, caracterizada pelo resumo e descrição de uma grande massa de dados em informações de interesse; e a inferência estatística, caracterizada pela extrapolação de uma certa quantidade limitada de dados obtidos. Com a organização inicial dos dados, foi realizada a eliminação de dados espúrios (outliers), que são aqueles que diferem drasticamente dos dados em análise. Após a retirada desses elementos, prosseguiu-se com as análises envolvendo parâmetros de posição, utilizando a média e a mediana, e parâmetros de dispersão, com enfoque para o des-

vio-padrão. Esse indicador também foi utilizado para estabelecer os níveis de qualidade do controle de produção do concreto, sendo utilizado para isso o ACI 214 R [H2](2002), conforme apresentado na Tabela 1.

Com os resultados das resistências do concreto, foi obtida a curva de distribuição normal dos concretos de classe C30 para a resistência de  $28 \pm 3$  dias, o que possibilitou calcular a probabilidade de ocorrência de um valor inferior ao solicitado em projeto. Dessa forma, foi possível verificar se os concretos de classe C30 fornecidos pelas concreteiras estudadas e empregados no Distrito Federal atendem à resistência à compressão solicitada em projeto.

### 2.3 Controle e aceitação do concreto

O controle e a aceitação do concreto foram baseados nos ensaios de consistência e de resistência à compressão. A consistência é avaliada seguindo

a NBR 16889 (ABNT, 2020), tendo como referencial o valor do abatimento e da tolerância requeridos pelas construtoras. Assim, cada caminhão betoneira foi classificado em conforme, caso o seu abatimento se encontre dentro do intervalo.

Para a resistência à compressão, o valor obtido no ensaio do exemplar em análise é a própria resistência característica estimada da betonada, uma vez que, em todas as concreteiras da pesquisa, o controle tecnológico foi realizado por amostragem total. Classificou-se cada betonada como aprovada, caso a resistência à compressão do exemplar fosse igual ou maior que a resistência à compressão de projeto. Assim, calculou-se o percentual de aprovação.

## 3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 3.1 Banco de dados

Foram coletados 1.106 dados relativos aos ensaios de compressão e consistência de três obras diferentes localizadas no Distrito Federal, referentes a três concreteiras distintas. Cada concreteira recebeu uma codificação (A, B e C) para que as análises fossem direcionadas ao concreto usinado da região de forma geral, evitando qualquer exposição das empresas. A Tabela 2 indica o número de dados coletados por empresa participante.

Os dados coletados contemplam concretagens ocorridas entre setembro de 2021 e março de 2022. Assim, 10,7% das concretagens ocorreram no período de estiagem em Brasília, no mês de setembro, enquanto 89,3% ocorreram entre outubro de 2021 e março de 2022. A distribuição dos dados ao longo do tempo de análise está apresentada na Figura 1.

O ano de 2021 contempla 45,6% dos dados, com uma forte concentração

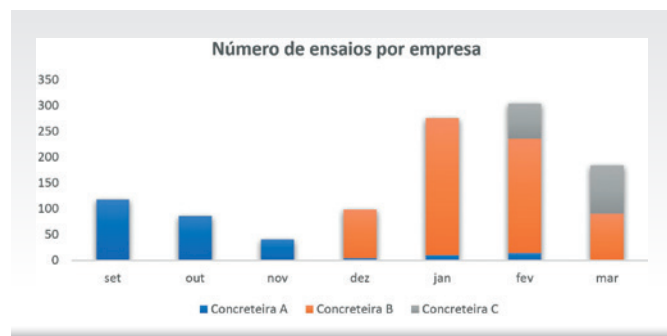
## ► Tabela 2

Quantidade de dados

Código concreteira	Nº dados
Concreteira A	272
Concreteira B	672
Concreteira C	162
<b>Total</b>	<b>1.106</b>

## ► Figura 1

Distribuição de ensaios por concreteira



de dados da concreteira A, já os três primeiros meses de 2022 contemplam 54,4% dos dados, com uma concentração de dados da empresa B em janeiro e um maior equilíbrio nos meses subsequentes.

Observou-se que as construtoras analisadas optam por rompimentos nas idades de 7 e 28 dias. As duas idades representam 77,6% dos resultados, sendo 38,7% para 7 dias e 38,9% para 28 dias. Os demais resultados, 22,4%, contemplam rompimentos variados entre 3 e 41 dias de idade.

De forma geral, as três obras acompanhadas estavam em etapas similares de desenvolvimento, realizando a concretagem de elementos de fundação. Para esses elementos estruturais, a maioria das concretagens foram para concretos de classe C30, representando 92,5% dos dados coletados. A segunda classe de resistência mais utilizada foi a C40, com 4,5% do total, sendo fornecido apenas pela concreteira A. O concreto menos solicitado foi o de classe C25, representando apenas 2,7% do total, fornecido apenas pela concreteira B, o qual não será utilizado nas análises seguintes por não possuir dados comparativos suficientes e nem valores de resistência acima de 7 dias, até o momento do final da coleta de dados.

Já, no que se refere ao indicador de consistência do concreto em estado fresco, os dados são apresentados na Tabela 3, de acordo com o intervalo da classe de consistência em que o material foi solicitado.

**Tabela 3**  
Dados por consistência solicitada

Classe de consistência	Abatimento solicitado	Nº dados
S100	140	30
S160	160	56
	190	36
S220	220	238
	240	734
Não informado		12
<b>Total geral</b>		<b>1.106</b>

**Tabela 4**  
Média, mediana e desvio-padrão

Agrupamento analisado	Idade dos CPs	Média (MPa)	Mediana (MPa)	Desvio-padrão (MPa)
Classe C30	28 dias	33,6	33,9	3,8
Classe C40	28 dias	38,1	38,3	4,8
C30 – Concreteira A	28 dias	34,1	33,9	3,6
C30 – Concreteira B	28 dias	33,2	32,9	3,8
C30 – Concreteira C	28 dias	39,1	39,6	6,4
Abatimento S160 e Classe C30	28 dias	35,7	34,6	5,1
Abatimento S220 e Classe C30	28 dias	33,5	33,1	3,8
Classe C30	Todas	30,6	30,5	4,8
Classe C40	Todas	33,9	33,4	5,2
C30 – Concreteira A	Todas	31,9	31,8	4,3
C30 – Concreteira B	Todas	30,5	30,4	4,6
C30 – Concreteira C	Todas	28,5	27,7	5,9

Os dados se concentraram na classe de consistência S220, representando 87,8% dos casos. A classe S160 representa 8,3% dos casos analisados, enquanto a classe S100 representa 2,7%. A procura por abatimentos mais elevados advem da etapa construtiva, contemplando a concretagem de elementos de fundação, como a estaca hélice contínua, que demanda uma rapidez maior de preenchimento do espaço pelo concreto usinado.

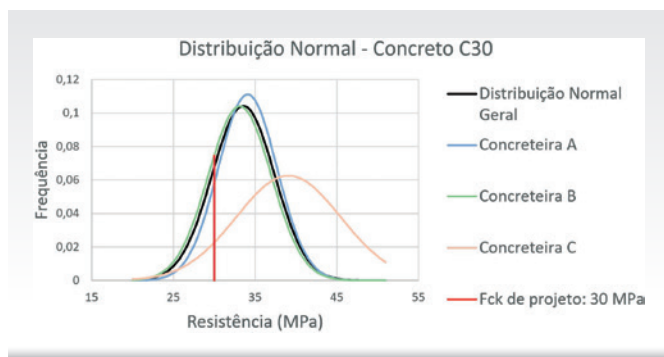
### 3.2 Análises estatísticas

A interpretação dos dados a partir dos indicadores de posição central, como média e mediana, auxiliam a entender o comportamento dos dados em comparação com a resistência à compressão de projeto, ou seja, se os dados estão próximos de um cenário de aceitação ou rejeição. Porém, além desses indicadores, faz-se necessário compreender também os indicadores de dispersão – esses são úteis para que se identifique o afastamento em relação à posição central (essa medida estabelece referência para as concreteiras usarem no processo de dosagem racional do material). A média, mediana e desvio-padrão calculados para cada análise realizada estão apresentados na Tabela 4.

Identifica-se uma diferença de 25,6% entre o desvio padrão calculado para os dados relativos à classe de resistência C40 em relação àqueles com classe C30. Ao se comparar a Tabela 4 com os níveis de controle apresentados pelo ACI 214 R (2002), Tabela 1, é possível verificar que o concreto C30 do Distrito Federal está classificado com um bom controle, uma vez que possui desvio-padrão entre 3,4 MPa e 4,1 MPa, assim como o material fornecido pelas concreteiras A e B. Entretanto, a concreteira C apresenta um controle muito baixo de produção, uma vez que possui desvio-padrão superior a 4,8 MPa.

Constata-se que a empresa A é aquela que possui o menor desvio-padrão, o que indica ter o melhor domínio sobre o processo produtivo. A produção de concreto com desvios grandes gera um maior impacto econômico nas concreteiras, pois, possuindo menor controle das variáveis que impactam na resistência final do material, acaba gastando mais para estarem em conformidade com o solicitado em projeto e com as normas vigentes.

Em relação ao concreto C40, esse foi classificado com baixo controle de produção, por estar com desvio entre 4,1 e 4,8 MPa. Com os dados analisados, constata-se um maior desvio padrão dos dados relativos a uma classe



► **Figura 2**  
Curva de Gauss para concreto C30

de resistência maior. Contudo, não é possível afirmar que essa correspondência é sempre verdadeira, pois apenas a concreteira A apresentou dados para essa classe de resistência e, ainda assim, em quantidades significativamente inferiores à classe C30, o que pode culminar em uma maior sensibilidade estatística dos dados.

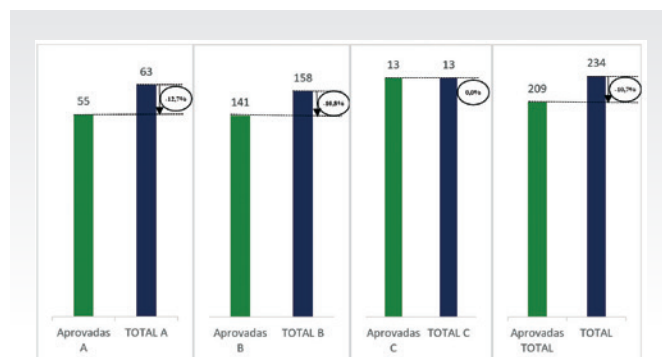
Sabe-se que a resistência do concreto é dada por uma distribuição normal, onde é possível verificar a frequência de um resultado e calcular a probabilidade de obtenção deste. Assim, será realizada a análise das curvas normais para os concretos C30, para as idades de  $28 \pm 3$  dias, apresentada na Figura 2.

A quantidade de dados obtidos é primordial para a avaliação das curvas apresentadas na Figura 2. Como foram obtidos mais dados para as empresas A e B, 113 e 307, respectivamente, essas tiveram maior influência sobre a curva de distribuição geral. Já, a empresa C obteve apenas 26 dados, portanto, tendo menor influência na forma da curva. Também é necessário destacar que a curva de Gauss é mais precisa à medida que se tem mais amostras, sendo considerada uma amostragem grande quando se obtêm mais de 35 dados. Dessa forma, a curva da Concreteira C pode sofrer modificações ao decorrer da obra, quando serão obtidos mais dados, tornando-a mais precisa.

Também é possível verificar que as Concreteiras A e B possuíam menor desvio-padrão, porém, como

possuem menor média, suas curvas estão deslocadas para a esquerda, mais próximas do valor limite de 30 MPa. Enquanto a Concreteira C apresentou maior variação dos resultados, porém com média superior, afastando-se da resistência de 30 MPa.

Por meio da curva de distribuição normal padrão foi possível calcular a probabilidade de ocorrência de valores inferiores à resistência característica. Para a curva geral do DF, há 17,62% de chance de se obter resistências inferiores à resistência característica de projeto. Considerando a distribuição de cada concreteira, a empresa B apresentou a maior probabilidade de ocorrência de valores inferiores, sendo igual a 20,61%. Enquanto a concreteira C apresentou menor probabilidade de ocorrência, igual a 7,64%. A expectativa de obtenção de valores inferiores na concreteira A é de 12,71%. Com essa análise foi possível verificar que nenhuma empresa conseguiu atender à resistência característica de 30 MPa solicitada em projeto, uma vez que todas possuem probabilidade acima de 5% de não atingirem o valor.



► **Figura 3**  
Aprovação dos concretos

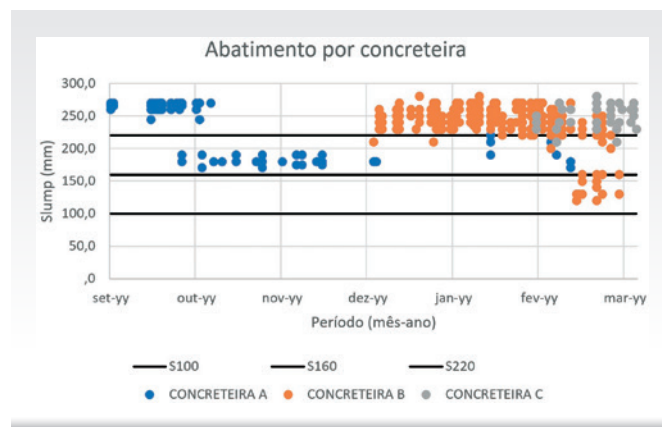
Como o concreto C40 possuía apenas 16 resultados para a idade de  $28 \pm 3$  dias, não foi realizada a sua distribuição normal, pois essa seria obtida com uma quantidade pequena de dados, tornando-a imprecisa.

### 3.3 Controle e aceitação do concreto

#### 3.3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A Figura 3 apresenta os resultados do número de séries totais e aprovadas entre as três concreteiras em análise, bem como a porcentagem não aprovada em cada empresa.

Dentre todas as 63 séries componentes da concreteira A, 87,3% delas foram aprovadas, ou seja, o



► **Figura 4**  
Abatimentos por concreteira



► **Figura 5**  
Número de caminhões aprovados no indicador de consistência por concreteira

exemplaratingiuvalorigualoumaiorà resistência característica à compressão do concreto solicitada. Já, na concreteira B, das 158 séries componentes, 89,2% foram aprovadas. Por fim, na concreteira C, das 13 séries componentes, todas foram aprovadas, ainda que se deva levar em consideração neste caso a baixa quantidade de dados. No total do conjunto de dados, 89,3% das séries foram aprovadas.

A concreteira A é a única com dados para concretos C30 e C40. Para os dados relacionados à primeira classe de resistência, que constituem a maior parte do espaço amostral, identifica-se a aceitação de 51 séries dentre 53 existentes, resultando em um percentual de aceitação de 96,2%. Já, para os dados relacionados à segunda classe de resistência, identifica-se um percentual de aprovação de apenas 40,0%, com apenas 4 de 10 séries aprovadas.

Pode-se inferir, também, que o percentual total de aceitação das séries relacionadas a um  $f_{ck}$  de projeto de 30 MPa é de 91,5%. Valor próximo aos 89,3%, calculado para todas os dados de todas as concreteiras, tendo em vista que a maior parte deles está vinculado a este  $f_{ck}$  de 30MPa.

### 3.3.2 CONSISTÊNCIA

Os dados de consistência coletados de todas as três empresas foram plotados na Figura 4, que indica também os valores de referência de cada uma das classes de consistência, sendo elas S100, S160 e S220, ao longo do período de coleta de dados compreendido entre setembro de 2021 e março de 2022.

Os ensaios de consistência foram realizados antes da moldagem dos corpos de prova. O ensaio de abatimento é de simples realização e apresenta uma conformidade em relação ao abatimento solicitado em projeto muito maior do que a conformidade do indicador de resistência à compressão, como apresentado na Figura 5. Cabe destacar, também, que a consistência é medida por caminhão betoneira.

Constatou-se que 98,5% dos caminhões da concreteira A apresentaram conformidade de consistência em comparação com o valor solicitado, 96,2% dos caminhões da concreteira B apresentaram conformidade e 98,6% dos caminhões da concreteira C adquiriram a consistência desejada. No total, 97,4% dos caminhões apresentaram consistência no intervalo solicitado pelas construtoras.

## 4. CONCLUSÕES

O concreto C30 produzido no Distrito Federal apresenta desvio-padrão igual a 3,8 MPa, sendo classificado pelo ACI 214 R (2002) como sendo um bom controle de produção. As empresas A e B também foram classificadas com bom controle, sendo apenas a empresa C classificada como controle muito baixo. Contudo, recomenda-se para todas as empresas o aprimoramento no controle de produção, a fim de se diminuir o valor da resistência média de dosagem, possibilitando uma maior economia.

Como consequência da qualidade do concreto produzido, tem-se uma rejeição de 10,7% dos concretos C30 utilizados no Distrito Federal, sendo necessário que as concreteiras melhorem o seu processo produtivo, a fim de se diminuir a rejeição no controle de aceitação do concreto.

Ao se analisar os concretos C40, esses valores tornam-se críticos, uma vez que se obteve a aceitação de apenas 40% do concreto lançado com essa classe de resistência. Essa classe também foi classificada como possuindo um baixo controle de produção, utilizando a classificação do ACI 214 R (2002).

No que se refere à consistência, as obras analisadas trabalharam com patamares mais elevados deste indicador, o que se justifica pelo fato de que os dados estão ligados a elementos de fundações. Em relação a esse controle tecnológico, as concreteiras alcançaram conformidade quase integral dos dados.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Sinduscon-DF, ao Projeto Indicadores do Concreto e ao SENAI pelo auxílio durante a realização da pesquisa.

## ► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- [2] ABNT. NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2022.
- [3] ABNT. NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.
- [4] ACI. 214 R-02: Evaluation of Strength Test Results of Concrete. Detroit, 2002.
- [5] ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1ª edição ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1.