

Influência do tipo de concreto, da dimensão do corpo de prova e do tipo de laboratório na determinação da resistência à compressão do concreto

Influence of the type of concrete, cylindrical specimen size and the type of laboratory in determining the compressive strength of concrete

Suélio da Silva Araújo¹

Rua Maria Senhorinha de Jesus, Quadra 14-A, Lote 10, Setor Oriente Ville, CEP: 74.355-666, Goiânia – Goiás – Brasil

Gilson Natal Guimarães²

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Laboratório de Estruturas. Avenida Universitária, Praça Universitária, s/n, Setor Universitário, CEP 74.640-220, Goiânia – Goiás – Brasil

André Luiz Bortolacci Geyer³

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Laboratório de Materiais de Construção. Avenida Universitária, Praça Universitária, s/n, Setor Universitário, CEP 74.640-220, Goiânia – Goiás – Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa dos resultados obtidos para o ensaio da resistência à compressão do concreto, por meio de um programa interlaboratorial de ensaios desenvolvido em dois laboratórios de Goiânia, Goiás, Brasil, para identificar e avaliar a influência de alguns fatores intervenientes nos resultados do ensaio de resistência à compressão. Para isso, buscou-se verificar no resultado de resistência à compressão, a influência do tipo de concreto (Classe C30 e CAR - Concreto de Alta Resistência), da dimensão do corpo de prova cilíndrico (100 mm x 200 mm e 150 mm x 300 mm) e do tipo de laboratório. Concluiu-se que o tipo de concreto e o tipo de laboratório influenciaram significativamente os resultados de resistência à compressão. Além disso, ressalta-se que os corpos de prova de dimensão 100 mm x 200 mm do concreto Classe C30 e do CAR (Classe C60) apresentaram os resultados com as maiores dispersões.

¹ Professor Adjunto da Universidade Paulista – Campus Brasília – Distrito Federal – Brasil e Professor do Centro Universitário UNIEURO – Distrito Federal – Brasil (suelio.araujo@gmail.com).

² Professor Titular da Universidade Federal de Goiás, Brasil (rgilson.natal@gmail.com).

³ Professor Associado II da Universidade Federal de Goiás, Brasil (andre.geyer@hotmail.com).

ABSTRACT

This paper presents a comparative analysis of the results obtained for testing the compressive strength of concrete by means of an interlaboratory test program developed in two different laboratories in Goiânia, Goiás, Brasil, to identify and assess the influence of factors affecting the results of compressive strength test. For this, factors contributing to determine the compressive strength of concrete such as the influence of the concrete class (Class C30 and CAR - High Strength Concrete), the cylindrical specimen size (100 mm x 200 mm and 150 mm x 300 mm) and the type of laboratory. It was concluded that the type of concrete and type of lab influenced the compressive strength. Also, it was observed that the specimen sizes 100 mm x 200 mm of concrete Class C30 and of CAR (Class C60) presented the results with the highest dispersion.

Palavras-Chave: *Concreto; Dimensão Básica; Resistência à Compressão; Interlaboratorial; Dispersão.*

Keywords: *Concrete; Basic Dimension; Compressive Strength; Interlaboratory; Dispersion.*

1. INTRODUÇÃO

O avanço da ciência, tecnologia e inovação ocorrido nas últimas décadas aplicado aos materiais para o concreto (cimentos mais finos, aditivos químicos e adições minerais) acarretou uma evolução significativa nos concretos. Esta evolução pode ser verificada no expressivo aumento no valor da resistência à compressão nas primeiras idades com diminuição do consumo de cimento (PACHECO, 2006).

De acordo com Martins (2008), o aumento das resistências dos concretos, somado à evolução dos métodos de cálculo com o uso do computador, gerou mudanças nos padrões construtivos e arquitetônicos. Possibilitou-se a construção de edifícios mais altos, obras são executadas com maior agilidade, as estruturas tornaram-se mais esbeltas, houve a adoção de vãos maiores e o uso de seções transversais dos elementos estruturais cada vez menores, porém suportando as mesmas cargas que antes eram suportadas por elementos com maiores áreas de seção transversal. Esse desenvolvimento trouxe a redução da inércia e conseqüentemente o aumento das deformações (D'AVILA, 2006; MELO NETO & HELENE, 2002).

Em se tratando da região de Goiânia-Goiás, Brasil podem-se citar alguns pesquisadores que estudaram a propriedade da resistência à compressão. Dentre as pesquisas goianas destacam-se as de Andrade et al (1997), Farias et al (2004), Ferreira et al (2004), Batista (2005), Garcia (2005), Oliveira (2005), Lima (2005), Cupertino et al (2007a), Cupertino et al (2008), MARTINS (2008) e BORGES (2009). Podem-se citar alguns pesquisadores nacionais que estudaram a propriedade da resistência à compressão do concreto: Dal Molin (1995), Leite (2001), Farias et al (2004), Nunes (2005), Bilesky & Tango (2005), Pacheco (2006), Silva (2007), Viera et al (2008), Almeida et al (2010), Ishikawa (2010) e Pinheiro et al (2010).

A resistência de um material é sua habilidade para resistir à tensão sem se romper. Algumas vezes, a ruptura é identificada com o surgimento de fissuras. Porém, as averiguações microestruturais em concreto comum indicam que, diferentemente dos materiais estruturais, o concreto contém fissuras finas antes mesmo de ser submetido a tensões externas.

A resistência à compressão simples, denominada f_c , é a característica mecânica mais importante. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova para ensaio segundo a ABNT NBR 5738:2008 – Moldagem e Cura de Corpos de Prova Cilíndricos ou Prismáticos de Concreto, os quais são ensaiados segundo a ABNT NBR

5739:2007 – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. O corpo de prova padrão brasileiro é o cilíndrico, com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e a idade de referência para o ensaio é 28 dias.

A ABNT NBR 8953:2009 define as classes de resistência em função da resistência f_{ck} , concreto de Classe C30, por exemplo, corresponde a um concreto com resistência característica igual a 30 MPa.

O concreto de alta resistência só foi possível com a evolução dos aditivos químicos e das adições minerais. Com o advento dos superplastificantes, nos anos 70, tornou-se relativamente fácil desenvolver um concreto de alta resistência, com resistências à compressão de 50 MPa a 100 MPa, apesar de muitas aplicações desse tipo de concreto estarem voltadas à durabilidade e não à resistência (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Recentemente, vem-se buscando cada vez mais a utilização desses tipos de concreto. Sua produção pode ser simples e econômica, lançando-se mão de cimento, areia e brita comuns, no entanto, selecionados cuidadosamente, dosados através de uma relação água/cimento bem reduzida, utilização de aditivos/adições e observados por um rigoroso controle de qualidade (FERRARI *et al.*, 1996). Na resistência do concreto de alta resistência (CAR) os agregados também dão uma grande contribuição de forma a garantir que a ruptura se inicie pela pasta. Não é uma tecnologia sofisticada, é apenas o resultado da otimização dos materiais já utilizados no concreto convencional.

A introdução de adições minerais e de aditivos químicos permite reduzir a relação água/cimento e obter, conseqüentemente, um material mais homogêneo (concreto de alta ou ultra alta resistência). O efeito conseqüente é que as tensões também são transmitidas para os agregados, envolvendo-os no processo de propagação de fissuras.

O comportamento do concreto com resistências elevadas é diferente do de um concreto convencional, pois o primeiro trata de um material mais homogêneo, com menos microfissuração na zona de transição, ruptura mais frágil e menor dilatação volumétrica (VALOIS *et al.*, 1996). O concreto convencional é um compósito tipicamente não-homogêneo, caracterizado claramente pelas diferentes propriedades elásticas do agregado e da pasta e da fraca zona de interface pasta-agregado. Dessa forma, a fissuração deste tipo de concreto é mais localizada, além de ela se desenvolver entre a interface dos agregados e a pasta de cimento, fato que não é evidenciado em um concreto de alta resistência por ele ser mais homogêneo (ACITO & GUERRINI, 1999).

Do ponto de vista macroscópico, a ductilidade do concreto convencional se refere ao mecanismo do não-envolvimento do agregado no comportamento de fratura, pois é a pasta de cimento hidratada que constitui o elo mais fraco. Sendo assim, as propriedades mecânicas do concreto convencional podem ser relacionadas com a resistência da pasta de cimento hidratada e com a relação água/cimento e, portanto, com a sua resistência à compressão. Por este motivo, as relações entre a resistência à compressão e a maioria das outras propriedades mecânicas do concreto convencional são de simples desenvolvimento.

É um equívoco acreditar que as propriedades mecânicas do CAR são simplesmente aquelas de um concreto mais resistente e, também, considerar que possam ser deduzidas extrapolando-as dos concretos usuais. Essas diferenças no comportamento mecânico resultam de suas microestruturas diferentes (AÏTCIN, 2000).

A “lei” que sugere o crescimento da resistência à compressão à medida que a relação água/cimento diminui, existente para concretos usuais, só é válida para CAR até o alcance da resistência máxima do agregado graúdo. Quando isto ocorre e a resistência do agregado torna-se menor que da pasta de cimento, a resistência à compressão do concreto já não é aumentada significativamente com a diminuição da relação água/cimento (AÏTCIN, 2000). Mesmo quando se utiliza agregado graúdo suficientemente resistente, é impossível formular uma relação geral entre a relação água/aglomerante e a resistência à compressão do CAR, devido à grande

quantidade de combinações entre materiais e as características dos materiais usados em sua produção.

Um aspecto importante na tecnologia do CAR é a resistência à compressão nas primeiras idades e sua evolução com o tempo. Considerando o ganho de resistência nas primeiras idades, é preciso dizer que a pega e o endurecimento do CAR, bem como do usual, são influenciados, sobremaneira, pela temperatura do concreto fresco no momento do seu lançamento. Além disso, as reações de hidratação podem ser atrasadas significativamente devido ao uso de altas dosagens de superplastificante e, algumas vezes, de um retardador de pega; mas quando a hidratação começa, ela se desenvolve muito rapidamente (ROUGERON & AİTCIN, citados por AİTCIN, 2000).

A maior cinética do aumento da resistência no concreto de maior resistência pode ser atribuída, na opinião de De LARRARD & MALIER (citado por DAL MOLIN, 1995), à proximidade inicial das partículas de cimento no concreto fresco decorrente da baixa relação água/aglomerante da mistura. O comitê 363-R do ACI (1991) justifica tal comportamento em razão do calor de hidratação gerado em decorrência do elevado consumo de cimento do concreto de alta resistência.

O CAR pode apresentar um ligeiro decréscimo de resistência à compressão após um longo período de cura ao ar, como já foi constatado em alguns corpos de prova, principalmente com o uso de sílica ativa, produzidos experimentalmente (De LARRARD & AİTCIN, citados por AİTCIN, 2000). Esta perda é mencionada na literatura como “regressão da resistência” e pode ser justificada pela retração hidráulica (por secagem) do CAR, que afeta apenas uma fina camada externa do concreto e resulta em um gradiente significativo de tensões de tração, suficiente para afetar os valores de resistência à compressão. A espessura da camada afetada pela secagem é sempre a mesma, por isso este efeito é agravado nos corpos de prova de 10 cm x 20 cm, devido à sua pequena dimensão que, no caso de um pilar de seção 100 cm x 100 cm, é absolutamente desprezível (AİTCIN, 2000).

O valor da resistência à compressão uniaxial do concreto é obtido ensaiando corpos de prova de diferentes tamanhos e formatos (cilindros ou cubos), dependendo da normalização vigente de cada país, que podem influenciar os resultados obtidos. No Brasil, pelo Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos: ABNT NBR 5739:2007, e nos Estados Unidos adota-se o cilindro com dimensões de 150 mm x 300 mm. Também a prensa utilizada no ensaio, pode não ter capacidade para ensaiar CAR feitos em corpo de prova de 150 mm x 300 mm sendo, então, necessário o uso de formatos menores (AİTCIN, 2000; DAL MOLIN, 1995).

As propriedades mecânicas dos concretos leves dependem do tipo de agregado usado e da massa específica obtida (Slata, Nilson e Martinez, 1986). E alguns casos seria difícil produzir um concreto tendo massa específica menor do que 2000 kg/m³ e uma resistência à compressão de 50 MPa, enquanto em outros casos, com um agregado leve de “bom desempenho”, seria possível produzir um concreto de alta resistência com resistência à compressão de cerca de 100 MPa e massa específica, enquanto fresco, de 1865 kg/m³, como relatado por Zhang e GjØrv, (1990). Obviamente, para um dado agregado, quanto mais elevada for a massa unitária, mais alta será a resistência à compressão (Zhang e GjØrv, 1990).

Cupertino et al (2008) avaliaram os resultados da edição 2007 do Programa Interlaboratorial de Ensaio em Concreto Endurecido, conduzido pelo CT - 01, sob a coordenação do Laboratório de Concreto de FURNAS Centrais Elétricas S.A., em corpos de prova de 100 mm x 200 mm e 150 mm x 300 mm para concretos de 28 MPa e 30 MPa com agregado graúdo granítico. Após a análise, observou-se que os valores da resistência à compressão medida nos corpos de prova 100 mm x 200 mm são maiores que as medidas nos de 150 mm x 300 mm.

Alguns dos fatores usados para justificar o efeito do tamanho são: eficácia da cura, relação entre as dimensões do corpo de prova e do agregado, efeito parede e modificação da

distribuição das tensões nas faces do corpo de prova devido à restrição sofrida na região do topo pela ação dos pratos da máquina de ensaio (MARTINS, 2008).

Diante do exposto, a pesquisa tem o objetivo de estudar e avaliar a influência das variáveis: influência do tipo de concreto (Classe C30 e CAR – Concreto de Alta Resistência), da dimensão do corpo de prova cilíndrico (100 mm x 200 mm e 150 mm x 300 mm) e do tipo de laboratório (Laboratório A e Laboratório B) no resultado da resistência à compressão em concreto endurecido e verificar a variabilidade do resultado experimental.

2. MATERIAIS E PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi desenvolvido a partir de uma avaliação interlaboratorial de resistência à compressão do concreto, desenvolvido em dois diferentes laboratórios de concreto localizados na região de Goiânia, Goiás, Brasil.

Considerando as características do programa interlaboratorial, onde não é possível fixar todas as variáveis independentes, resolveu-se então pela seguinte situação de estudo:

- Tipo de concreto (em dois níveis: classe C30 e CAR);
- Dimensões dos corpos de prova em dois níveis: 100 mm x 200 mm e 150 mm x 300 mm;
- Tipo de laboratório (em dois níveis: laboratório A e laboratório B). O laboratório A possui sua própria instrumentação para realização do ensaio de resistência à compressão. O laboratório B também possui sua própria instrumentação para realização do ensaio de resistência à compressão. Ambos os laboratórios respeitaram a mesma norma de ensaio brasileira, isto é, os métodos de ensaio ABNT NBR 5739:2007. O laboratório A possui sua equipe própria para realização do ensaio de resistência à compressão. O laboratório B também possui sua equipe própria para realização do ensaio de resistência à compressão. Ambos os laboratórios mantiveram constantes os procedimentos de preparação ou de ensaio dos corpos de prova.

Como fatores limitantes do estudo têm-se:

- Mantiveram-se todos os corpos de prova na mesma condição de umidade;
- Máquina de ensaio com controle de carregamento, com velocidade de aplicação de 0,6 MPa/s, na fase do estudo;
- Materiais utilizados na fabricação do concreto: cimento Portland CP V ARI (Alta Resistência Inicial), litologia e dimensão do agregado graúdo (granito de dimensão máxima de 19 mm) e tipo de areia (areia artificial);
- Resistência à compressão f_c (28 dias) de 30 MPa e 60 MPa;
- Tipo de acabamento do topo dos corpos de prova (capeamento com enxofre).

A avaliação da variável independente dimensão básica do corpo de prova justifica-se porque as resistências especificadas para o concreto são cada vez mais altas e as limitações de capacidade das máquinas de ensaio não acompanharam esta necessidade, obrigando os laboratórios a utilizarem a dimensão básica 100 mm x 200 mm nos ensaios de controle tecnológico. Sendo assim, é importante avaliar o impacto deste fator sobre o resultado experimental da resistência à compressão.

Para reduzir a influência da umidade dos corpos de prova, eles foram desmoldados 24 horas após a mistura, identificados e armazenados em tanques de armazenamento por 28 dias, com umidade e temperatura controladas conforme especificado pela norma ABNT NBR

5738:2008. Vencido este prazo de armazenamento, os corpos de prova foram retirados do tanque de armazenamento e estocados em um ambiente seco, à temperatura ambiente.

As dosagens de concreto definidas para a amostra concreto Classe C30 e CAR (Classe C60) foram obtidas por ajustes de traços de concreto com resistência (f_c) na ordem de 30 e 60 MPa.

Através dos gráficos de comportamento do concreto foram obtidos os traços para concretos com resistências estimadas aos 28 dias em 30 MPa e 60 MPa. Esses traços estão apresentados nas Tabelas [2.1] e [2.2].

Tabela 2.1 – Traço do concreto de $f_c = 30$ MPa.

Proporção dos materiais (C30 f_c 30,0 MPa) por m³ de concreto	
Materiais	Concreto convencional vibrado (CCV)
	Quantidade por m ³
Cimento CP V ARI	236 kg
Areia artificial	891 kg
Brita 1 (19 mm)	999 kg
Água	172 kg
Aditivo polifuncional	1,65 kg (0,7% da massa do cimento)
Aditivo superplastificante	0,94 kg (0,4% da massa do cimento)
Adição de sílica ativa	18,9 kg (como substituição de 8% da massa do cimento)
Ensaio concreto fresco:	
Consistência	130 mm
Ar incorporado	2%

Tabela 2.2 – Traço do concreto de $f_c = 60$ MPa.

Proporção dos materiais (CAR f_c 60,0 MPa) por m³ de concreto	
Materiais	Concreto de alta resistência (CAR)
	Quantidade por m ³
Cimento CP V ARI	398 kg
Areia artificial	765 kg
Brita 1 (19 mm)	1.028 kg
Água	167 kg
Aditivo polifuncional	2,79 kg (0,7% da massa do cimento)
Aditivo superplastificante	1,59 kg (0,4% da massa do cimento)
Adição de sílica ativa	31,87 kg (como substituição de 8% da massa do cimento)
Ensaio concreto fresco:	
Consistência	120 mm
Ar incorporado	1,50%

Foram moldados 10 (dez) corpos de prova para a resistência à compressão, para cada tipo de concreto, para cada dimensão de corpo de prova e para cada tipo de laboratório (laboratório A e laboratório B), visando atender os métodos de ensaio ABNT NBR 5739:2007.

Aplicou-se a técnica de análise estatística de variância (ANOVA), contido no software Statsoft Statistica 7[®], para os resultados individuais encontrados nos laboratórios A e B para as amostras de concreto Classe C30 e de CAR (Classe C60), separadamente e em conjunto. A metodologia do teste consiste na aplicação do Teste de Fisher (F).

A estratégia da análise estatística se define a partir dos objetivos do pesquisador e das

condições experimentais então existentes (OLIVEIRA, 2008).

Segundo Vieira et al. (1989), a comparação de médias só pode ser feita após análise de variância. Isto porque todos os procedimentos para obter a diferença mínima significativa exigem o cálculo do quadrado médio do resíduo. Mas a análise de variância também dá o valor de F, que permite decidir se as médias são ou não iguais, a determinado nível de significância.

A Análise de Variância é um método suficientemente poderoso para poder identificar diferenças entre as médias populacionais devidas a várias causas atuando simultaneamente sobre os elementos da população (COSTA NETO, 1977).

Segundo Fonseca et al. (1982), o método de análise de variância indica a aceitação ou rejeição da hipótese de igualdade das médias. Se a hipótese de nulidade (H_0) for rejeitada, estará admitindo que, pelo menos, uma das médias é diferente das demais.

O trabalho de Ogliari e Pacheco (2004) utilizou o software STATISTICA[®] para fazer o gráfico normal de probabilidade para a amostragem em estudo.

O teste F, proposto por Snedecor (1980), em homenagem a Fisher, tem como base as distribuições de probabilidade conhecidas como F, tabeladas aos níveis de significância de 1% e de 5%, apropriadas para a razão de variâncias de amostras de populações normalmente distribuídas (COCHRAN, 1957).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quanto à análise principal desse estudo, destaca-se que os corpos de prova foram ensaiados em réplicas (com 10 unidades por situação de estudo) e aleatorizados, antes da execução do ensaio de resistência à compressão. Essa aleatorização permite minimizar os efeitos de variáveis que não foram ou não puderam ser consideradas no experimento, tais como: processo de moldagem do corpo de prova, distribuição dos agregados no concreto, montagem do instrumento de medição, entre outros. Além disso, caso exista algum mecanismo de dependência entre os resultados de experimentos subsequentes, a aleatorização da execução dos experimentos permite que essa dependência seja diluída entre todas as situações de estudo e, assim, não privilegie uma ou outra situação.

Na Tabela [3.1], estão apresentadas as médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos resultados para todas as situações de estudo obtidas para as amostras moldadas com concretos C30 e CAR, com intervalo de confiança da média (para 95% de confiança) e com um nível de significância de 5% para a propriedade resistência à compressão.

Tabela 3.1 – Análise estatística dos resultados – Resistência à Compressão.

Situação de Estudo			N° de Corpos de Prova	Resistência à Compressão (MPa)		
Dimensão (mm)	Tipo de Laboratório	Tipo de Concreto		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
————	————	CAR	38	65,8	5,5	8,3
————	————	C30	37	35,9	1,9	5,3
150X300	————	CAR	19	65,4	4,4	6,7
100X200	————	CAR	19	66,3	6,4	9,7
150X300	————	C30	19	36,2	0,76	2,1
100X200	————	C30	18	35,6	2,6	7,3
————	LABORATÓRIO A	CAR	19	69,3	4,03	5,8
————	LABORATÓRIO B	CAR	19	62,4	4,4	7,1
————	LABORATÓRIO A	C30	19	34,6	1,6	4,6
————	LABORATÓRIO B	C30	18	37,2	1,1	2,9
100X200	LABORATÓRIO A	C30	9	33,2	1,2	3,5
	LABORATÓRIO A	CAR	9	71,1	2,4	3,4
	LABORATÓRIO B	C30	9	37,9	0,94	2,5
	LABORATÓRIO B	CAR	10	61,9	5,8	9,4
150X300	LABORATÓRIO A	C30	10	35,9	0,54	1,5
	LABORATÓRIO A	CAR	10	67,7	4,6	6,8
	LABORATÓRIO B	C30	9	36,6	0,804	2,2
	LABORATÓRIO B	CAR	9	62,8	2,3	3,6

OBS.: - Tipos de concretos: concreto Classe C30 para dimensões 100 mm x 200 mm e 150 mm x 300 mm e CAR (Concreto de Alta Resistência) para dimensões 100 mm x 200 mm e 150 mm x 300 mm.
- Cinco dos resultados individuais foram considerados como valores espúrios.

Foi realizada uma análise estatística de variância (ANOVA) dos resultados individuais de resistência à compressão, para determinar os fatores estatisticamente significativos com nível de confiança de 95%. Cinco dos resultados individuais foram retirados das amostras, pois estão fora do intervalo de confiança e os mesmos foram considerados como valores espúrios pelo critério de Chauvenet, que especifica que um valor medido pode ser rejeitado se a probabilidade m de obter o desvio em relação à média é menor que $1/(2n)$, onde n é o número de medições (amostras) de uma grandeza.

Para aplicar o critério de Chauvenet para eliminar valores duvidosos, em primeiro lugar calcula-se o desvio médio e o desvio padrão do conjunto de dados medidos. O desvio de cada um dos pontos é comparado com o desvio padrão, para assim se eliminar os pontos duvidosos. Para a apresentação dos dados finais, um novo valor médio e um novo desvio padrão são calculados, sem incluir os pontos eliminados. O critério poderia até ser repetido mais uma vez,

para a eliminação de mais pontos, entretanto o procedimento não é recomendável, basta uma vez. Se diversos pontos extrapolarem o critério-limite estabelecido, é provável que o sistema de instrumentação seja inadequado, ou que o processo sendo medido seja extremamente variável.

O critério de Chauvenet, então, fornece uma base consistente para a tomada de decisão de excluir ou não um dado de um conjunto de valores medidos. Para sua aplicação, basta calcular a razão do desvio individual para o desvio padrão, ΔR , e comparar com um valor de referência, ΔR_0 . ΔR_0 depende do número de medidas, enquanto que ΔR é definida como: $\Delta R = (x_i - \bar{x}) / \sigma$. O valor medido é rejeitado quando ΔR for maior que ΔR_0 .

Na Tabela [3.1 – 1], estão apresentadas as médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos resultados individuais dos provetes para todas as situações de estudo obtidas para as amostras moldadas com concretos C30 e CAR, com intervalo de confiança da média (para 95% de confiança) e com um nível de significância de 5% para a propriedade resistência à compressão.

Tabela [3.1 – 1] – Resultados individuais de resistência à compressão dos corpos de prova de dimensões 100 mm x 200 mm e 150 mm x 300 mm do concreto Classe C30 e do concreto de alta resistência (CAR) nos laboratórios A e B.

Resultados de Resistência à Compressão (MPa) do concreto na idade de 28 dias								
	LAB A, 150X300 mm, CAR	LAB A, 100X200 mm, CAR	LAB A, 150X300 mm, C30	LAB A, 100X200 mm, C30	LAB B, 150X300 mm, CAR	LAB B, 100X200 mm, CAR	LAB B, 150X300 mm, C30	LAB B, 100X200 mm, C30
	72,8	74,9	36,2	34,8	62,1	70,3	36,4	38,6
	63,7	71,5	36,8	31,7	65,5	66,4	35,9	38,7
	74,5	72,9	35,5	32,9	65,7	64,4	36,9	37,8
	68,7	70,2	36,1	31,9	60,8	61,7	36,4	36,1
	67,9	68,8	35,9	33,0	63,9	54,9	37,7	38,7
	61,4	70,0	35,6	38,9	64,2	62,6	35,9	25,9
	72,6	78,1	35,2	35,0	63,2	53,6	31,7	38,5
	61,6	70,8	36,3	34,0	59,0	54,2	37,0	36,9
	67,7	67,2	36,0	33,0	61,0	64,6	37,8	38,4
	66,1	73,4	35,0	32,9	52,5	66,6	35,5	37,3
Média	67,7	71,1	35,9	33,2	62,8	61,9	36,6	37,9
Variância	21,4	5,7	0,3	1,3	5,1	33,8	0,6	0,9
f _{ck}	60,1	67,1	35,0	31,3	59,1	52,3	35,3	36,3
Desvio-Padrão	4,6	2,4	0,5	1,2	2,3	5,8	0,8	0,9
Erro Padrão	1,5	0,8	0,2	0,4	0,8	1,9	0,3	0,3
CV (%)	6,8%	3,4%	1,5%	3,5%	3,6%	9,4%	2,2%	2,5%
Maior	76,8	75,7	36,9	35,5	67,2	73,3	38,2	39,7
Menor	58,6	66,5	34,8	31,0	58,5	50,5	35,1	36,1
Máximo	74,5	74,9	36,8	35,0	65,7	70,3	37,8	38,7
Mínimo	61,4	67,2	35,0	31,7	59,0	53,6	35,5	36,1

Na Tabela [3.2], encontra-se a análise de significância dos fatores em estudo para a propriedade resistência à compressão.

Tabela 3.2 – ANOVA – Análise Global do Experimento – Resistência à Compressão.

Fatores Estudados	SQ	F	p	Resultado
Modelo de Estudo	17409,46	273,49	0,000	significativo
Erro (resíduo)	609,29	————	————	————
Total	18018,8	————	————	————
Coeficiente de Determinação do Modelo (R^2) = 0,96				
Dimensão do Corpo de Prova	————	0,17	0,682	não significativo
Tipo de Laboratório	————	9,57	0,003	significativo
Tipo de Concreto	————	1848,56	0,000	significativo
Dimensão do Corpo de Prova x Tipo de Laboratório	————	0,02	0,893	não significativo
Dimensão do Corpo de Prova x Tipo de Concreto	————	1,88	0,175	não significativo
Tipo de Laboratório x Tipo de Concreto	————	48,47	0,000	significativo
Dimensão x Tipo de Laboratório x Tipo de Concreto	————	8,56	0,005	significativo
Onde: SQ = soma dos quadrados; F = parâmetro de Fischer para o teste de significância dos efeitos; p = probabilidade de erro envolvida em aceitar o resultado observado como válido, isto é, como representativo da amostra; Resultado = resultado da análise, com a indicação se o efeito é significativo ou não, $R^2 = (1 - SQ_{\text{erro}}/SQ_{\text{total}})$.				

A análise de variância da resistência à compressão mostrou que o valor resultante do coeficiente de determinação do modelo adotado (R^2) foi de 0,96, o que significa dizer que 96% da variação total dos dados de resistência à compressão pode ser explicada pelas variáveis adotadas. Portanto, os fatores não controlados foram responsáveis por aproximadamente 4% das variações observadas no estudo.

Com respeito à intensidade de influência dos fatores, tomando-se como base a magnitude dos valores de F, pode-se constatar a grande influência do tipo de laboratório e do tipo de concreto nos resultados de resistência à compressão.

As interações dos efeitos também foram estatisticamente significativas, isto é, para cada tipo de laboratório utilizado, dependendo da dimensão do corpo de prova e tipo de concreto, a resistência à compressão do concreto apresenta diferença de resultado (comportamento distinto).

Na coluna dos valores F da Tabela [3.2], as interações que envolvem o efeito da dimensão do corpo de prova x tipo de laboratório apresentaram os menores valores, indicando a menor influência dessa variável nos resultados de resistência à compressão. Destaca-se, inclusive, que o efeito individual da variável dimensão do corpo de prova não é significativo, ou seja, as dimensões dos corpos de prova estudadas (100 mm x 200 mm e 150 mm x 300 mm), isoladamente e interagidas com tipo de laboratório ou tipo de concreto, não influenciaram significativamente os resultados de resistência à compressão.

Em decorrência da análise ANOVA – Resistência à Compressão (Tabela [3.2]) ter revelado os efeitos estatisticamente significativos das variáveis tipo de laboratório e tipo de concreto, realizou-se o agrupamento das médias homogêneas pelo método de Duncan, de forma a observar as semelhanças e diferenças dos resultados obtidos.

O método de Duncan realiza o agrupamento das médias homogêneas, com o intuito de verificar a semelhança ou não dos resultados alcançados.

Duncan (1955) citado por Pimentel Gomes (2000) introduziu um novo teste ou prova

para comparação de médias, ao qual chegou depois de uma tentativa anterior. Sua aplicação chega a resultados mais detalhados e se discrimina com mais facilidade entre os tratamentos, isto é, o teste de Duncan indica resultados significativos. O teste de Duncan exige, para ser exato, que todos os tratamentos tenham o mesmo número de repetições (OLIVEIRA, 2008).

Neste método, ficou demonstrado que os laboratórios A e B apresentam resultados próximos, porque a média geral de resistência à compressão do laboratório A foi de 52,0 MPa e a média geral de resistência à compressão do laboratório B foi de 50,1 MPa, isto é, o laboratório A teve apenas 4% a mais de média geral de resistência à compressão em relação ao laboratório B. Portanto, dependendo do laboratório utilizado no ensaio, os valores da resistência à compressão aproximam-se.

Depois de fazer o agrupamento de médias do fator tipo de concreto pelo método de Duncan, ficou demonstrado, como era esperado, que o tipo de concreto influencia os valores da resistência à compressão, pois a média geral de resistência à compressão do concreto Classe C30 foi de 35,9 MPa e a média geral de resistência à compressão do CAR (Concreto de Alta Resistência) foi de 65,8 MPa, isto é, o CAR teve 83% a mais de média geral de resistência à compressão comparado com o concreto Classe C30.

A Figura [3.1] apresenta a análise gráfica do estudo, exibindo os resultados para cada variável analisada.

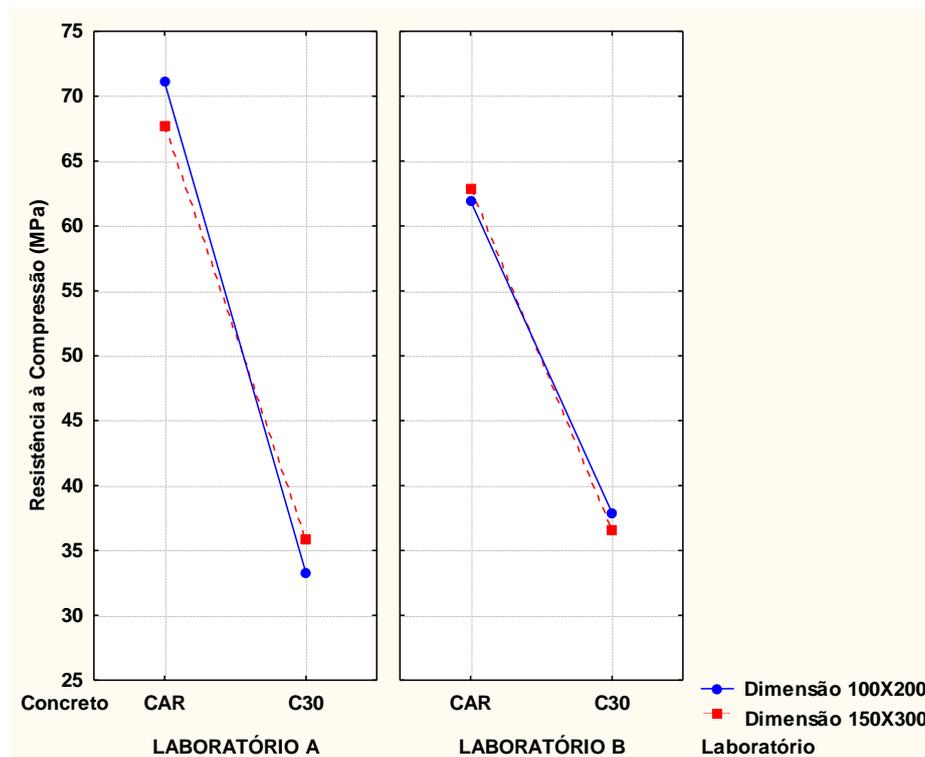


Figura 3.1 – Resistência média à compressão, por dimensão do corpo de prova, classe de concreto e tipo de laboratório.

A Figura [3.1] mostra que os valores de resistência à compressão apresentam-se próximos para as duas dimensões dos corpos de prova.

Quanto aos corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm, os resultados de resistência à compressão do concreto Classe C30 e CAR (Concreto de Alta Resistência) no laboratório A, exibidos na Figura [3.1], apresentaram médias de 33,2 MPa e 71,1 MPa, e os respectivos coeficientes de variação foram de 3,5% e 3,4%. Já, no laboratório B, os resultados de resistência à compressão apresentaram médias de 37,9 MPa e 61,9 MPa, e os respectivos

coeficientes de variação foram de 2,5% e 9,4%. Quanto à dimensão 100 mm x 200 mm, verificou-se que o concreto Classe C30 apresentou maior dispersão no laboratório A, isto é, o concreto Classe C30 teve 1% a mais de coeficiente de variação no laboratório A em relação ao laboratório B. Já, o CAR apresentou maior dispersão no laboratório B, ou seja, o CAR teve 6% a mais de coeficiente de variação no laboratório B comparado com o laboratório A.

Quanto aos corpos de prova com dimensão 150 mm x 300 mm, os resultados de resistência à compressão do concreto Classe C30 e CAR no laboratório A, exibidos na Figura [3.1], apresentaram médias de 35,9 MPa e 67,7 MPa, e os respectivos coeficientes de variação foram de 1,5% e 6,8%. Já, no laboratório B, os resultados de resistência à compressão apresentaram médias de 36,6 MPa e 62,8 MPa, e os respectivos coeficientes de variação foram de 2,2% e 3,6%. Quanto à dimensão 150 mm x 300 mm, verificou-se que o concreto Classe C30 apresentou maior dispersão no laboratório B, isto é, o concreto Classe C30 teve 0,7% a mais de coeficiente de variação no laboratório B em relação ao laboratório A. Já, o CAR apresentou maior dispersão no laboratório A, ou seja, o CAR teve 3,2% a mais de coeficiente de variação no laboratório A comparado com o laboratório B.

Devido ao fato dos corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm apresentarem as maiores dispersões de resultados, a variável dimensão do corpo de prova foi destacada nas análises subseqüentes, apresentadas pelas Figuras [3.2] e [3.3].

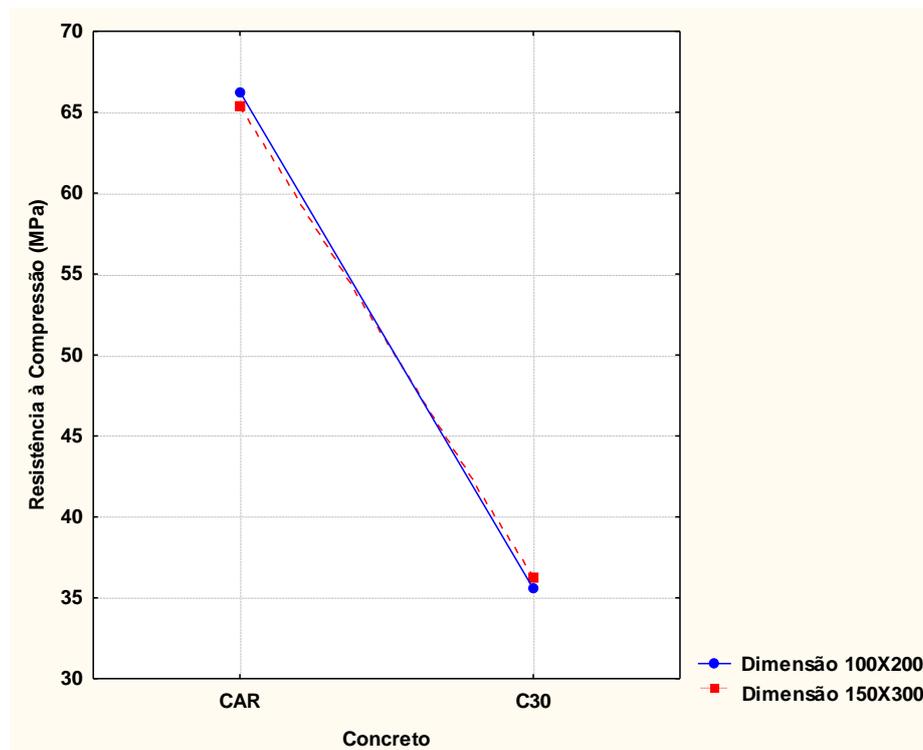


Figura 3.2 – Resistência média à compressão: efeito do tipo de concreto e da dimensão do corpo de prova, englobando os valores obtidos por todos os laboratórios.

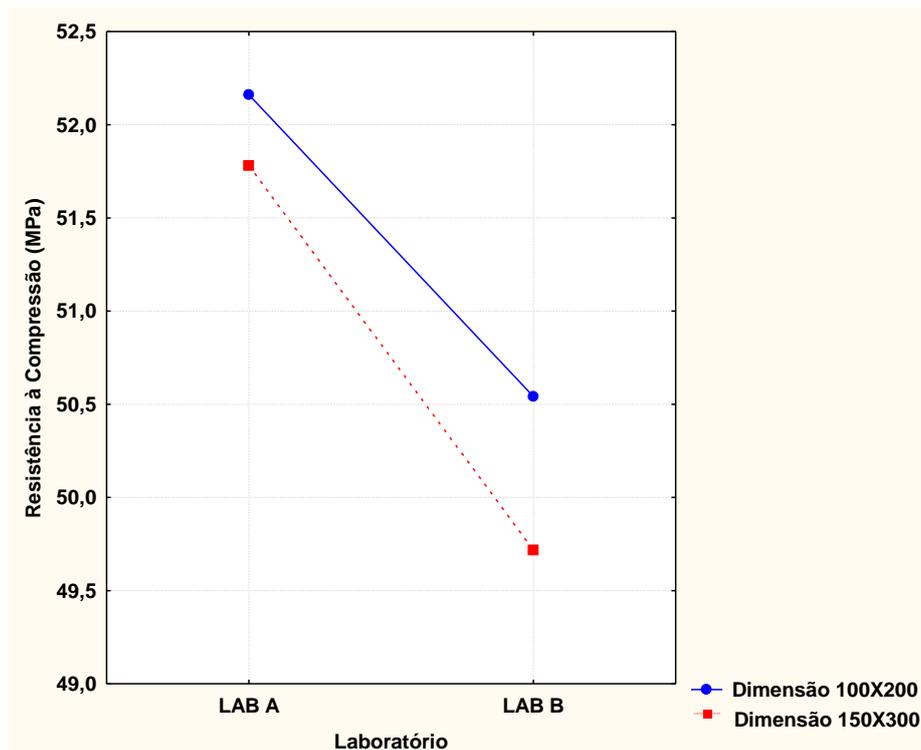


Figura 3.3 – Resistência média à compressão: efeito do tipo de laboratório (LAB = LABORATÓRIO) e efeito da dimensão do corpo de prova, englobando os valores médios obtidos nos tipos de concreto.

A Figura [3.2] mostra o efeito significativo do tipo de concreto, tendo o CAR (concreto de alta resistência) apresentado os resultados de resistência à compressão média superiores. Quanto aos corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm, os resultados de resistência à compressão do concreto Classe C30 e CAR, exibidos na Figura [3.2], apresentaram médias de 35,6 MPa e 66,3 MPa, e os respectivos coeficientes de variação foram de 7,3% e 9,7%. Já, quanto aos corpos de prova com dimensão 150 mm x 300 mm, os resultados de resistência à compressão apresentaram médias de 36,2 MPa e 65,4 MPa, e os respectivos coeficientes de variação foram de 2,1% e 6,7%.

Quanto ao concreto Classe C30, verificou-se que os corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm apresentaram maior dispersão (coeficiente de variação 5,2% maior) em relação aos corpos de prova com dimensão 150 mm x 300 mm. Quanto ao CAR, verificou-se que os corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm apresentaram maior dispersão (coeficiente de variação 3% maior) comparado aos corpos de prova com dimensão 150 mm x 300 mm.

A Figura [3.3] mostra o efeito significativo do tipo de laboratório e da dimensão do corpo de prova, tendo o laboratório A apresentado os resultados de resistência à compressão maiores.

Quanto aos corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm, os resultados de resistência à compressão nos laboratórios A e B, exibidos na Figura [3.3], apresentaram médias de 52,2 MPa e 50,5 MPa, e os respectivos coeficientes de variação foram de 37,5% e 25,8%. Já, quanto aos corpos de prova com dimensão 150 mm x 300 mm, os resultados de resistência à compressão nos laboratórios A e B apresentaram médias de 51,8 MPa e 49,7 MPa, e os respectivos coeficientes de variação foram de 32,1% e 27,3%.

Quanto ao laboratório A, verificou-se que os corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm apresentaram maior dispersão (coeficiente de variação 5,4% maior) em relação aos corpos de prova com dimensão 150 mm x 300 mm. Quanto ao laboratório B, verificou-se que

os corpos de prova com dimensão 150 mm x 300 mm apresentaram maior dispersão (coeficiente de variação 1,5% maior) comparado aos corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm.

4. CONCLUSÕES

O verdadeiro escopo de uma pesquisa consiste em fornecer dados capazes de subsidiar respostas e soluções para as incógnitas existentes nos vários campos do conhecimento humano. Assim, as considerações finais visam compilar as informações mais importantes, arrematar os resultados e assentar os aspectos práticos do estudo, facilitando o acesso do meio técnico às descobertas científicas.

As considerações finais retiradas da apresentação e análise dos resultados expostos anteriormente consideraram: a influência da classe do concreto, a dimensão do corpo de prova, o tipo de laboratório de ensaio, bem como a comparação entre estas variáveis obtidas no estudo e sua aplicabilidade na análise e inspeção das estruturas de concreto.

O conhecimento da resistência à compressão do concreto é matéria de fundamental importância, tanto nas etapas de projeto e execução como no caso de avaliações sobre a qualidade das estruturas em uso. Faz-se necessário compreender os conceitos relativos, as prescrições de ensaio e as variáveis que exercem influência, para interpretar os resultados e descartar possíveis discrepâncias ocasionadas por deficiências do equipamento de ensaio ou do operador. Poderá haver, por exemplo, variação da temperatura ambiente (durante a mistura e cura do concreto) e variação das características da água utilizada na mistura (sais, pH, etc).

1. Quanto ao concreto Classe C30, verificou-se que os corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm apresentaram maior dispersão (coeficiente de variação 5,2% maior) em relação aos corpos de prova com dimensão 150 mm x 300 mm. Quanto ao concreto Classe C60, verificou-se que os corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm apresentaram maior dispersão (coeficiente de variação 3% maior) comparado aos corpos de prova com dimensão 150 mm x 300 mm (Figura [3.2]). Portanto, os corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm apresentaram maior dispersão. Este comportamento também foi obtido pela pesquisa de Martins (2008).
2. Quanto ao laboratório A, verificou-se que os corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm apresentaram maior dispersão (coeficiente de variação 5,4% maior) em relação aos corpos de prova com dimensão 150 mm x 300 mm. Quanto ao laboratório B, verificou-se que os corpos de prova com dimensão 150 mm x 300 mm apresentaram maior dispersão (coeficiente de variação 1,5% maior) comparado aos corpos de prova com dimensão 100 mm x 200 mm (Figura [3.3]).
3. Apesar dos resultados obtidos a partir dos corpos de prova 100 mm x 200 mm apresentarem maior dispersão (maior coeficiente de variação), não é significativa a diferença destes com relação aos resultados obtidos a partir de corpos de prova 150 mm x 300 mm (evidenciado na Tabela [3.2]).
4. Os laboratórios participantes do ensaio mostraram grande divergência de resultados, embora estivessem seguindo as diretrizes de norma. Isto serve de alerta da necessidade do aprofundamento das investigações, principalmente no que tange à influência dos tipos de concreto, dimensões de corpos de prova e aos diferentes processos utilizados pelos laboratórios envolvidos no estudo.
5. Apesar dos resultados obtidos a partir dos corpos de prova 100 mm x 200 mm

apresentarem maior dispersão (maior coeficiente de variação), não é significativa a diferença destes com relação aos resultados obtidos a partir de corpos de prova 150 mm x 300 mm (evidenciado na Tabela [3.2]).

De um modo geral, as etapas de inspeção das estruturas de concreto envolvem uma série de atividades que vão desde a análise e coleta de projetos e especificações até o planejamento e desenvolvimento da metodologia de investigação. Além disso, a eficácia da avaliação depende de conhecimento e experiência por parte do investigador. O sucesso da aplicação das correlações obtidas neste estudo está profundamente associado à perícia do profissional e ao conhecimento prévio sobre o método de determinação da resistência à compressão do concreto.

Salienta-se que os resultados aqui obtidos são válidos para os materiais e condições de ensaios adotadas; portanto, deve-se considerar este limite da pesquisa.

5. AGRADECIMENTOS

A todos do Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, à Empresa Carlos Campos Consultoria e Construções Ltda., à Furnas Centrais Elétricas, à Empresa Realmix Concreteira. Esta pesquisa foi realizada com os apoios da Universidade Federal de Goiás e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI COMMITTEE 363.R – State-of-the-art report on high strength concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1991.

Acito, M.; Guerrini, G.L. On the Correlation between the Modulus of Elasticity and the Compressive Strength in VHSC – In: *5th International Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete* – Sandefjord-Noruega, Proceedings-vol. 2, 1999, 947-955.

Aitcin, P. C, 1938 - Concreto de alto desempenho / Pierre-Claude Aitcin; *tradução de Geraldo G. Serra. 1. ed. São Paulo: Pini, 2000.*

Almeida, Pedro Afonso de (Diretor / Prof. Doutor da EPUSP); Vieira, Nayara Yokoyama (Engenheira Civil / Mestranda em Engenharia Civil da EPUSP); Tomo, Fabrício da Cruz (Engenheiro Civil / Mestrando em Engenharia Civil da EESC/USP); Fusco, Prof. Dr. Pericles Brasiliense (Prof. Titular da Escola Politécnica da USP, Consultor). Avaliação da resistência dos concretos com cura em ambientes com vibrações mecânicas induzidas por tráfego de veículos. Contrato ACTUA-ND-4600004851/08. *Relatório Final Concessionária Da Rodovia Pres. Dutra LSE-DEE105-R20101231* Dezembro de 2010. Estrada Arian, 411, 06276-120 – Osasco/SP 31/12/2010.

Andrade, E. F. R. et al. Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo. São Paulo: Pini, 1997.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 2009.

Batista, Cleyry Leandro. Estimativa da resistência à compressão do concreto pelo método ultra-sônico. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Tecnologia da Construção/Planejamento de Edifícios) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Orientador: Giana Sousa Sena Rodrigues.

Bilesky, P. C.; Tango, C. E. S. Utilização de “cilindros montados” para ensaios mecânicos de concreto (II. módulo de elasticidade). In: *Congresso Brasileiro do Concreto*, 47º., 2005, Olinda - Pernambuco. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005. CD-ROM.

Borges, Michelly Lorena. Avaliação da qualidade de concretos produzidos em centrais dosadoras, misturados em caminhão betoneira e de concretos produzidos em centrais misturadoras [manuscrito] / Michelly Lorena Borges. – 2009. 98 f.: il., figs, tabs. Orientador: Prof. Dr. André Bortolacci Geyer. *Dissertação (Mestrado)* – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2009.

Cochran, W. G. E Cox, G. M. Experimental designs. 2th ed. Singapore: John Wileys & Sons, 1957. 611 p.

Costa Neto, P. L. O. Estatística. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 264p.

Cupertino, A. L. L., Castro, A., Inácio, J. J., Andrade, M. A. S. Avaliação de fatores de ensaio que interferem na resistência à compressão e na resistência à tração simples do concreto. In: *Congresso Brasileiro do Concreto*, 49º., 2007a, Bento Gonçalves - RJ. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007a. CD-ROM.

Cupertino, A. L. L., Inácio, J. J., Castro, A., Farias, Silva, A.R., L. A., Andrade, M. A. S, Oliveira, N. M. Análise da influência da dimensão básica do corpo-de-prova no módulo de elasticidade. In: *Congresso Brasileiro do Concreto*, 50º., 2008, Salvador - BA. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008. CD-ROM.

Dal Molin, D.C.C. Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microsílica. *Tese (Doutorado)* - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

D’avila, V. M. R., Rosa, V. L. O. Deformação em vigas-parede de concreto armado. In: *Congresso Brasileiro do Concreto*, 48º., 2006, Rio de Janeiro. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2006. CD-ROM.

De Larrard, F. A method for proportioning high-strength concrete mixtures. *Cement, Concrete and Aggregates*. v. 12, n. 2, p. 47-52, 1990.

De Larrard, F.; Malier, Y. Engineering properties of very high performance concrete. In: Malier, Y. (editor). *High performance concrete – from material to structure*. London, E FN Spon, 1992. p. 85-114.

De Larrard, F. and Aitcin, P-C. (1993). The strength retrogression of sílica fume concrete. *ACI Materials Journal*, November-December, 581-5.

Farias, I. A., Muniz, F. C., Liduário, A. S., Lopes, A. N. M., Andrade, M. A. S., Bittencourt, R. M., Geyer, A. L. B. Correlação entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão de concreto de alto desempenho e de concreto convencional. In: *Congresso Brasileiro do Concreto*, 46º. 2004, Florianópolis. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2004. CDROM.

Ferrari, A.A.; Flor, J.M.; Calixto, J.M. Propriedades Mecânicas do Concreto de Alto Desempenho Fabricado com Diversos Materiais. In: International Congress on High Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures - Florianópolis – SC, 1996, p.15-24.

Ferrari, A. A., Flor, J. M., Calixto, J. M., 1996, “Propriedades Mecânicas do Concreto de Alto Desempenho Fabricado com Diversos Materiais”, Anais, International Congresso on High Performance Concrete and Performance and Quality of Concrete Structures, Florianópolis, Brasil, June, pp 15-26.

Ferreira, R., Castro, A., Couto A. P., Braun, V., Cascudo, O. Avaliação da resistência à compressão, módulo de deformação e absorção de água de concretos contendo adições minerais. In: *Congresso Brasileiro do Concreto*, 46º. 2004, Florianópolis. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2004. CD-ROM.

Fonseca, J. S.; Martins, G. A. M. Curso de estatística. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1982.

Garcia, Eliseu Silva. Estimativa da resistência à compressão do concreto pelo método ultra-sônico. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Tecnologia da Construção/Planejamento de Edifícios) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Orientador: Giana Sousa Sena Rodrigues.

Ishikawa, Paulo Hidemitsu. Concreto de alto desempenho com areia artificial. Paulo Hidemitsu Ishikawa - Prof. Me. do curso Construção Civil – Edifícios da FATEC-SP. Boletim Técnico da FATEC-SP - BT/ 28 – pág. 42 a 47 – Abril / 2010.

Leite, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. *Tese (Doutorado)*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2001.

Lima, Susanne Pessoa. Estimativa da resistência à compressão do concreto pelo método ultra-sônico. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Tecnologia da Construção/Planejamento de Edifícios) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Orientador: Giana Sousa Sena Rodrigues.

Martins, Danilo Gomes. Influência do tamanho do corpo de prova nos resultados de ensaios de módulo de deformação e resistência à compressão e suas correlações para concretos produzidos em Goiânia-GO [manuscrito] / Danilo Gomes Martins. – 2008. *Dissertação (Mestrado)* – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2008.

Metha, P. K.; Monteiro, Paulo J. M. “Concreto-Microestrutura, Propriedades e Materiais.” 1ª Ed. Português, IBRACON, São Paulo, 2008.

Nunes, F. W. G. Resistência e módulo de elasticidade de concretos usados no Rio de Janeiro. 2005. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)* – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2005.

Ogliari, P. J. E Pacheco, J. A. Análise estatística usando o STATISTICA®. Universidade de Santa Catarina – Departamento de Informática e Estatística. Florianópolis: UFSC, 2004.

Oliveira, Andréia Fróes Galuci. Testes estatísticos para comparação de médias. *Revista Eletrônica Nutritime*, v. 5, nº 6, p. 777-788. Artigo Número 76. Novembro/Dezembro de 2008.

Oliveira, Timóteo Silva. Estimativa da resistência à compressão do concreto pelo método ultra-sônico. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Tecnologia da Construção/Planejamento de Edifícios) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Orientador: Giana Sousa Sena Rodrigues.

Pacheco, R. F. R. Análise do módulo de elasticidade e resistência à compressão de concretos produzidos em centrais na Grande Vitória. Experimentos e estatística. 2006. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)* – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2006.

Pimentel Gomes, F. Curso De Estatística Experimental. 14ª Ed. Piracicaba – Sp: Editora Da Universidade De São Paulo, 2000. 477p.

Pinheiro, Libânio M.; Muzardo, Cassiane D.; Santos, Sandro P.; Catoia, Thiago; Catoia, Bruna. Características do Concreto. Estruturas de Concreto – Capítulo 2. USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas. Março de 2010.

Rougeron, P.; Aïtcin, P. C. Optimization of a high-performance concrete. *Cement, Concrete and Aggregates*, 16, December, 115-24, 1994.

Silva, Fabrício Martins. Análise experimental das relações do módulo de elasticidade e resistência à compressão do concreto em relação à idade. Belo Horizonte, 2007. 65 p. Monografia (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Curso

de Engenharia de Produção Civil. Área: Materiais de Construção. Orientador: Prof. MSc. Augusto Cesar da Silva Bezerra.

Slate, F.O., Nilson, A.H. E Martinez, S. (1986). Mechanical properties of high-strength lightweight concrete. *ACI Journal*, 606-13.

Snedecor, G. W.; Cochran, W. G. Statistical methods 7th ed. Anies: The Iowa State University Press, 1980. 507 p.

Universidade Estadual De Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. Critério de Chauvenet. Disponível em: [www.fem.unicamp.br/~instmed/Criterio Chauvenet.doc](http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Criterio%20Chauvenet.doc). Acesso em 22 de dezembro de 2015.

Valois, J.G.C.; Cassa, J.C.S. Avaliação do Módulo de Elasticidade do Concreto de Elevado Desempenho com Agregado de Escória Britada. In: *International Congress on High Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures* - Florianópolis – SC, 1996, p.70-81.

Vieira, S.; Hoffmann, R. Estatística experimental. São Paulo: Atlas, 1989. 175p.

Viera, T. M., Vasconcelos, A. S., Lago, L. B., Branco, V. H. L., Souza, P. S. L. Influência da dimensão do corpo de prova de concreto e da forma de capeamento, nos resultados de resistência à compressão e módulo de elasticidade. In: *Congresso Brasileiro do Concreto*, 50^o., 2008, Salvador - BA. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008. CD-ROM.

Zhang, M.-H E GjØrv, O.E. (1990). Development of High-Strength Lightweight Concrete, ACI SP-121, pp. 667-81.