



XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

OS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DO CONCRETO ENQUANTO FERRAMENTA DE CONTROLE DE SUA PRODUÇÃO

GIDRÃO, Salmen Saleme (1); SANTOS, Antônio Carlos dos (2)

(1) Unifeb - Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, salmen.saleme@gmail.com

(2) Universidade Federal de Uberlândia, acds@feciv.ufu.br

RESUMO

O estado de urgência que atualmente envolve os sistemas produtivos da construção civil com foco na utilização de materiais sustentáveis e em novas tecnologias exige que os profissionais comprometidos com seu desenvolvimento estejam atentos ao aperfeiçoamento de seus processos e com a evolução do conhecimento científico e da tecnologia. No contexto das obras em concreto algumas particularidades envolvendo sua produção, também são prementes. O objetivo deste trabalho é inferir os parâmetros que envolvem a fabricação do concreto e suas estruturas e analisar os resultados dos ensaios a compressão como um dos elementos reguladores da qualidade de sua produção. Seu desenvolvimento é parte de uma dissertação de mestrado com foco na análise dos resultados deste tipo de ensaio. Seus elementos foram fundamentados nos resultados parciais de um trabalho diagnóstico que envolve uma análise estatística utilizando um conjunto de dados obtidos de um procedimento experimental com corpos prova de concreto. Seus resultados, parcialmente formalizados como “não confiáveis”, reforçam a importância de ações que promovam análises e reorganização de alguns setores da construção civil em torno de duas questões principais: a qualidade do habitat enquanto resultado da correta utilização de materiais e a modernização dos mecanismos de sua produção, inclusive e principalmente, de parte de seus controles de processo. Este trabalho é um alerta à necessidade de aperfeiçoamento dos procedimentos envolvendo os ensaios à compressão enquanto ferramenta do controle de sua produção.

Palavras-chave: Concreto, Ensaio à compressão, Qualidade.

ABSTRACT

The state of emergency that currently involves the productive systems of civil construction with a focus in using sustainable materials and new technologies demands that the professionals committed to their development, be attentive to the improvement of its processes and the evolution of scientific knowledge and technology. In the context of concrete construction some particulars involving their production are also pressing. The objective of this work is to infer the parameters involving the manufacture of concrete and its structures and analyze the test results of compression with one of the regulatory elements of the quality of its production. Its development is part of a Masters dissertation focusing on the results of this type of test. Its elements were based on the partial results of a diagnostic work that involves a statistical analysis using a data set obtained from an experimental procedure to test bodies of concrete. Their results, partially formalized as "unreliable", reinforce the importance of actions that promote analysis and reorganization of some sectors of the construction around two main issues: habitat quality as a result of the correct use of materials and the modernization of the mechanisms of its production, including and especially, the part their process controls. This work is an alert to the need for improvement in the procedures involving compressive tests while their production control tool.

Keywords: Concrete, Compression tests, Quality.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil ao longo de sua história tem fomentado o tratamento da qualidade de seus processos de produção com merecida atenção para os parâmetros que norteiam o seu desenvolvimento e muito recentemente com discussões que envolvem elementos de natureza ambiental, estando nisto incluídas abordagens de sustentabilidade e preservação.

A utilização de materiais sustentáveis é uma tendência incontestável não só por seu caráter ideológico, mas principalmente pelas questões que envolvem a sobrevivência do planeta; por sua vez, a condição de utilização indiscriminada de materiais, de forma pouco racional, exerce influência nas reservas naturais provocando um desequilíbrio ambiental capaz de comprometer os ecossistemas, sendo, portanto justificáveis as referidas orientações para o tratamento da qualidade.

De acordo Brandt (1998) o desenvolvimento da civilização está atrelado ao uso de bens materiais fundamentalmente obtidos pelas atividades de extração de recursos naturais sendo responsáveis por impactos ambientais negativos e muitas vezes irreversíveis.

No dizer de Maury e Blumenschein (2012) o processo produtivo do cimento é capaz de produzir efeitos nocivos ao meio ambiente e à saúde humana desde a extração de matéria-prima, que gera degradação e contaminação da água e do solo, até a emissão de material particulado, causador de muitos problemas respiratórios.

Desta forma, paira sobre os processos produtivos da construção civil um estado de urgência que implica para o seu melhoramento, a resolução de problemas de obtenção de qualidade e cuja orientação deve considerar os conceitos de aperfeiçoamento de seus processos tecnológicos aliados aos princípios de conservação ambiental.

De fato, no contexto das obras em concreto algumas situações se fazem prementes e alguns elementos devem ser verificados, como por exemplo, os ensaios de compressão do concreto enquanto ferramenta do controle de qualidade de sua produção.

Por mais imprópria que possa parecer esta idéia, com a devida aplicação de um ensaio a compressão do concreto é possível minimizar parte dos problemas patológicos das construções, e de maneira consequente, ainda que de forma muito discreta, contribuir para as questões de caráter ambiental.

Quando um ensaio desta natureza é aplicado convenientemente, um grau considerável de melhoria de qualidade pode indiretamente ser incorporado às obras que utilizam este elemento, quer pela economia de materiais necessários à sua construção, quer pela redução de ocorrências de efeitos patológicos; e em cuja análise de valores envolvidos se deve também considerar, aqueles pertinentes à demanda energética para a produção do concreto para a sua recuperação.

Com um controle eficaz da qualidade do concreto, e que envolve entre outros, os procedimentos de dosagem e os ensaios de resistência à compressão, é possível controlar as propriedades do material, aproveitando de maneira mais eficiente todo o seu potencial.

Neste trabalho, estes conceitos foram considerados. Seu objetivo é inferir os parâmetros da fabricação do concreto e suas estruturas e analisar os resultados dos ensaios a compressão enquanto elemento regulador da qualidade de sua produção. A intenção é avaliar o estado de confiabilidade com que os ensaios têm sido produzidos para dele extraír as conclusões pertinentes.

2 A QUALIDADE DO CONCRETO

Para Mehta e Monteiro (2008) um programa de garantia de qualidade envolvendo o concreto e suas estruturas deve observar que o elemento acabado de concreto seja estruturalmente adequado a finalidade para qual foi projetado. Para a verificação de sua conformidade, os métodos de ensaio escolhidos, a análise estatística de seus resultados e outros procedimentos de controle, devem considerar que a qualidade de uma estrutura de concreto está intimamente ligada às propriedades de seus materiais constituintes e ao desenvolvimento utilizado para sua aplicação.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil, ABESC (2007), a qualidade de uma obra em concreto depende da correta definição do tipo de concreto a ser utilizado, da garantia de condições de sua fabricação e aplicação e da observância de suas normas reguladoras.

Neste contexto, Melhado e Oliveira (2009) destacam que os sistemas de normalização formalizam a medida da uniformidade e padronização do nível de exigências relativo à qualidade, de insumos, de componentes e processos que orientam, podendo os seus benefícios se estender aos aspectos qualitativos e quantitativos das atividades de produção.

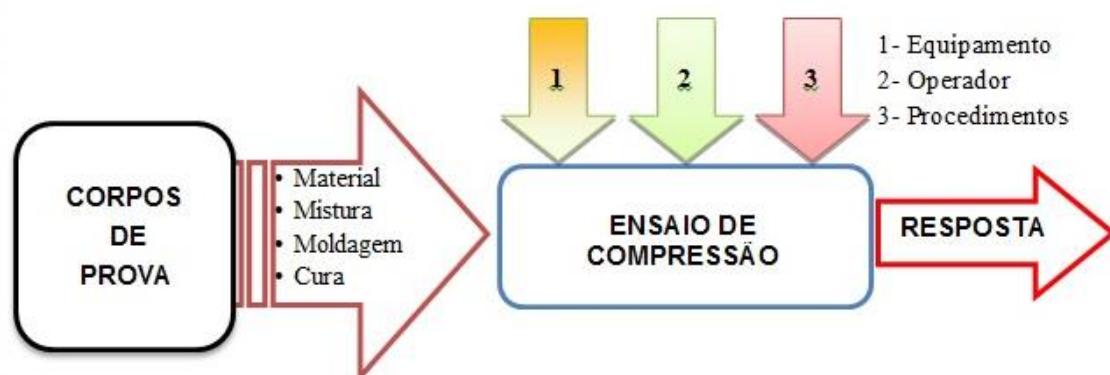
Por sua vez, segundo Rocha (1993) a avaliação de resultados para todo este contexto, justifica a fiscalização da produção no sentido da aferição dos atributos do produto para identificação de seu estado final e a certificação que as regras estabelecidas garantirão através do controle de qualidade, a confiabilidade do produto.

2.1 O monitoramento da qualidade do concreto pelo ensaio à compressão

Segundo Helene e Terzian (1995) o ensaio à compressão do concreto pode assumir distintas missões na busca pela qualidade de suas obras. Ele pode ser aplicado durante a fase de sua produção agindo como agente regulador de qualidade, ou ainda nos procedimentos relativos à sua aceitação e para a finalidade a que se destina. Entretanto, para que sua missão seja cumprida de forma satisfatória, são necessários bons resultados.

A Figura 1 apresenta os elementos capazes de influir nos resultados dos ensaios de compressão do concreto. Os números indicados nas setas coloridas representam os fatores atrelados à aplicação do ensaio propriamente dito, enquanto à esquerda foram relacionados os fatores intervenientes relativos à produção dos corpos de prova.

Figura 1 – Variáveis condicionantes dos resultados dos ensaios de compressão



Fonte: Gidrão e Santos (2013)

O monitoramento da qualidade do concreto é abordado pela ABNT NBR 6118:2007 estabelecendo as condições de aceitação das estruturas de concreto armado considerando a resistência à compressão como elemento de fundamentação de qualidade.

2.2 A confiabilidade dos resultados dos ensaios à compressão

Embora o ensaio de resistência não se constitua a única forma capaz de verificar a qualidade do concreto se faz necessário destacar a importância das ações em busca pela precisão dos resultados de seus ensaios à compressão.

Seja para os moldes atuais da fabricação do concreto, ou para tecnologias que possam vir a constituir o seu processo de produção, a confiabilidade dos ensaios à compressão, é uma dimensão de seu controle de qualidade, que não pode ser desprezada.

Na condição de agente verificador de um estado desejável para o concreto, e que assume uma significativa importância nas ações de sua produção, devem os resultados destes ensaios ser confiáveis e seus agentes executores qualificados para a execução de tal tarefa.

Admitindo-se como verdadeira a hipótese de que qualquer variação procedural estabelecida na fase de fabricação do concreto será identificada em seu estado final, quer pelas propriedades do material avaliado, quer pela eficiência dos procedimentos e equipamento utilizado nos processos de sua medição se faz necessário considerar a condição de resultados precisos para os ensaios.

Enquanto ferramenta de verificação de uma propriedade de indiscutível importância para o concreto, os ensaios devem ser capazes de fornecer informações precisas acerca do material analisado de forma a serem tomadas as decisões necessárias à correção de seus parâmetros produtivos.

3 METODOLOGIA

Para parametrizar os resultados dos ensaios à compressão como elemento regulador da qualidade de sua produção, foram avaliados os resultados de medições de resistência efetivados por diversos laboratórios para verificar se os valores por eles pronunciados são estatisticamente confiáveis.

Foram considerados os resultados de doze agentes executores de ensaios pertencentes a uma região geográfica que abrange cidades de médio porte, distantes de até 600 quilômetros do polo gerador desta pesquisa. Os laboratórios estão inseridos em um espaço amostral constituído por cidades que envolvem uma população da ordem de 2,0 milhões de habitantes.

Os ensaios de compressão foram desenvolvidos em duas etapas de avaliação nas idades de 63 dias e 65 dias, idades estas relacionadas à logística necessária ao transporte dos corpos de prova. Em cada etapa de avaliação foram rompidos dois corpos de prova.

O desenvolvimento considerou uma análise sobre os parâmetros capazes de interferir nos resultados dos ensaios e a aplicação de um procedimento experimental capaz de homogeneizar a produção de seus corpos de prova para assim tornar possível a comparação de suas medições.

Foram estabelecidas ações envolvendo os processos de fabricação dos corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm, de forma a garantir uma condição de similaridade entre os

mesmos; e mantidas as condições de sigilo experimental de maneira ser possível à identificação dos pontos convergentes do estado de coerência de seus resultados.

A moldagem foi realizada por uma equipe devidamente treinada e capaz de manter uma similaridade de ações com o intuito de minimizar os efeitos sobre os resultados analisados. Os procedimentos foram controlados em todos os níveis de processo.

O trabalho de adensamento do concreto no interior dos moldes foi realizado mecanicamente por um procedimento que incluiu o controle do tempo de vibração.

Os procedimentos de cura foram estabelecidos de forma a garantir a mesma condição de hidratação do cimento. A cura foi realizada durante vinte e oito dias de forma completamente submersa

Para a distribuição dos corpos de prova foram garantidas as condições de transporte previstas em norma e pré-avaliadas as condições de homogeneidade para a validação dos corpos de prova necessários ao ensaio.

Para a parametrização dos resultados e sua comparação foi estabelecido o conceito de ensaio referencial cujos fundamentos conceituais estão expressos na Equação 1.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot s_d \quad (1)$$

Onde : f_{cj} - resistência média do concreto à compressão

s_d - desvio-padrão da dosagem,

f_{ck} - é a resistência característica do concreto

O conceito de ensaio referencial consiste na produção de um ensaio de forma rigorosamente controlada para permitir a análise comparativa dos resultados de outros laboratórios em uma faixa de valores aceitável e estabelecida a partir do desvio padrão normativo pertinente ao controle rigoroso da produção de concreto.

Para sua aplicação foram verificadas todas as orientações normativas pertinentes ao ensaio de compressão e garantidas às condições de calibração do equipamento realizador do ensaio referencial.

Os corpos de prova produzidos simultaneamente em uma única seção de moldagem considerando a utilização de um concreto produzido em central e com as características descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Concreto de moldagem dos corpos de prova

Volume do Concreto Produzido	2 m ³	Brita 1	1,60 m ³
Volume do Concreto utilizado	0,22 m ³	Areia	1,40 m ³
f_{ck}	40 MPa	Relação água/cimento	0,40
Tipo	Convencional	Cimento	CPIII-40
Abatimento	45 mm	Mistura	Caminhão Betoneira
Cimento	712,50 Kg	Descarte de concreto inicial	600 litros

4 RESULTADOS

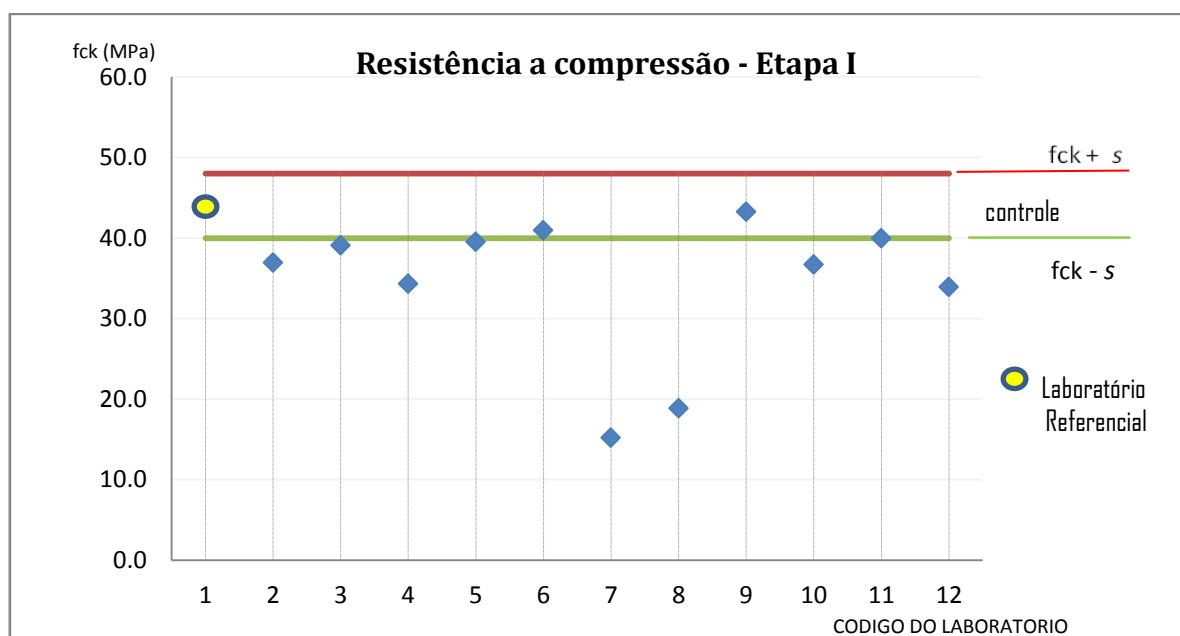
Na Tabela 1 foram tabulados os valores dos ensaios à compressão nas etapas I e II de avaliação e suas respectivas médias. Os resultados do laboratório L01 correspondem aos resultados referenciais.

Tabela 1 – Valores de resistência à compressão.

Valores em MPa	Etapa I de Avaliação			Etapa II de Avaliação		
	Laboratório	$f_{cj\ A1}$	$f_{cj\ A2}$	Média	$f_{cj\ B1}$	$f_{cj\ B2}$
L01	50.56	50.59	50.58	50,73	50.63	50,68
L02	41.30	45.70	43.50	36.30	47.70	42.00
L03	46.90	44.40	45.65	45.30	46.70	46.00
L04	40.70	41.10	40.90	42.20	43.10	42.65
L05	45.40	46.80	46.10	46.00	47.10	46.55
L06	55.90	39.20	47.55	50.70	50.10	50.40
L07	22.30	21.30	21.80	26.80	24.20	25.50
L08	25.90	25.00	25.45	28.00	25.70	26.85
L09	49.50	50.20	49.85	50.40	44.90	47.65
L10	42.60	44.00	43.30	50.80	45.40	48.10
L11	45.50	47.60	46.55	49.80	49.90	49.85
L12	36.95	44.05	40.50	49.35	46.78	48.07

O gráfico da Figura 2 é parte integrante da análise dos resultados pelo ensaio referencial aplicado na Etapa I.

Figura 2 – Dispersão de resultados I



Para a sua construção foram utilizados os preceitos do desvio padrão do controle rigoroso de produção do concreto, Equação 1 da ABNT NBR 12655:2006. A faixa de valores representada neste gráfico foi estabelecida a partir dos resultados dos ensaios referenciais.

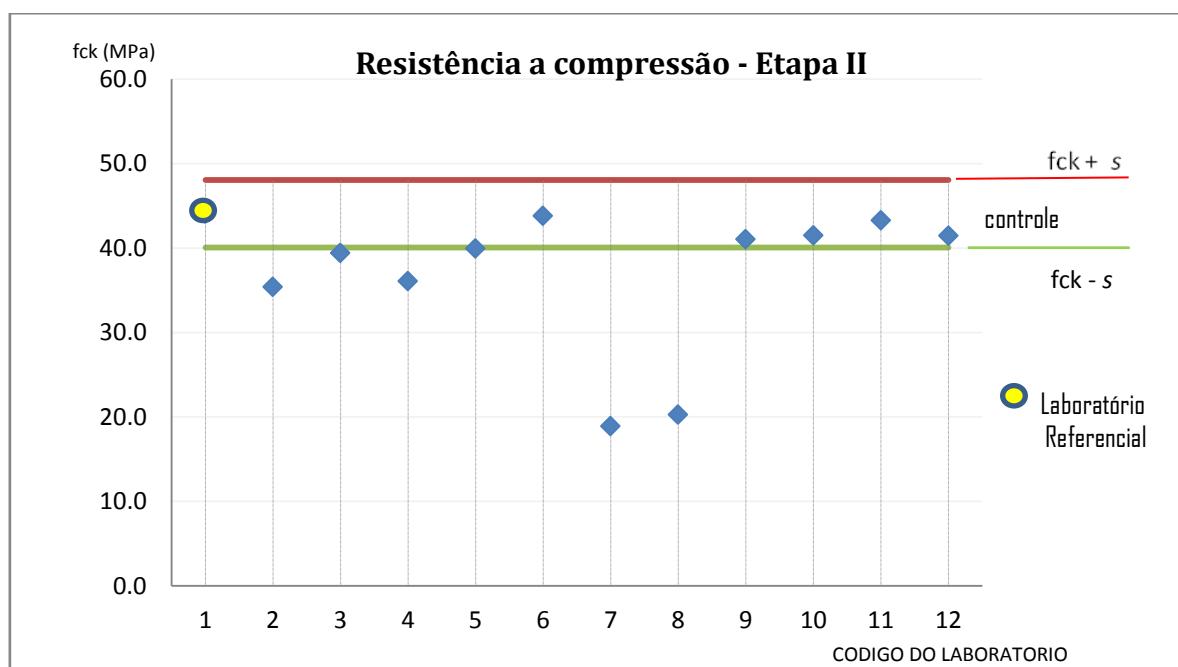
A partir dos resultados dos ensaios referenciais foram determinados os valores médios das resistências características $f_{ck\ I}$ e $f_{ck\ II}$, anotados na Tabela 2, e os valores extremos da faixa de resultados desejáveis, sendo estes obtidos com o valor do desvio padrão referencial normativo igual a 4,0 MPa, para mais e para menos, referente ao controle rigoroso de qualidade.

Com os valores dos ensaios de compressão dos laboratórios foram determinados os valores de resistência característica f_{ck} produzidos por cada um deles e verificadas as condições de ocorrência dentro da condição de resultados desejáveis.

Resultados apresentados dentro da faixa admissível representam uma coerência de resultados com os valores dos ensaios referenciais.

Na Figura 3 foi representado o gráfico pertinente a Etapa II de análise.

Figura 3 – Dispersão de resultados II



A Tabela 2 apresenta a diferença percentual dos resultados estabelecida relativamente ao laboratório referencial e seu coeficiente de variação de ensaio (C_{ve}).

Pelo coeficiente de variação de ensaio é possível verificar a uniformidade procedural no âmbito interno do laboratório, sendo os seus valores referência estabelecidos pela ABNT NBR 5739:2007 cujo limite máximo estabelecido deve resultar menor que 6 %.

Resultados acima deste valor constituem-se em parâmetros indicativos de erro procedural.

Para a interpretação desta tabela vale ainda observar que o valor do desvio padrão fixado em 4,0 MPa corresponde a uma taxa de 10 % do valor da resistência

característica esperada. Este valor, confirmado pelos resultados do laboratório referencial, fazem denotar resultados de alguns laboratórios bastante dispersos quando analisados por este foco de análise.

Tabela 2 - Variação percentual dos resultados dos ensaios de compressão

	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	L12
f_{ck} I (MPa)	44.0	36.9	39.1	34.3	39.5	41.0	15.2	18.9	43.3	36.7	40.0	33.9
Variação (%)	0.0	16.1	11.2	22.0	10.2	6.9	65.4	57.1	1.6	16.5	9.2	22.9
C_{ve} (%)	0.0	7.2	3.9	0.7	2.1	24.8	3.2	2.5	1.0	2.3	3.2	12.4
f_{ck} II (MPa)	44.1	35.4	39.4	36.1	40.0	43.8	18.9	20.3	41.1	41.5	43.3	41.5
Variação (%)	0.0	19.7	10.6	18.2	9.4	0.6	57.1	54.1	6.9	5.9	1.9	5.9
C_{ve} (%)	0.1	19.2	2.2	1.5	1.7	0.8	7.2	6.1	8.2	7.9	0.1	3.8

5 DISCUSSÕES

Os valores obtidos no desenvolvimento deste trabalho permitiram identificar a existência de um grau de variabilidade de resultados para os ensaios de compressão. Houve incidência e reincidência de casos de laboratórios fora da faixa de resultados desejáveis, provavelmente, em função de erros de medição originados na aplicação das metodologias sob a responsabilidade dos laboratórios.

Muito provavelmente, a origem dos erros está relacionada com as ações laboratoriais envolvendo o preparo dos corpos de prova, a aplicação do ensaio propriamente dito e em alguns casos com a falta de calibração dos equipamentos.

As taxas de variação percentual e os coeficientes de variação experimental apresentadas na Tabela 2 demonstram que de forma geral os procedimentos laboratoriais não foram aplicados de maneira consistente e uniforme, condicionando que a confiabilidade dos resultados expressos por seus agentes executores, é questionável.

Para a abordagem dos ensaios de compressão do concreto enquanto agente regulador do processo de sua produção é importante destacar que o nível de confiabilidade verificado constitui-se um elemento que merece atenção. Os custos advindos dos problemas técnicos apresentados por uma estrutura de concreto, e que incluem os valores pertinentes à sua recuperação, às condições de retrabalho e para o descarte de materiais, que hoje constituem um problema ambiental de equacionamento complexo, fundamentam tal posição.

Os laboratórios precisam reconhecer a importância dos ensaios à compressão do concreto para os procedimentos de sua fabricação e também para as questões de qualidade final das estruturas; devendo promover a aplicação dos ensaios, enquanto ferramenta básica do controle de sua qualidade, de forma mais rigorosa, para que por seu intermédio seja possível as ações de equalização dos processos de fabricação do concreto.

Para as análises pertinentes ao controle de qualidade da produção do concreto, ainda é importante destacar que, pelos parâmetros da Equação 1 se faz possível abstrair que desvios padrões excessivos corresponde a ações de busca pela qualidade, inefficientes ou pouco rigorosas. Quanto mais criteriosa for a ação do agente regulador de qualidade no

procedimento de fabricação do concreto, menor será o desvio padrão correspondente. A possibilidade da redução do desvio padrão da Equação 1 garante em termos técnicos que o valor da resistência característica desejável para o concreto, f_{ck} , se aproxime do valor de sua resistência à compressão média, f_{cm} . Quanto menores as discrepâncias entre esses valores melhores serão os resultados produtivos.

Finalmente é conveniente salientar que em função da origem diversa dos materiais que constituem o concreto e de suas propriedades físicas distintas, também são importantes os procedimentos que resultem na melhoria de qualidade da aplicação dos métodos de medição, uma vez por eles ser possível a identificação das divergências dos processos produtivos capazes de interferir no melhor aproveitamento do material.

6 CONCLUSÕES

O ensaio à compressão do concreto corresponde a uma importante ferramenta de seu controle tecnológico. A sua correta aplicação favorece a verificação da qualidade dos processos de fabricação do concreto e de suas estruturas, podendo de forma indireta contribuir com os temas de conservação ambiental. Neste trabalho foram desenvolvidas avaliações acerca da qualidade dos ensaios à compressão enquanto ferramenta do controle de qualidade de sua produção. Por ele, foram verificados os estados indesejáveis para as condições de sua confiabilidade. As medições apresentadas pelos laboratórios avaliados demonstraram uma incongruência de resultados que corroboram negativamente com o desenvolvimento do setor. O trabalho envolveu a moldagem de corpos de prova e aplicação de ensaios de compressão em dois momentos distintos de avaliação através da comparação de resultados. Por seu intermédio foi possível compreender como o ensaio à compressão pode auxiliar a solução de problemas relativos a qualidade da produção do concreto e de maneira adicional contribuir para a solução de alguns problemas ambientais ligados ao descarte de materiais, sendo estas as principais contribuições para o desenvolvimento da ciência e tecnologia, e em cujos temas de mesma natureza residem as sugestões de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL – ABESC – **Manual do Concreto Dosado em Central** – São Paulo, 2007. 36p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-6023**: Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.
- _____. **NBR 12655**: Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. **NBR 5739**: Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2007.
- BRANDT, W. **Avaliação de cenários em planos de fechamento de minas**. In: DIAS. L.E.; MELLO, J.W.V. (Eds.). Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, MG: UFV/DPS/Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998.p.131-134.
- GIDRÃO, S.S.; SANTOS, A.C.D.; **Avaliação da Uniformidade e Qualidade do Controle Tecnológico do Concreto Efetivado em Laboratórios**. In: Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto CBC 2013. Anais: IBRACON-2013. ISSN 2175-8182

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto.** São Paulo: PINI, 1995.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHINE, R. N. Produção de cimento : Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade Em Debate**, v. 3, n. 1, p. 75–96, 2012. Brasília.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: Ibracon, 2008.

MELHADO, Silvio B., OLIVEIRA, Otávio J. **Gestão da Qualidade Tópicos Avançados.** 1 ed. São Paulo: CENGAGE Learning. 2009, 243.p ISBN13: 9788522103867.

ROCHA, L.J.J, **Qualidade na Construção Civil - Conceitos e Referenciais.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PMI, 1993. São Paulo, 1993 – ISSN 0103-9830.