

A survey of the mechanical properties of concrete for structural purposes prepared on construction sites

Um estudo das propriedades mecânicas do concreto para fins estruturais preparado em canteiros de obras

R. R. J. RIBEIRO ^a
rosane_ribeiro25@hotmail.com

H. J. F. DIÓGENES ^b
hidelbrando@ct.ufpb.br

M. V. NÓBREGA ^c
marcilenenobrega@ufersa.edu.br

A. L. H. C. EL DEBS ^d
analucia@sc.usp.br

Abstract

This paper aims to study the concrete dosage conditions for structural purposes in construction sites, and the impacts of non-compliance of structural concrete for structural safety, having as study case the city of Angicos / RN. Were analyzed the dynamic elasticity modulus, static elasticity modulus and the compressive strength of concrete samples. Was conducted to collect the survey data, a field research aiming to gather information about dosage of concrete used in the works, as well as the collection of cylindrical specimens of 150 mm diameter by 300 mm of height, prepared according to practice of those professionals. The study indicated a clear necessity to reflection on the subject, since there is no concern, or even, a lack of knowledge by the interviewed professionals regarding the care and procedures necessary for the production of concrete with satisfactory quality, once at least 50% of evaluated construction sites presented compressive strength lower than 20 MPa, minimal strength to structural concrete, as recommended by ABNT-NBR 6118:2014.

Keywords: concrete, mechanical properties, technological control, construction site.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo estudar as condições de dosagem do concreto para fins estruturais, produzido em canteiros obras, assim como avaliar a influência do controle tecnológico nas propriedades mecânicas do concreto e os impactos da não conformidade do concreto estrutural para a segurança estrutural, tomando como estudo de caso a cidade de Angicos/RN. Para tal foram analisadas propriedades como: módulo de elasticidade dinâmico, módulo de elasticidade estático e resistência à compressão. Foi realizado, para coleta dos dados, pesquisa de campo com intuito de coletar informações sobre a execução do concreto empregado nas obras, assim como a moldagem de corpos de prova cilíndricos de 150 mm de diâmetro por 300 mm de altura, obtidos de misturas dosadas conforme a prática dos profissionais ali presentes. O estudo indicou a evidente necessidade de reflexão sobre o tema exposto, visto que não há preocupação, ou ainda, falta conhecimento por parte dos profissionais em relação aos cuidados e procedimentos necessários para produção de concretos com qualidade satisfatória, dado que, pelo menos, 50% das obras avaliadas apresentaram resistências à compressão inferiores a 20 MPa, resistência mínima para concretos estruturais, conforme preconiza a ABNT-NBR 6118:2014.

Palavras-chave: concreto, propriedades mecânicas, controle tecnológico, canteiro de obra.

^a PEC-UFRN, Angico, RN, Brasil;

^b Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, João Pessoa, PB, Brasil;

^c Universidade Federal Rural do Semiárido, Departamento de Ciências Exatas, Humanas e Tecnológicas, Angico, RN, Brasil;

^d Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, SP, Brasil.

1. Introdução

O vasto uso do concreto como material de construção imputa ao meio técnico a preocupação em relação a sua qualidade, sendo esta caracterizada quando algumas propriedades predefinidas, como por exemplo, o módulo de elasticidade, resistência à compressão, trabalhabilidade, atendem aos requisitos de desempenho e segurança estrutural impostos nas normas vigentes. No entanto, muitos fatores podem interferir no nível de qualidade e conseqüentemente em suas propriedades, visto que seu comportamento está diretamente associado à dosagem, tipo de material utilizado e ao processo de produção.

A escolha dos materiais componentes do concreto é o princípio da busca por concretos com características específicas que resulte no desempenho desejado, é necessário que esses materiais sejam armazenados de forma que não haja contaminação. O passo posterior é a dosagem do concreto, por meio do qual é obtida a proporção ideal entre os componentes [14].

A NBR 12655: 2006 [5] especifica os procedimentos para preparo, controle e recebimento do concreto de cimento Portland, estabelecendo dois tipos de dosagem: dosagem empírica e dosagem racional e experimental. No primeiro modo de dosagem, o traço pode ser estabelecido empiricamente para o concreto da classe C10, com consumo mínimo de cimento 300 kg/m³.

No que tange a dosagem racional e experimental, esta é realizada para composição de concreto de classe C15 ou superior, sendo o estudo de dosagem realizado com os mesmos materiais e em condições análogas à obra, com base nas prescrições do projeto e condições de execução, devendo ainda, o cálculo da dosagem ser feito cada vez que houver mudança de marca, tipo ou classe do cimento, na procedência e qualidade dos agregados e demais materiais.

A NBR 12655: 2006 [5] além de determinar condições para o preparo da mistura e verificações para recebimento do concreto, estabelece as responsabilidades dos profissionais envolvidos com o desempenho final do material, assim como fornece os critérios de aceitação do concreto tanto produzido na obra quanto em central. Esses critérios estão relacionados aos ensaios de consistência e resistência à compressão ou outros ensaios específicos caso seja necessário, de modo que seja verificado o grau de satisfação do concreto em relação ao seu desempenho e durabilidade frente às condições de exposição da estrutura.

No entanto, diferente do que ocorre nas obras de grande porte, que geralmente realizam acompanhamento tecnológico do concreto e dos aspectos da produção desde a escolha dos materiais constituintes até aos processos de cura e desformas, as obras de pequeno e médio porte, na maioria das vezes, negligenciam as especificações normativas referentes ao controle tecnológico do concreto, inclusive com a conivência dos responsáveis por esta [12].

Em pesquisa realizada no ano de 2008 em obras de pequeno e médio porte, sob os procedimentos utilizados na produção dos concretos na região do Centro-Sul de Sergipe, Gomes Neto et al. [12] relata que os resultados obtidos foram bastantes negativos. Visto que, apesar de não ser esperado que as obras do interior do Estado obtivessem configuração do controle tecnológico semelhante às obras de maior porte situadas na capital, imaginava-se que houvesse cuidados básicos, como o controle da adição da água de amassamento e confirmação da resistência à compressão aos 28 dias, visto que as obras possuíam acompanhamento de profissionais qualificados.

Matta et al. [15], também em pesquisa realizada, intitulada: “Estudo comparativo do desempenho técnico e financeiro entre os concretos preparados na usina e na obra”, destaca que os resultados obtidos indicaram que há grande influência do desempenho humano sobre as características do concreto, principalmente se não forem tomados os cuidados no preparo e controle.

1.1 Objetivos

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo principal estudar as condições de confecção do concreto utilizado com finalidade estrutural produzido em canteiros de obras de pequeno e médio porte, objetivando avaliar a influência do controle tecnológico nas propriedades mecânicas do concreto e discutir com a literatura técnica sobre os impactos da não conformidade do concreto estrutural para a segurança estrutural. Ainda é objetivo, alertar a comunidade instalada no entorno da Universidade Federal Rural do Semiárido Campus Angicos (UFERSA – Angicos), acerca dos riscos associados à má gestão tecnológica do concreto.

Para tanto, propõe-se atingir os objetivos propostos por meio da avaliação experimental do módulo de elasticidade dinâmico, do módulo de elasticidade estático e da resistência à compressão, bem como pela divulgação dos resultados encontrados.

2. Materiais e programa experimental

O programa experimental que será apresentado nos itens seguintes do presente estudo é resultado da pesquisa desenvolvida no período de conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil da aluna Rosane Rayanne Jota Ribeiro, da Universidade Federal Rural do Semiárido, Campus Angicos. Também bolsista voluntária do Projeto intitulado *Resposta Acústica: Uma alternativa para o controle tecnológico do concreto, da argamassa e da cerâmica da cidade de Angicos e Região*.

2.1 Caracterização da área de estudo

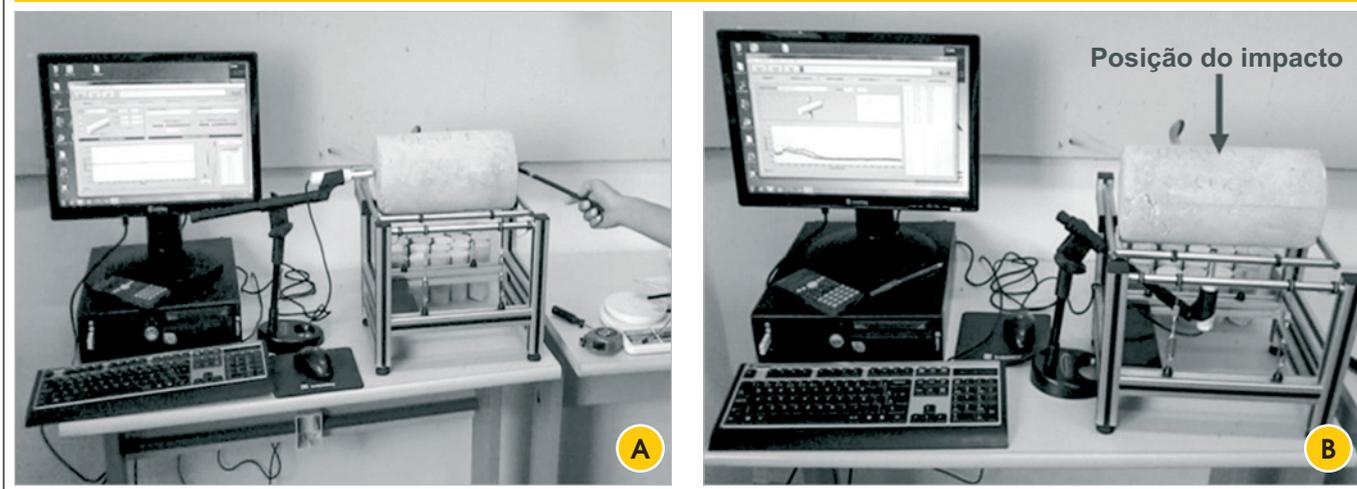
As obras estudadas estão localizadas no Município de Angicos/RN, localizado no Sertão Central Potiguar, com área de 741,65 km² e população estimada de 11.549 habitantes [13]. A pesquisa foi desenvolvida no período que compreende os meses de abril à julho do ano de 2014.

2.2 Seleção das obras

Foram selecionadas 10 obras, dentre edificações residenciais, comerciais e públicas. Estas foram catalogadas e em seguida aplicado o formulário para obtenção de informações necessárias ao estudo. As questões abordadas no formulário foram:

- i. Quem é o proprietário da construção?
- ii. De que se trata a construção e qual o prazo de entrega?
- iii. A obra tem um responsável técnico? Caso tenha, de que forma ele acompanha a construção?
- iv. Qual a finalidade (s) e traço (s) do concreto utilizado na obra?
- v. Quem e de que forma foi determinado (s) o (s) traço (s)?
- vi. É realizado algum controle tecnológico do concreto?
- vii. O concreto é produzido na obra?
- viii. Qual o tipo de aglomerante, areia e brita utilizado na produção

Figura 1 – a) Ensaio para obtenção do módulo dinâmico longitudinal, b) Ensaio para obtenção do módulo dinâmico flexional



- do concreto? Em qual jazida foram adquiridas a areia e brita?
- ix. A mistura do concreto é manual ou mecânica? Como se dá o processo de mistura dos componentes do concreto?
 - x. Como é realizado o armazenamento dos materiais constituintes do concreto (aglomerante, areia, brita e água)?
 - xi. Quais são as dimensões das padiolas de areia e brita?
 - xii. Alguma vez o concreto apresentou algum tipo de anomalia? Caso sim, o que motivou tal anomalia?

2.3 Procedimento de coleta dos corpos de prova

Foram coletados 6 (seis) corpos de prova cilíndricos com dimensões 150 mm de diâmetro por 300 mm de altura, para cada obra avaliada, totalizando uma amostra de 60 corpos de prova. A coleta ocorreu de acordo com a NBR 5738: 2008 [1], sendo sempre realizada pela mesma pessoa.

2.4 Ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump Teste)

Em cada obra participante da pesquisa, verificou-se o abatimento do concreto por meio do ensaio popularmente conhecido como *Slump Test*. Os procedimentos realizados ocorreram como regulamentada a NBR NM 67: 1998 [6] que conduz os procedimentos necessários para a determinação da consistência através do abatimento do tronco de cone (*Slump Test*).

2.5 Ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico

Foram ensaiados todos os corpos de prova coletados, 6 (seis) para cada obra avaliada, utilizando para isso o software Sonelastic®. O Sonelastic® determina os módulos elásticos e

Tabela 1 – Edificações com acompanhamento técnico

| Obra | Tipo de edificação | Acompanhamento do responsável técnico |
|------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Bloco de salas de professores 02 da UFERSA – Angicos | Diariamente |
| 2 | Laboratório da Engenharia Civil da UFERSA – Angicos | Diariamente |
| 3 | Restaurante Universitário da UFERSA – Angicos | Diariamente |
| 4 | Restaurante e Pousada | Duas vezes por semana |
| 5 | Comercio e Casa | Não há |
| 6 | Casa | Não há |
| 7 | Padaria | Duas vezes por semana |
| 8 | Residência Universitária da UFERSA – Angicos | Diariamente |
| 9 | Casa | Mensalmente |
| 10 | Posto de Saúde Municipal | Duas vezes por semana |

amortecimento a partir das frequências naturais de vibração, obtidas pela técnica de excitação por impulso. Este ensaio foi realizado conforme as recomendações da ASTM C215: 2008 [7].

Na técnica de excitação por impulso, para se obter a resposta acústica o corpo de prova é suportado por fios nos pontos nodais, no sentido de vibração de interesse e recebe uma leve pancada que o induz a uma resposta acústica. Essa resposta é composta por uma ou mais frequências naturais de vibração, a partir das quais é calculado o módulo de elasticidade [10]. A Figura [1] demonstra a execução do ensaio.

Cabe ressaltar, que o referido ensaio foi escolhido preferencialmente, por trata-se de ferramenta já disponível no Campus da UFERSA – Angicos, ainda em implantação, adquirido por meio peio de um auxílio a pesquisa do CNPq (nº 409952/2013-3) e por se tratar de um tipo de ensaio relativamente de baixo custo, quando comparado aos convencionais.

2.6 Ensaio para determinação do módulo de elasticidade estático

Após realização dos ensaios não destrutivos para determinação dos módulos de elasticidade dinâmicos, 3 (três) corpos de prova do lote de 6 (seis) coletados em cada obra, foram transportados ao Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), onde foi efetuado o processo de capeamento com enxofre com posterior realização dos ensaios de módulo de elasticidade estático e resistência à compressão. Ressalta-se, que os demais corpos de prova foram preservados desses ensaios, uma vez que é de interesse utiliza-los em pesquisas futuras, como por exemplo, aspectos relacionados a durabilidade.

O ensaio realizado para determinar os módulos de elasticidade estático do concreto foi executado mediante o estabelecido na NBR 8522: 2008 [3] utilizando a metodologia A, sendo utilizado 2 (dois) corpos de prova dos 3 (três) separados para esse fim, pois 1 (um) dos corpos de prova serviu para a estimativa inicial da resis-

tência à compressão, objetivando não danificar os extensômetros do tipo *clip-gage*, em virtude de uma ruptura inesperada do corpo de prova.

2.7 Ensaio para determinação da resistência à compressão

A resistência à compressão do concreto foi determinada pelo ensaio de compressão axial de corpos de prova cilíndricos, de acordo com as exigências requeridas pela NBR 5739: 2007 [2]. Nesse ensaio 30 (trinta) corpos de prova, sendo 3 (três) de cada obra, foram submetidos a compressão axial na prensa servo-hidráulica, EMIC DL-30000 com capacidade de carga de 300kN.

3. Resultados e discussões

3.1 Aplicação do formulário

As 10 obras que fizeram parte da pesquisa apresentaram grande diversidade de função, variando de restaurante universitário, laboratório à residência unifamiliar, como mostra a Tabela [1]. Esta diversidade é resultado do crescente desenvolvimento por qual a cidade vem passando desde o ano de 2009, após ter se tornado polo universitário federal.

As obras que antes se limitavam a residências e poucos pontos comerciais passaram a ter outra finalidade, com intuito de suprir as necessidades por infraestrutura da própria universidade e da nova comunidade Angicana.

Tal fato influenciou uma nova cultura nos processos construtivos, a começar pela implantação de um responsável técnico para acompanhamento da obra. Embora esta prática não ocorra na totalidade dos casos, nem todos os dias, é possível observar um avanço nesta direção e uma tendência crescente de implantação desta prática. Essa tendência é verossímil quando se observa que há um polo gerador de mão de obra qualificada na cidade.

Tabela 2 – Traços adotados e aplicabilidade do concreto

| Obra | Traço 1: a ¹ : b ¹ : a/c ² (em massa) | Responsável por determinar o traço | Método utilizado para determinar o traço | Aplicabilidade do concreto |
|------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 1 : 2,80 : 4,40 : 0,56 | Contratante | Não sabe informar | Fundação, pilar e viga |
| 2 | 1 : 2,90 : 3,64 : 0,56 | Contratante | Não sabe informar | Fundação, pilar e viga |
| 3 | 1 : 2,73 : 5,24 : 0,61 | Engenheiro | Planilha de cálculo de traço | Fundação, pilar e viga |
| 4 | 1 : 2,17 : 2,37 : 0,56 | Engenheiro | Não sabe informar | Fundação, pilar, viga e nervura |
| 5 | 1: 4,35 : 4,75 : 1,08 | Pedreiro | Experiência | Pilar, viga e laje |
| 6 | 1: 4,35 : 4,75 : 1,44 | Servente e pedreiro | Experiência | Pilar e viga |
| 7 | 1 : 4,35 : 4,75 : 0,80 | Engenheiro | Não sabe informar | Fundação, pilar e viga |
| 8 | 1: 3,92 : 4,28 : 0,72 | Mestre de Obra | Experiência | Sapata |
| 9 | 1 : 4,35 : 1,58 : 1,08 | Engenheiro | Não sabe informar | Pilar e viga |
| 10 | 1 : 4,35 : 2,37 : 1 | Engenheiro | Não sabe informar | Pilar |

* Agregados miúdo e graúdo respectivamente; ² Relação água/cimento.

Analisando o panorama nacional acerca da geração de mão de obra de engenharia, segundo estimativas do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (Confea) [8], o Brasil tem um déficit de 20 mil engenheiros por ano. Nesse sentido, o acesso a esses profissionais nas localidades distantes dos grandes centros urbanos, se torna difícil e muitas vezes caro (ou quase inacessível).

Quando comparamos, por exemplo, a renda per capita da cidade de Angicos/RN, R\$334,85, com a renda per capita da capital do Estado, Natal/RN, R\$ 921,29, segundo dados do DATASUS [13], observamos que este é um fator determinante para o acesso ao serviço técnico especializado.

Na Tabela [1] observa-se que o acompanhamento do responsável técnico varia com o porte e caráter da obra. Nas obras públicas 1, 2, 3 e 8, consideradas de maior porte em relação às demais, foi verificada a presença diária de profissional habilitado, enquanto nas obras comerciais 4 e 7, assim como na obra do posto de municipal de saúde, obra 10, acontecem apenas dois dias na semana. Já nas obras 5 e 6, considerada de menor porte, não há profissional técnico e o próprio pedreiro é “responsável” pela construção.

Como se pode observar na Tabela [2], apesar de não haver responsável técnico somente nas obras 5 e 6, somente os traços do concreto praticados nas obras 1, 2, 3 e 4 não infringiam o limite máximo de 0,65 para a relação água/cimento, conforme estabelecido na NBR 6118:2014 [4]. Verifica-se que na obra 6, a relação água/cimento utilizada é, cerca de 122% superior ao limite estabelecido pela Norma. As dosagens adotadas foram distintas em todas as situações, todavia, nas construções 5, 6 e 7 o único parâmetro diferenciado é a proporção de água utilizada.

A Tabela [2] também mostra que em três obras os traços foram definidos por: pedreiro (obra 5), pedreiro e servente (obra 6) e mestre de obra (obra 8), com base na experiência, contudo, cabe ressaltar que esta última possuía responsável técnico diariamente. Na obra 3, diferentemente da obra 8, o Engenheiro responsável determinou a dosagem do concreto fazendo uso de uma planilha de cálculo de traço.

Nos demais casos os traços foram determinados por Engenheiro, no entanto, as pessoas que responderam o formulário não souberam informar qual a metodologia utilizada para a determinação dos traços.

Figura 2 - Disposição dos materiais: a) e c) Materiais dispostos em meio à vegetação, b) Depósito para estocagem de cimento, d) Tambor utilizado para armazenar água



Figura 3 – Disposição dos materiais: a) e d) Reservatórios de água, b) Materiais armazenado em via pública e próximo a entulho, c) Armazenamento da areia



Cabe destacar, que as pessoas que forneceram as informações eram representantes das empresas/pessoas contratadas para executar as obras, todavia, em alguns casos esses representantes eram “responsáveis interinos” (almojarifes, estagiários, pedreiros, etc.), isto é, lideravam a obra na ausência do membro hierárquico superior, já que em nem todas havia a presença de engenheiro responsável. Propositadamente não se restringiu o preenchimento do formulário a engenheiros ou proprietários de maneira a avaliar como de fato acontecia a dosagem.

É de consenso que a forma mais confiável de estabelecer um traço é utilizando os métodos de dosagem já consagrados na literatura, determinado com base nas propriedades dos materiais, na resistência à compressão do concreto e na trabalhabilidade desejada. Ao final deve-se verificar por meio de ensaio se as características do concreto predeterminadas foram atendidas.

Os agregados utilizados na produção do concreto não eram armazenados de acordo com as recomendações da NBR 12655: 2006 [5], ficando vulnerável a contaminação, como mostra as Figuras [2] e [3]. Geralmente, o cimento era disposto em depósi-

tos na obra ou vizinhança. A água utilizada era retida em tanques ou tambores.

A areia predominantemente usada foi grossa e média, enquanto o agregado graúdo consistiu em brita granítica de numerações 0, 1 e 2. O mecanismo de medida dos materiais granulares foram carro de mão, padiolas e até mesmo lata. Já, para a quantidade de água o instrumento usado foi o balde não graduado, com exceção da obra 9 onde a adição da água ocorreu com mangueira, percebe-se, portanto, o completo descontrole sobre o volume de água adicionado na mistura. Para homogeneização do concreto foi utilizado tanto o processo manual como mecânico. A Tabela [3] descreve detalhadamente os materiais e instrumentos empregados para produção do concreto.

Quando questionados se o concreto havia apresentado alguma irregularidade, de imediato todos responderam que não. No entanto, a Figura [4] comprova que 10%, isto é, apenas uma obra (obra 3) havia realizado o controle tecnológico do concreto, até o momento, o que implica em dizer que nas demais obras não se sabe de fato as reais propriedades mecânicas do concreto utilizado.

Tabela 3 – Materiais e instrumentos usados para produção do concreto

| Obra | Areia | Brita granítica | Cimento | Homogeneização do concreto | Instrumento de medidas dos materiais |
|------|---------------|-----------------|----------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Grossa Lavada | Nº 1 | CP IV-32 RS | Mecânica | Padiola e balde |
| 2 | Grossa Lavada | Nº 1 | CP IV-32 RS | Mecânica | Padiola e balde |
| 3 | Média lavada | Nº 1 | CP IV-32 RS | Mecânica | Padiola e balde |
| 4 | Grossa | Nº 1 | CP II Z -32 RS | Mecânica | Lata |
| 5 | Média | Nº 1 | CP IV-32 RS | Manual | Carro de mão e balde |
| 6 | Grossa | Nº 0 | CP IV-32 RS | Manual | Carro de mão e balde |
| 7 | Grossa | Nº 1 | CP IV-32 RS | Mecânica | Carro de mão e balde |
| 8 | Média | Nº 1 | CP II -32 RS | Mecânica | Padiola e balde |
| 9 | Grossa | Nº 0 | CP II Z -32 RS | Manual | Carro de mão e balde |
| 10 | Grossa | Nº 2 | CP II -32 RS | Manual | Carro de mão e balde |

3.2 Slump test

O primeiro parâmetro analisado foi o abatimento do concreto (Figura [5]). Observa-se que 50% das construções preferiam concreto de consistência “um pouco seca”, sendo o menor valor de abatimento, 35 mm, apresentados nas obras 1, 2 e 4. Os restantes optaram por uma consistência mais plástica em busca de maior trabalhabilidade, requerendo assim, maior quantidade de água uma vez que em nenhuma obra foi utilizado aditivo.

Apesar das obras 5 e 6 utilizarem as mesmas proporções de agregados, tiveram pequena diferença de abatimento, porém, considerável divergência em relação a quantidade de água. Além disto, como será demonstrado a seguir a resistência à compressão dos

corpos de prova moldados na obra 7 foram 33% inferior os da obra 6, que também apresentou a mesma relação de materiais secos. Cabe notar que em várias ocasiões, se observou que o balde não era totalmente cheio durante a adição da água, o que tornar ainda mais imprecisa a informação referente ao volume de água utilizado.

A obra 7 obteve o maior abatimento seguida da obra 10, contudo, essa última utilizou 10 litros de água a mais e uma proporção de agregado graúdo menor. Acredita-se que a quantidade de água utilizada na obra 7 foi bem maior que a informada, tendo em vista a contrariedade dos dados apresentados.

Figura 4 – Construções que realizam ou não o controle tecnológico do concreto

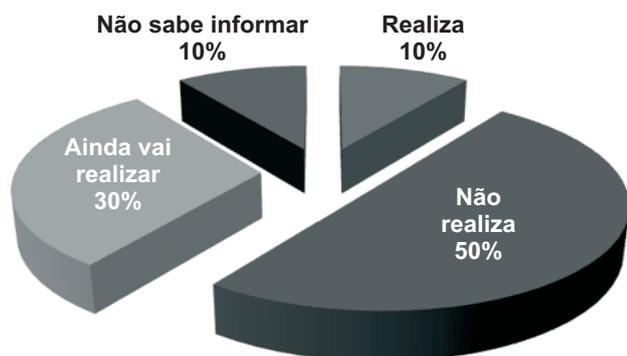
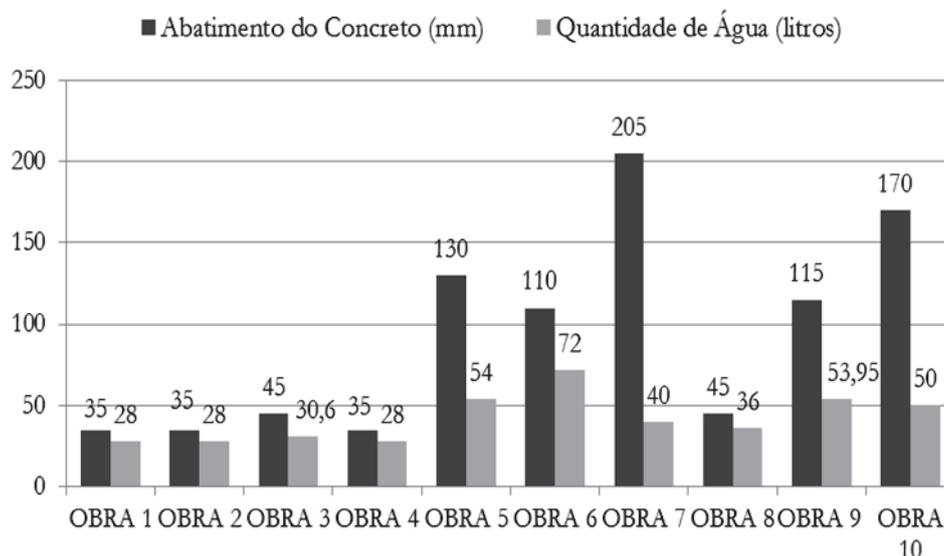


Tabela 4 – Módulo de elasticidade estático proveniente do ensaio

| Obra | E_c^1 (GPa) | D.P. ² (GPa) |
|------|---------------|-------------------------|
| 1 | 18,95 | 0,97 |
| 2 | 20,9 | 0,15 |
| 3 | 17,95 | 0,18 |
| 4 | 25,5 | 1,34 |
| 5 | 15,65 | 0,05 |
| 6 | 18,9 | 1,67 |
| 7 | 16,1 | 0,006 |
| 8 | 23,65 | 0,19 |
| 9 | 15,85 | 0,32 |
| 10 | 14,75 | 2,88 |

¹ Módulo de elasticidade estático obtido no ensaio; ² Desvio padrão.

Figura 5 - Abatimento do concreto e relação água/cimento



3.3 Módulo de elasticidade dinâmico

Na Figura [6] são apresentadas as médias dos resultados obtidos para o módulo elástico dinâmico. Como esperado, os módulos dinâmicos longitudinais foram superiores aos flexionais visto que o concreto possui maior rigidez à compressão que à flexão.

O concreto das obras 7, 9 e 10 são os que possuem menores módulos, enquanto os das obras 2, 4, 6 e 8 representam os maiores. Quanto maior a relação água/cimento do concreto menor foi os módulos de elasticidade obtidos. Observa-se nas obras 6 e 9, que adotaram os mesmos tipos de agregados e dosagens semelhantes, diferenciando somente a proporção de brita e água, obtiveram valores dos módulos de elasticidade dinâmico com diferença de mais 4,7 GPa.

Figura 6 - Média dos módulos de elasticidade dinâmico obtidos a partir das frequências naturais de vibração longitudinal e flexional

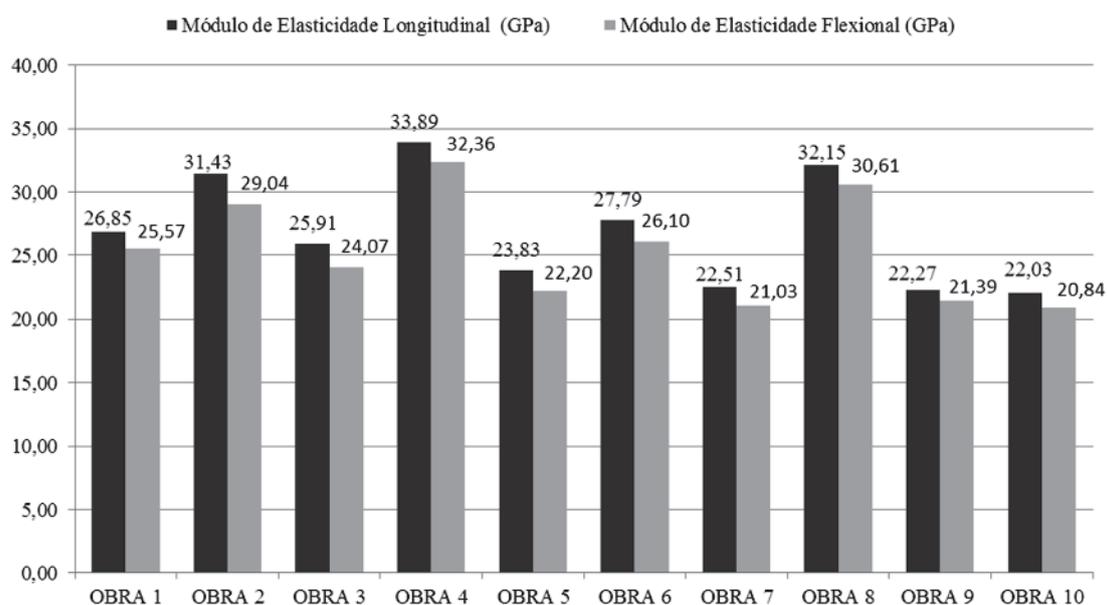


Tabela 5 – Diferença entre os módulos dinâmicos longitudinais e os módulos de elasticidade estáticos

| Obra | Diferença | |
|------|-----------|-------|
| | % | (GPa) |
| 1 | 29,4 | 7,90 |
| 2 | 33,5 | 10,53 |
| 3 | 30,7 | 7,96 |
| 4 | 24,8 | 8,39 |
| 5 | 36,1 | 8,85 |
| 6 | 32,0 | 8,89 |
| 7 | 28,5 | 6,41 |
| 8 | 26,4 | 8,50 |
| 9 | 28,8 | 6,42 |
| 10 | 33,0 | 7,28 |

Os módulos dinâmicos de valores mais expressivos, possivelmente, implicarão em módulos estáticos maiores, e consequentemente em concretos com maior capacidade de suportar cargas sem sofrer deformações permanentes.

3.4 Módulo de elasticidade estático

Na Tabela [4] são apresentadas as médias dos resultados obtidos para os módulos de elasticidade estáticos. Dentre as 10 obras apenas as 2, 4, 8 obtiveram módulos estáticos maiores que 20 GPa. A NBR 6118:2014 [4] informa que a deformação elástica do concreto depende da composição do traço do concreto e natureza dos agregados. Isso é evidenciado através dos resultados da Tabela [4], uma vez que as obras que apresentaram os menores módulos

Figura 7 – Adição incorreta de água ao concreto



estáticos (obras 10, 5, 9, 7, 3, 6, 1 respectivamente) utilizaram dosagens com relações água/cimento mais elevadas e com as maiores proporções de agregados.

Adotar grandes relações de agregados na composição do traço originará concretos de consistência mais seca, requerendo à necessidade de adicionar água à mistura para se adquirir melhor trabalhabilidade, o que implicará uma diminuição no módulo de elasticidade e resistência.

O módulo dinâmico corresponde aproximadamente ao módulo tangente inicial, em geral, é 20, 30 e 40% superior ao módulo de elasticidade estático para concretos de alta, média e baixa resistência, respectivamente [14]. No entanto, os autores não indicam a qual módulo estático de deformação essa relação está associada. A título de comparação, Tabela [5] apresenta a diferença entre os módulos de elasticidade dinâmicos oriundos das frequências

Tabela 6 – Resistência à compressão do concreto

| Obra | Resistência à compressão (MPa) | Desvio padrão | Ed* (GPa) | a/c |
|------|--------------------------------|---------------|-----------|------|
| 1 | 23,46 | 5,45 | 26,85 | 0,56 |
| 2 | 29,32 | 0,47 | 31,43 | 0,56 |
| 3 | 19,44 | 5,08 | 25,91 | 0,61 |
| 4 | 44,48 | 0,94 | 33,89 | 0,56 |
| 5 | 17,42 | 0,83 | 23,83 | 1,08 |
| 6 | 24,76 | 2,63 | 27,79 | 1,44 |
| 7 | 18,6 | 0,16 | 22,51 | 0,80 |
| 8 | 25,31 | 1,50 | 32,15 | 0,72 |
| 9 | 16,45 | 1,33 | 22,27 | 1,08 |
| 10 | 14,48 | 1,66 | 22,03 | 1 |

* Média do módulo dinâmico longitudinal.

de vibração longitudinais e módulos estáticos. Como pode ser observado, os valores assemelham-se aos sugeridos na bibliografia.

3.5 Resistência à compressão

Os valores da resistência à compressão obtidas no ensaio descrito no item 2.7 são apresentados na Tabela [6]. Os resultados variaram de 14,48 MPa (obra 10) à 44,48 MPa (obra 4).

Nota-se que os concretos de resistência à compressão mais elevadas foram aqueles concernentes as obras de médio porte, cujos módulos dinâmicos alcançaram valores mais altos, entretanto, não se pode dizer o mesmo em relação às de pequeno porte.

As obras 4, 2, 8, 6 e 1 respectivamente, obtiveram os maiores valores de resistência, enquanto as outras sequer alcançaram o valor mínimo de 20 MPa imposto na NBR 6118: 2014 [4]. Convenientemente, as obras com concreto de resistência satisfatórias são as que têm acompanhamento diário ou semanal de um responsável técnico, com exceção da obra 6.

Analisando a relação água/cimento (*a/c*) como um dos parâmetros influentes na qualidade do concreto, percebe-se que as obras com concreto de menor resistência à compressão (obras 5, 7, 9 e 10) utilizaram maior proporção de água. Na obra 9, a relação *a/c* pode ser bem maior do que a informada, pois em determinados momentos não havia nenhum tipo de controle da quantidade de água adicionada à mistura, como é observado na Figura [7].

Já a obra 6, apesar de ter a maior relação *a/c* informada, a mesma obteve resultado bastante expressivo no que se refere a resistência do concreto à compressão. Ressalta-se que uma das premissas do estudo era a não interferência do pesquisador no momento do procedimento de mistura/dosagem, eventualmente podem ter acontecido alterações no traço – um acréscimo da quantidade de cimento – por parte dos entrevistados, o que poderia justificar essa variação.

3.6 Uma breve discussão sobre o ônus da ausência de controle tecnológico do concreto

Conforme observado nos itens anteriores, notadamente foi observado um relevante “descontrole” tecnológico do concreto na maioria das obras avaliadas. Nesse sentido, dentro dos objetivos estabelecidos no item 1.1, foi objeto desse estudo o alerta à comunidade instalada no entorno da universidade sobre a problemática associada aos concretos não conformes. Para tanto fora estabelecido dois eixos principais discussão:

I. Sobre a segurança estrutural

É sabido que a não conformidade do concreto pode ocasionar vários problemas, principalmente, de cunho estrutural, uma vez que a resistência à compressão e o módulo de elasticidade são parâmetros primordiais adotados no projeto estrutural para estabelecimento da segurança.

Santiago [17] em seu estudo sobre a não conformidade de concretos produzidos no Brasil e sua influência na confiabilidade estrutural, relata que dentre os elementos estruturais os pilares curtos submetidos à compressão centrada são os mais dependentes da resistência à compressão do concreto. O autor [17] ainda relata que a pesquisa aponta uma redução significativa da confiabilidade

dos pilares curtos em função da não conformidade dos concretos. A redução da confiabilidade da estrutura ou dos elementos estruturais gerada pela baixa resistência à compressão é algo que precisa ser analisado de imediato pelo profissional técnico, de forma a evitar riscos a integridade física e psicológica das pessoas em torno da obra ou até mesmo da edificação concluída, uma vez que a não conformidade do concreto coloca em questão a segurança estrutural.

Cunha et al. [9], em seu trabalho sobre acidentes estruturais na construção civil, apresenta as causas do desabamento de um prédio de 4 (quatro) pavimentos em Volta Redonda/RJ, que ocasionou a morte de 8 (oito) pessoas e deixou 24 (vinte e quatro) feridos. Entre os motivos que ocasionaram a queda da edificação estava a baixa resistência do concreto, gerada, possivelmente, pela utilização de traço incorreto, falta de vibração e cura do concreto. Este fato reitera mais uma vez a necessidade de maior preocupação, controle e fiscalização em relação a utilização de concretos desconformes.

II. Sobre o impacto financeiro na construção

Se por um lado à utilização de concretos em desconformidades pode gerar instabilidades na estrutura ao ponto de provocar acidentes, por outro pode levar a sérios prejuízos financeiros. De acordo com Magalhães [16], o concreto não conforme resulta em perdas econômicas relevantes, visto que pode haver necessidade de reavaliação de projeto, extração e ensaio de testemunhos, reforços e até mesmo a demolição da estrutura. Quanto maior a necessidade de concretos com resistências mais elevadas, maior também poderá ser o custo empregado para reparar problemas devido a não conformidade do concreto.

Sobre este aspecto, a título de comparação, tomando por referência a tabela de custo não desonerada fornecida pela Secretária da Infraestrutura do Estado do Ceará (SEINFRA), a produção do metro cúbico de concreto com resistência de 20 MPa custa R\$ 302,52, ao passo que concretos de classe C25 e C30 custam R\$ 309,11 e R\$ 332,98, respectivamente [18]. Já o *gROUT*, largamente usado em reforço de estrutural, necessário na maioria das vezes que a não conformidade do concreto se apresenta, está custando R\$ 4.105,99 incluindo os custos com lançamento e cura [18]. Cabe ressaltar ainda, que a maioria das obras avaliadas no presente estudo foram realizadas com recursos públicos, e que a não conformidade do concreto não deveria acontecer, sob pena dos responsáveis restituírem ao erário público as perdas monetárias oriundas de tal fato. Portanto, analisar de forma precisa os fatores e processos que levam a não conformidade no atendimento aos parâmetros especificados em normas e projetos, surge como importante questão a ser discutida no âmbito da construção civil, uma vez que os danos superam os custos de ações preventivas.

4. Conclusões

Este trabalho avaliou as condições de produção e dosagem do concreto para fins estruturais produzido nos canteiros de obras, por meio da análise de parâmetros do concreto fresco e endurecido, como: abatimento do concreto, módulo de elasticidade e resistência à compressão, o que possibilitou inferir sobre o nível de qualidade do concreto estrutural.

Com base no estudo realizado, verificou-se a relevância da presença de um profissional técnico na obra. Em Angicos/RN, onde se concentrou o estudo, tal fato é comprovado pelos experimentos, que apontam melhorias nas propriedades dos concretos produzidos nas construções que possuíam acompanhamento profissional. Contudo, em alguns casos os traços adotados não foram suficientes para garantir condições mínimas de segurança e durabilidade especificadas em norma.

Os resultados mostraram que em 70% das obras, os módulos de elasticidades estáticas apresentaram valores inferiores a 20 GPa. No entanto, a tabela 8.1 da ABNT-NBR 6118:2014 [4], tem como valor mínimo 25 GPa para o módulo de elasticidade a ser especificado em projeto, o que equivale a resistência de 20MPa. Nesse sentido, apenas 10% das obras avaliadas atenderiam a referida norma, se é claro, a resistência à compressão característica especificada fosse de 20 MPa. Pode-se observar também, que a relação entre os módulos dinâmico e estático assemelhou-se com os valores sugeridos nas bibliografias [14].

Em relação à resistência à compressão do concreto, em 50% das obras obtive-se valores abaixo de 20 MPa. Vale destacar, que só as obras 1, 2, 3, 4 e 8 tinham resistência de projeto especificada, visto que nas outras não havia projeto estrutural. Ainda assim, as obras 1 e 3 não atenderam a resistência de projeto de 25 MPa, enquanto as demais satisfizeram a resistência mínima de projeto, no caso das obras 2 e 8, de 25 MPa, e na obra 4 de 30 MPa. É importante notar que algumas das obras tinham gestão pública e federal, e, teoricamente deveriam passar por rigoroso controle de qualidade.

De forma geral, observou-se que as dosagens do concreto praticadas nas obras, muitas vezes não colaboram para que se tenha trabalhabilidade e propriedades mecânicas satisfatórias. Havendo traços com excesso ou insuficiência de areia, brita e/ou água, ou seja, a desproporcionalidade dos componentes, caracterizada pela ausência de métodos de dosagens eficazes.

Além disso, a qualidade dos materiais utilizados, bem como seu armazenamento, são fatores que podem influenciar no resultado da amostra, assim como, a não correção da umidade dos agregados pode ter acarretado numa maior relação água/cimento. A falta de conhecimento dos profissionais envolvidos no processo de produção, também contribuiu significativamente para alterações na qualidade do concreto.

Assim, acredita-se ser evidente a necessidade de sensibilização da população de uma maneira mais ampla quanto as questões abordadas no estudo, não só do Sertão Central Potiguar onde o estudo foi realizado, visto que o concreto é um material de construção largamente utilizado, com pouco ou nenhum monitoramento de suas propriedades na maioria das obras de pequeno porte. E ainda, que se inclua no espectro de sensibilização a comunidade técnica, especialmente, que a priori tem ignorado os riscos à segurança estrutural e a durabilidade das edificações que podem existir em virtude do não atendimento das exigências normativas.

5. Agradecimentos

Ao CNPq, pelo financiamento do Projeto intitulado, “Resposta Acústica: Uma alternativa para o controle tecnológico do concreto, da argamassa e da cerâmica da cidade de Angicos e Região”. Ao Laboratório de Materiais e Construção da UFRN, pela parceria na realização dos ensaios.

6. Referências bibliográficas

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto: NBR 5738. Rio de Janeiro, 2008.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova: NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade de deformação e da curva tensão-formação: NBR 8522. Rio de Janeiro, 2008.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto armado: NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto - Preparo, controle e recebimento: NBR 12655. Rio de Janeiro, 2006.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: NM 67, 1998.
- [7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C215-08: Standard test method for fundamental transverse, longitudinal and torsional frequencies of concrete specimens. Philadelphia, 2008.
- [8] CONFEA. Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. A falta de Engenheiros. Disponível em: <<http://www.confea.org.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=15360&sid=1206>>. Acesso em: 08 de dezembro de 2015.
- [9] CUNHA, Albino Joaquim Pimenta; et al.. Acidentes Estruturais na Construção Civil. Editora Pini LTDA, Volume I, São Paulo/SP, 1996.
- [10] DIÓGENES, H. J. F.; COSSOLINO, L. C.; PEREIRA, A. H. A.; DEBS, M. K. El; DEBS A. L. H. C. El. Determinação do módulo de elasticidade do concreto a partir da resposta acústica. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, 2011.
- [11] DATASUS. Ministério da Saúde. Sistema Único de Saúde. Renda Média Domiciliar per Capita. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?ibge/censo/cnv/rendabr.def>>. Acesso em: 08 de dezembro de 2015.
- [12] GOMES NETO, David de Paiva; et al.. A situação do controle tecnológico do concreto em Obras da região centro-sul de Sergipe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51, 2009, Curitiba. Anais.
- [13] IBGE. Cidades@. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=240080&search=rio-grande-do-norte|angicos>>. Acesso em: 10 maio. 2014.
- [14] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 2008.
- [15] MATTA, Daniel T.; et al.. Estudo comparativo do desempenho técnico e financeiro entre os concretos preparados na usina e na obra. In: CONGRESSO NACIONAL EM EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 10, 2014, Rio de Janeiro. Anais.
- [16] MAGALHÃES, Fábio Costa. A problemática dos concretos não conformes e sua influência na confiabilidade de pilares de concreto armado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre/RS, 2014. Tese de Doutorado.

- [17] SANTIAGO, Wagner Carvalho. Estudo da (não-) conformidade de concretos produzidos no Brasil e sua influência na confiabilidade estrutural. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, São Carlos/SP, 2011. Dissertação de Mestrado.
- [18] SEINFRA. Secretária da Infraestrutura do Estado do Ceará. Disponível em: <<http://www.seinfra.ce.gov.br/index.php/tabela-de-custos-unificada>>. Acesso em: 09 de dezembro de 2015.