

Ready mixed concrete: variability analysis of the compressive strength and physical properties along the unloading of the truck mixer

Concreto usinado: análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira

R. MASCOLO ^a
rafaelmascolo@yahoo.com.br

A. B. MASUERO ^b
angela.masuero@ufrgs.br

D. C. C. DAL MOLIN ^c
dmolin@ufrgs.br

Abstract

The common practice, in construction sites of the region of Porto Alegre, to collect samples for testing, of the first portion of the concrete discharged from the truck mixer, and the lack of standardization to measure the quality of the mixer and uniformity of mixing and the importance of quality control testing of concrete, this paper aims to examine the uniformity of ready mixed concrete. To achieve the aim was collected samples at five different points along the discharge of ready mixed concrete, for 13 lots of conventional concrete. There was not the formation of a representative profile of compressive resistance as the different collection point and there was not significant variation between the collection points.

Keywords: ready mixed concrete; truck mixer.

Resumo

Visto a prática comum nos canteiros de obra da região de Porto Alegre, de coleta de amostras, para fins de ensaio e moldagem dos corpos-de-prova, logo da primeira porção do concreto descarregado do caminhão betoneira, somada à inexistência de normatização para aferição da qualidade do misturador e uniformidade da mistura e a importância dos ensaios de controle de qualidade dos concretos. O presente trabalho tem como meta analisar a uniformidade de misturas de concreto em caminhão betoneira. A fim de atingir os objetivos realizaram-se coletas de amostras em cinco pontos distintos, ao longo da descarga do concreto do caminhão betoneira, para 13 lotes (amassadas) de concreto convencional. Não houve a formação de um perfil representativo das variações de resistência conforme o ponto de coleta e não foi constatada variação significativa entre pontos de coleta.

Palavras-chave: concreto usinado; caminhão betoneira

^a Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, rafaelfmascolo@yahoo.com.br, Osvaldo Aranha, 99 – Prédio Castelinho, Porto Alegre/RS, Brasil;

^b Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, angela.masuero@ufrgs.br, Osvaldo Aranha, 99 – Prédio Castelinho, Porto Alegre/RS, Brasil;

^c Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, dmolin@ufrgs.br, Osvaldo Aranha, 99 – Prédio Castelinho, Porto Alegre/RS, Brasil.

1. Introdução

O concreto é considerado um dos materiais mais importantes da construção civil atual, além de ser o produto mais fabricado no mundo em termos de volume. Tal relevância atingida por esse composto se deve, basicamente, à excelente resistência à água, facilidade de uso com variedade de formas e tamanhos, baixo custo, disponibilidade em todo o mundo (MEHTA e MONTEIRO [1]) e ao seu potencial de utilização, o qual vem sendo ampliado, ao longo dos anos, com o desenvolvimento tecnológico.

Outro fator que contribuiu muito para a crescente utilização do concreto no mercado mundial, além do desenvolvimento tecnológico, foi a racionalização no processo de produção, que criou uma indústria com as chamadas centrais dosadoras de concreto. Dessa industrialização pode resultar redução de custos e maior capacidade de produção, mantendo o desempenho e a qualidade exigida do concreto. Hoje, nos grandes centros urbanos mundiais, a maior parte do concreto utilizado é produzido em centrais dosadoras¹ e a tendência é que esse processo se torne cada vez mais predominante, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, visto as suas vantagens frente à produção em obra. O concreto dosado em central pode ser misturado na própria central e transportado com caminhão agitador ou misturado durante o transporte por caminhão betoneira, sendo o segundo caso o predominante no país. Tal escolha se deve, provavelmente, à redução de custos na implantação da central de concreto, sem necessidade de misturador fixo, aumento no prazo e distância de transporte e principalmente a questão do tipo de tributação². No entanto, conforme Mehta e Monteiro [1], o controle de qualidade do concreto misturado em caminhão betoneira não é tão bom quanto do produzido em misturador estacionário.

A crescente utilização do concreto, acompanhada da pressão do mercado de construção civil por redução de custos mantendo as exigências mínimas para segurança do projeto, aumentou a importância e necessidade do controle tecnológico do material. O parâmetro normalmente adotado como padrão para verificação do atendimento aos requisitos mínimos de projeto é a resistência à compressão do concreto endurecido, visto que a propriedade é de fácil mensuração, é capaz de expor as alterações na qualidade do material e tem relação com diversas outras propriedades do concreto (NEVILLE [7]; HELENE e TERZIAN [8]).

O controle das propriedades mecânicas é realizado em corpos-de-prova padronizados, moldados e curados conforme prescrições de norma, sendo o ensaio de resistência mecânica executado, em geral, aos 28 dias de idade do concreto. Para fins de aceitação, a partir do resultado é verificado o atendimento às exigências mínimas de resistência de projeto e segurança da estrutura executada.

Os corpos-de-prova devem ser moldados com amostras do concreto coletadas durante a descarga do caminhão betoneira, conforme recomendações da NBR 7212 [9] e NBR NM 33 [10], que preconizam a não utilização, para fins de ensaio, dos 15% iniciais e finais do volume total de concreto da betoneira. Todavia a prática atual, em grande parte dos canteiros de obra, é a retirada da amostra logo da primeira porção de concreto descarregada. Tal procedimento se deve à dificuldade em retirar concreto ao longo da descarga, muitas vezes em locais de difícil acesso, e a maior facilidade e agilidade que se tem de coletar uma única amostra, para o ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump test) e moldagem dos corpos-de-prova para ensaio de resistência à compressão, em local acessível. A NBR 7212 [9] admite a mistura de concreto de uma mesma amassada em determinada betoneira como homogênea para efeito de ensaio e controle sem, no entanto, especificar parâmetros e testes que permitam assegurar a eficiência do misturador quanto a sua função primordial: produzir um concreto uniforme. Além disso, sabe-se que os misturadores de concreto têm desgaste de seus componentes, conforme o uso e, por isso, podem perder a eficiência de modo a não cumprir satisfatoriamente a sua função. Países como EUA e Inglaterra têm normas com diretrizes para avaliação do desempenho das betoneiras, tais como a ASTM C94/C94M [11] e BS 3963 [12], entre outras, o que limita a variabilidade da mistura e garante maior uniformidade dos concretos produzidos.

A NBR 12655 [13] recomenda submeter as betoneiras à comprovação de uniformidade da mistura, sempre que apresentar sinais de heterogeneidade de composição ou consistência durante a descarga, porém não fornece informações mais detalhadas. Já a ABECE [14] faz uma recomendação um pouco mais completa, indicando o controle regular da qualidade das betoneiras através da comparação de resistências entre três pontos de coleta: o primeiro logo após descarga de 15% do volume total, o intermediário no trecho médio da descarga e o último após 85% da descarga. Como controle tem-se que a diferença entre a maior e menor resistência do primeiro e último ponto não deve diferir mais que 15% da resistência da coleta intermediária.

No país não se tem normatização específica para avaliação e controle de qualidade de misturadores, não havendo assim garantia da representatividade das amostras de concreto, mesmo que retiradas dentro dos 70% intermediários do volume total, como recomendado. Essa falta de garantias para uniformidade dos concretos usinados, somada à prática comum de coleta de amostras fora dos padrões recomendados, pode afetar a credibilidade do controle de qualidade, gerando incertezas sobre as avaliações dos lotes e até da segurança das estruturas.

¹ Em países desenvolvidos como EUA e Japão 75 e 71%, respectivamente, do consumo de cimento são utilizados por centrais dosadoras, e em países europeus como Alemanha, Inglaterra e França esse percentual fica acima dos 50% (NRMCA [2]; ERMCO [3]). No Brasil o consumo atual de cimento ainda é pulverizado com 55% das vendas a pequenos consumidores e apenas 18% destinado à produção de concreto usinado. No entanto é possível constatar que o consumo de cimento pelas concreteiras está em pleno crescimento no país desde 2006, quando somente 13% do consumo de cimento eram destinados aos concretos usinados (SNIC, [4]).

² Ao misturar os constituintes do concreto (cimento, agregados, água e eventualmente aditivos e adições) em caminhão betoneira ao longo do trajeto entre a central de dosagem e o local de prestação de serviço, as empresas de concretagem são enquadradas como prestadoras de serviço e assim sujeitas apenas à incidência do ISS (Imposto sobre serviço), enquanto que ao realizar a mistura em equipamento estacionário dentro da central de dosagem, ou seja, fora do local de prestação de serviço, o concreto passa a ser tratado como uma mercadoria e então há incidência de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços). Para as empresas de concretagem a alíquota do ISS na cidade de Porto Alegre é de 4% sobre o valor da nota fiscal, enquanto o ICMS é de 17% (Imposto estadual com alíquota base para o Rio Grande do Sul), o que corrobora a preferência das concreteiras (BRASIL - Lei complementas n 116 [5]; SEFAZ-RS [6]).

Visto a prática comum de coleta de amostras diferir da preconizada por norma, da falta de recomendações para aferição da qualidade do misturador e da importância dos ensaios de controle de qualidade dos concretos para atestar a segurança das estruturas, o presente trabalho tem como meta analisar a uniformidade de misturas de concreto em caminhões betoneira, durante a descarga do material, de forma a determinar se há variação significativa na resistência à compressão e em propriedades físicas. A investigação desse tema contribui com os estudos sobre controle de qualidade do concreto e destaca a necessidade de complementação na normatização vigente, a fim de elevar a confiança sobre a qualidade e segurança das estruturas de concreto.

2. Materiais e programa experimental

Visando analisar a uniformidade das misturas de concreto utilizado definiram-se as variáveis de resposta para a pesquisa como sendo a resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo. Como variável controlável foram definidos 5 pontos de coleta de amostras ao longo da descarga do material do caminhão betoneira e o traço utilizado foi de concreto convencional.

Em virtude da proposta do trabalho, que visa analisar misturas de concreto em caminhão betoneira, a coleta das amostras foi realizada fora do ambiente de laboratório, com os veículos em serviço normal, assim não se teve controle sobre aspectos meteorológi-

Tabela 1 – Dados de ensaio de abatimento de tronco de cone, resistência à compressão e teor de agregado graúdo

Ponto Coleta	Amostra	Slump (cm)	Teor agregado (%)	Cp1 (MPa)	Cp2 (MPa)	Cp3 (MPa)	Amostra	Slump (cm)	Teor agregado (%)	Cp1 (MPa)	Cp2 (MPa)	Cp3 (MPa)
1-início		14,5	50,4%	47,79	47,21	47,18		17,0	44,3%	45,27	44,8	44,12
2-terço inicial		14,0	47,9%	49,38	49,25	47,18		16,5	42,5%	44,89	44,78	43,25
3-terço médio	A1	13,5	48,9%	47,94	47,82	47,79	A2	15,5	41,6%	44,25	43,73	42,17
4-terço final		13,0	48,3%	49,37	48,28	47,29		16,5	43,7%	43,66	43,44	41,09
5-final		12,0	49,3%	48,06	47,91	46,58		16,5	40,7%	44,94	44,59	42,72
1-início		13,0	36,6%	53,18	52,54	51,97		13,0	37,9%	49,35	47,43	45,56
2-terço inicial		13,5	39,5%	51,81	51,78	51,23		12,5	34,3%	51,74	51,14	49,56
3-terço médio	A3	11,5	39,3%	53,38	52,43	51,91	A4	11,5	35,6%	50,64	49,15	43,67
4-terço final		12,0	38,4%	52,91	52,43	51,49		11,5	35,5%	50,81	49,54	45,82
5-final		11,5	38,5%	53,23	53,16	52,9		10,0	38,2%	52,18	51,64	50,37
1-início		12,5	43,7%	50,3	48,54	45,93		12,5	46,0%	48,802	46,905	44,835
2-terço inicial		9,5	40,8%	54,16	52,31	52,09		14,5	45,4%	48,56	46,02	45,71
3-terço médio	A5	9,5	44,9%	54,36	53,60	47,00	A6	11,0	45,6%	47,57	47,32	46,51
4-terço final		9,5	41,2%	54,67	54,56	53,23		9,5	44,9%	51,19	50,97	48,51
5-final		8,5	43,5%	52,23	50,86	50,34		10,5	42,0%	50,82	48,09	45,16
1-início		8,5	45,3%	54,77	51,50	50,14		17,5	40,9%	49,36	46,29	45,81
2-terço inicial		8,5	43,2%	56,56	55,50	51,22		17,0	38,3%	49,74	49,59	48,66
3-terço médio	A7	8,5	42,7%	55,61	54,76	54,57	A8	16,5	39,9%	47,71	47,64	47,47
4-terço final		8,0	42,6%	53,24	53,09	50,97		15,5	40,5%	49,46	48,43	45,68
5-final		7,0	44,4%	56,28	53,98	51,07		13,5	44,0%	48,92	48,49	47,65
1-início		11,0	43,3%	48,69	47,36	47,17		8,5	44,7%	39,12	38,75	38,33
2-terço inicial		12,5	41,6%	47,26	46,22	45,98		11,5	43,2%	35,49	35,35	35,26
3-terço médio	A9	12,0	41,7%	46,54	44,99	44,51	A10	11,0	43,5%	35,73	35,14	33,03
4-terço final		10,5	41,8%	46,46	45,02	44,83		11,0	43,8%	36,9	35,87	35,26
5-final		10,0	44,6%	47,47	46,97	46,64		8,5	45,6%	35,68	35,39	34,69
1-início		15,5	38,7%	46,97	45,35	42,53		11,0	37,0%	53,35	51,67	50,23
2-terço inicial		15,0	37,8%	46,88	45,57	44,69		10,5	35,0%	53,65	52,44	50,17
3-terço médio	A11	14,0	37,0%	47,81	45,96	45,40	A12	11,0	36,5%	52,36	51,32	51,32
4-terço final		12,0	38,7%	48,50	48,21	47,72		12,0	34,2%	51,81	50,89	50,78
5-final		12,0	42,4%	48,04	47,09	46,84		12,0	37,4%	51,65	50,19	49,14
1-início		13,0	45,2%	45,02	43,75	43,37						
2-terço inicial		13,0	44,2%	44,55	44,05	43,69						
3-terço médio	A13	12,0	43,5%	43,95	43,74	42,7						
4-terço final		12,0	40,6%	44,63	43,09	42,62						
5-final		9,5	43,0%	45,78	44,88	43,98						

cos, como temperatura e umidade relativa, e sobre o tempo de mistura e número de rotações da betoneira.

O concreto utilizado na pesquisa tinha traço especificado com resistência de 35MPa para idade de 28 dias, consistência de 120 ± 20 mm e agregado graúdo com D_{\max} : 9,5mm. O traço fornecido pela concreteira em nota fiscal (NF), para 8m^3 foi: CPV-ARIRS - 2600kg, POZOLANA - 468kg, AREIA FINA - 1472kg, AREIA MÉDIA - 4552kg, BRITA 0 - 8648kg, ÁGUA - 1520l, ADITIVO POLIFUNCIONAL - 26,00kg. Em proporção unitária, na ordem aglomerante, areia, brita e relação a/c, o traço é: 1:1,964:2,819:0,495. Para cada um dos 5 pontos de coleta por amassada (lote) foi realizada: (1) determinação do abatimento de tronco de cone conforme as especificações da NBR NM 67 [15], (2) moldagem e ensaio de compressão axial de corpos-de-prova, seguindo as prescrições da NBR 5738 [16] e NBR 5739 [17] e (3) determinação do teor de agregado graúdo conforme as recomendações da ASTM C94/C94M [11].

Considerando que o objetivo principal da pesquisa é verificar a variabilidade da resistência à compressão e de propriedades físicas de concretos usinados dentro de um mesmo lote, tem-se na coleta das amostras de diversas amassadas uma das etapas fundamentais para o desenvolvimento do trabalho. Na pesquisa, cada lote é definido como o volume de concreto de uma mesma amassada, assim os lotes tem entre 7 e 8m^3 , que é a capacidade máxima dos caminhões betoneiras utilizados na região.

Para realização dos ensaios foram retiradas cinco amostras de concreto fresco em cada um dos treze lotes: uma logo no início da descarga (ponto 1), outra no terço inicial (ponto 2), a terceira no terço médio (ponto 3), a penúltima no terço final (ponto 4) e a última próximo ao final da descarga (ponto 5). Em termos percentuais, os pontos amostrais descritos anteriormente foram coletados, aproximadamente, após a descarga de 5%, 25%, 50%, 75% e 95% do volume total do caminhão betoneira.

Durante a descarga do concreto não se tinha precisamente o real volume descarregado, então os pontos de coleta foram determinados a partir da experiência do responsável pela operação de amostragem, assim os pontos reais de coleta variam em torno dos percentuais citados anteriormente.

A coleta das amostras de concreto foi efetuada no canteiro de obras, diretamente no local de descarga, em baldes de 20l, sem interrupção do fluxo de descarga do material. Utilizou-se uma pá para auxiliar na coleta devido à impossibilidade de deslocar a calha. Tão logo o término das coletas, as amostras, devidamente armazenadas, cobertas e identificadas, eram encaminhadas para o local de ensaio, moldagem e preparação das amostras, dentro do canteiro de obras. Inicialmente, na primeira porção coletada do ponto em questão, era realizado ensaio de abatimento de tronco de cone, moldagem dos corpos-de-prova e preparação de amostras para posterior lavagem fora do canteiro de obras. Os mesmos procedimentos ocorriam para as porções dos pontos seguintes, obedecendo a ordem de coleta. Assim, o ponto inicial era ensaiado primeiro, seguido do segundo, terceiro, quarto e do último, que, por consequência, permanecia um maior tempo armazenado.

Cada exemplar, representativo de um ponto de coleta, era composto por três corpos-de-prova, ou seja, um a mais que preconizado pela NBR 12655 [13], e normalmente realizado em controle de qualidade. Essa escolha sobre o número de corpos-de-prova foi adotada visando obter maior segurança para os resultados e para avaliação da uniformidade e eficiência das operações de ensaio e controle.

Para determinação do teor de agregado graúdo separou-se uma amostra por ponto, com volume em torno de 2l, a partir da amostra principal de 20l, na qual se adicionava retardador de pega para que a mistura permanecesse em estado fresco por longo período, até o seu transporte para laboratório.

A lavagem das amostras de concreto fresco, para determinação do teor de agregado graúdo, era realizada em laboratório devido à necessidade de balança de precisão não disponível na obra usualmente. Para determinação do teor de agregado graúdo, a amostra era pesada integralmente e então encaminhada para lavagem com água corrente sob a peneira de malha 4,8mm. Após, o material retido permanecia na peneira até perder todo excesso de água e posteriormente era pesado, conforme recomendação da ASTM C94/C94M [11].

A moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos, de dimensões 9,5 x 19 cm (embora fora do padrão usual de 10 x 20 cm mantém a proporção de 1:2), foi realizada com adensamento manual com haste metálica, conforme as recomendações da NBR 5738 [16].

Os exemplares permaneciam por um período de 24 horas no canteiro de obras, protegidos da exposição direta aos raios solares pelo cobrimento com compensado de madeira, sendo então transportados para laboratório, onde eram desmoldados e identificados. Após essas etapas os corpos-de-prova eram encaminhados para cura submersa em água saturada com cal, dentro de câmara úmida com temperatura de $23\pm 2^\circ\text{C}$.

Um dia antes da data de ruptura os exemplares eram retirados da cura para preparação das bases antes do ensaio à compressão. Os corpos-de-prova de uma mesma amassada eram sempre desmoldados, colocados e retirados da cura, preparados para ensaio de resistência à compressão, e ensaiados em curtos períodos de tempo para reduzir qualquer possível influência de outros fatores.

3. Resultados e discussões

Na tabela 1 são apresentados os resultados de abatimento de tronco de cone, de resistência à compressão e teor de agregado graúdo para cada um dos 5 pontos analisados em cada um dos 13 lotes de concreto usinado. A figura 1 mostra as variações de re-

Figura 1 - Resistência à compressão dos corpos-de-prova

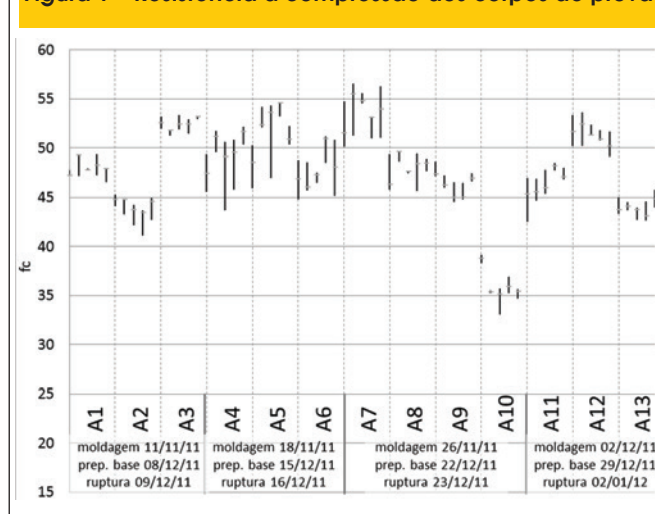
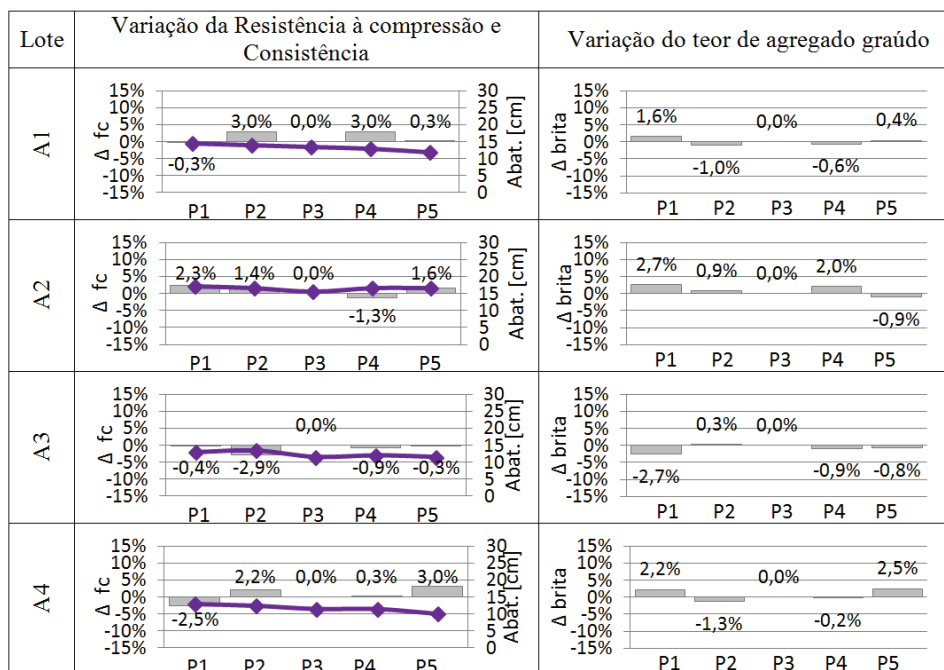


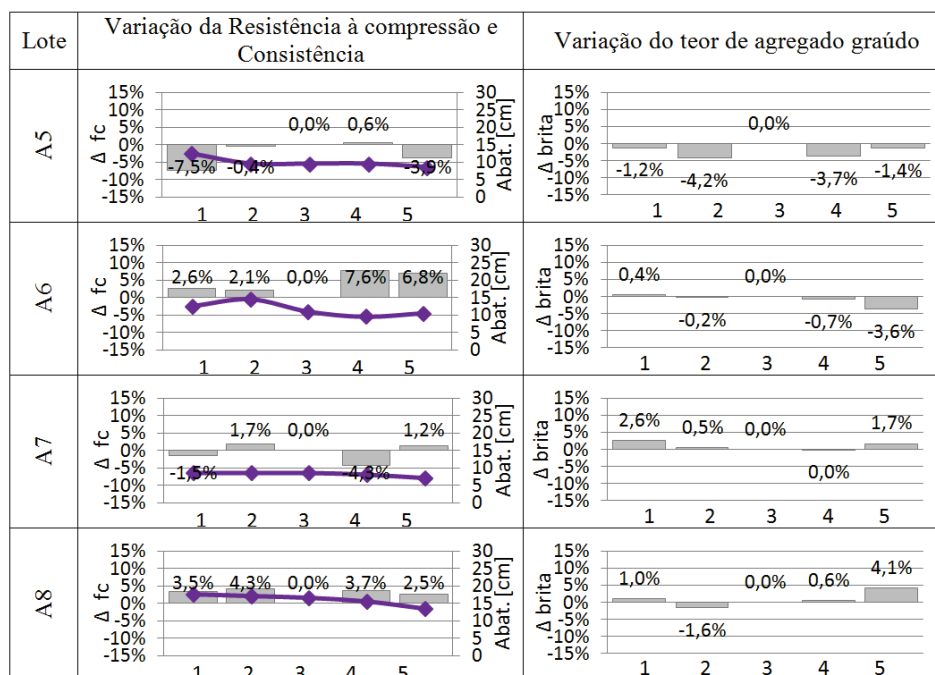
Figura 2 – Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – lotes 1 à 4



* P1 a P5 correspondem aos pontos de coleta dentro de cada lote

* Os percentuais de variação de resistência à compressão são referentes a resistência potencial de cada ponto de coleta em relação ao ponto central (P3), toma do como referência.

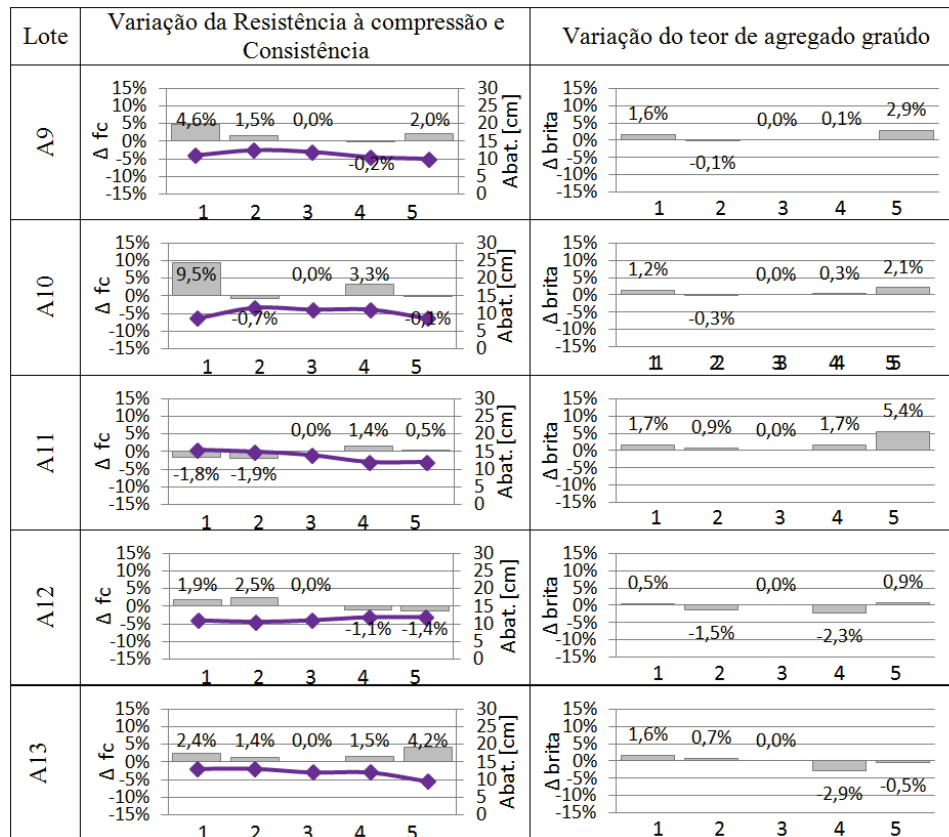
Figura 3 – Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – lotes 5 à 8



* P1 a P5 correspondem aos pontos de coleta dentro de cada lote

* Os percentuais de variação de resistência à compressão são referentes a resistência potencial de cada ponto de coleta em relação ao ponto central (P3), toma do como referência.

Figura 4 – perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – lotes 9 à 13



* P1 a P5 correspondem aos pontos de coleta dentro de cada lote

* Os percentuais de variação de resistência à compressão são referentes a resistência potencial de cada ponto de coleta em relação ao ponto central (P3), toma do como referência.

sistência à compressão, onde cada linha de pontos representa os resultados dos três corpos-de-prova que compõem cada um dos cinco exemplares de cada lote, sendo nas extremidades superior e inferior a resistência mais alta e mais baixa, respectivamente, e no ponto central o valor intermediário dos corpos-de-prova irmãos. O lote com valor médio menor atingiu 36,7 MPa, enquanto o maior 55,3 MPa, o que representa uma amplitude da ordem de 18,6 MPa, valor esse da mesma ordem de grandeza do encontrado em outros trabalhos do gênero, como o de BORGES [18], em que a

variação de resistência para um concreto de 30 MPa, mistura em caminhão betoneira, foi de 19,2 MPa.

A fim de facilitar a compreensão dos dados, apresentam-se as figuras 2 a 4, com os resultados de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo para cada um dos cinco pontos de amostragem dos lotes ensaiados.

Nas figuras 2 a 4, os resultados de abatimento de tronco de cone são apresentados na unidade de "cm" tendo sua variação possível, conforme os limites do ensaio de abatimento de tronco de cone, de 0 a 30cm. Quanto aos resultados de resistência à compressão utilizou-se o maior valor obtido entre os três corpos-de-prova que compõem cada exemplar, ou seja, cada ponto está representado pela resistência potencial.

Para os dados de resistência à compressão e teor de agregado graúdo, adotou-se, para cada um dos lotes, o terceiro ponto de amostragem, retirado da porção central da descarga, conforme o preconizado por norma, como referência para representar a variação entre os pontos de coleta de cada amostragem. Assim tem-se representado as diferenças percentuais dos pontos 1, 2, 4 e 5 em relação ao ponto central.

A partir dos comparativos apresentados nas figuras 2 a 4 percebe-se a ausência de um perfil determinado que possa representar as variações da resistência à compressão ao longo da descarga do concreto. Há perfis constantes, com diferenças inferiores a 2%

Tabela 2 – Resumo do percentual de ocorrência da resistência à compressão de cada ponto em relação ao ponto P3

Faixas	P1	P2	P3	P4	P5
<-10%	0%	0%	-	0%	0%
-5-10%	8%	0%	-	0%	0%
até -5%	38%	31%	-	38%	31%
até 5%	46%	69%	-	54%	62%
5 a 10%	8%	0%	-	8%	8%
>10%	0%	0%	-	0%	0%

Tabela 3 – Resumo do percentual de ocorrência da consistência de cada ponto em relação ao ponto P3

Faixas	P1	P2	P3	P4	P5
<-4cm	0%	0%	0%	0%	0%
-2-4cm	8%	0%	0%	0%	23%
até -2cm	8%	8%	0%	46%	54%
0	15%	15%	0%	31%	8%
até 2cm	62%	69%	0%	23%	15%
2 a 4cm	8%	8%	0%	0%	0%
>4cm	0%	0%	0%	0%	0%

Tabela 4 – Resumo do percentual de ocorrência do teor de agregado graúdo de cada ponto em relação ao ponto P3

Faixas	P1	P2	P3	P4	P5
<-10%	0%	0%	-	0%	0%
-5-10%	0%	0%	-	0%	0%
até -5%	15%	62%	-	62%	38%
até 5%	85%	38%	-	38%	54%
5 a 10%	0%	0%	-	0%	8%
>10%	0%	0%	-	0%	0%

entre os pontos, e outros perfis com altos percentuais de variação, da ordem de 10%, ao longo dos cinco pontos amostrais.

Na tabela 2 é apresentado um resumo, com o percentual de ocorrências, das variações de resistência à compressão de cada ponto em relação ao central, onde percebe-se que mais de 85% das ocorrências estão concentradas nas faixas de $\pm 5\%$ em relação ao ponto central. É possível notar também que há uma tendência de concentração de valores em que a resistência é superior a P3.

Baseado em tais resultados de resistência à compressão não é possível afirmar que as amostras retiradas conforme o preconizado pela NBR 7212 [9] e NBR NM33 [10], em que se excluem os 15% iniciais e finais do volume total de concreto da betoneira para fins de ensaio, tenham a melhor representação do concreto, visto que nem sempre estes pontos apresentam a maior resistência do lote. Considerando a recomendação da ABECE [14] em que a variação de resistência não deve diferir mais de 15% em relação ao ponto central, tem-se que os lotes atendem plenamente a tal critério.

De modo geral é possível perceber nas figuras 2 a 4 que há uma tendência de redução do abatimento ao longo dos 5 pontos de

coletas de cada lote, o que fica mais explícito ao visualizar o resumo das variações de consistência de cada ponto em relação ao central, apresentado na tabela 3.

A partir dos dados da tabela 3 nota-se que as variações de consistência entre os pontos fica mais concentrada na região de ± 2 cm, com algumas exceções, e além disso há maior número de ocorrência de pontos P1 e P2 com consistência maior que P3 e o inverso para os pontos P4 e P5, que normalmente têm um abatimento menor que o ponto central. Tal fato é devido, provavelmente, ao tempo de ensaio de cada ponto coletado, visto que, como já citado anteriormente, as amostras eram utilizadas na mesma ordem de coleta (ponto 1 ao 5), assim o ponto inicial era ensaiado primeiro, seguido do segundo, terceiro, quarto e do último, que permanecia um maior tempo armazenado e tinha um tempo maior de mistura.

A tabela 4 apresenta o resumo das variações do teor de agregado graúdo de cada ponto em relação ao ponto intermediário. Avaliando o percentual de ocorrências para cada faixa, visualiza-se que para os pontos P1 e P5 há uma maior concentração de agregado graúdo que o ponto central, centralizado na faixa de até +5%. O

Tabela 5 – análise de variância para resistência à compressão

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	Fcalc.	Ftab.	PROB.	SIGN.
Lote	3848,873	12	320,739	155,210	1,827	0,00%	S
Ponto de coleta	16,929	4	4,232	2,048	2,441	9,14%	NS
Interações	217,931	48	4,540	2,197	1,455	0,02%	S
Erro	268,644	130	2,066				
Total	4352,376	194					

Tabela 6 – Análise de variância para teor de agregado graúdo

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	Fcalc.	Ftab.	PROB.	SIGN.
Lote	0,079	12	0,007	34,599	1,960	0,00%	S
Ponto de coleta	0,003	4	0,001	4,093	2,565	0,62%	S
Erro	0,009	48	0,000				
Total	0,091	64					

maior teor de agregado graúdo no ponto inicial corrobora com as declarações de HELENE [19] e RECENA [20] de que há concentração de agregado graúdo no início da descarga.

A partir dos resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova e do teor de agregado graúdo foi realizado tratamento estatístico para determinar a significância das variações entre lotes de mesmo traço e a influência dos diferentes pontos de coleta sobre a resistência à compressão do concreto. Na tabela 5 e 6 tem-se a análise de variância para a resistência à compressão, considerando os três resultados por exemplar, e para o teor de agregado graúdo, respectivamente.

Com base na análise de variância da resistência à compressão, verificou-se diferença significativa entre os lotes e não significativa entre os pontos, para um nível de confiança de 95%, ou seja, há variação de resistência à compressão conforme o lote avaliado, enquanto para o ponto de coleta não há interferência se o ponto é retirado no início, meio ou final da descarga. Para o teor de agregado graúdo constatou-se a existência de diferença significativa entre os lotes e os pontos.

4. Conclusões

As dispersões de resistência à compressão dentro dos lotes, de modo geral, ficaram concentradas na faixa de $\pm 5\%$, com igual distribuição do número de ocorrências de valores acima e abaixo em relação ao ponto de referência (central, P3). Visto a ocorrência dos mais variados perfis de variações entre os diferentes pontos, não foi possível identificar um perfil para representar as variações de resistência à compressão ao longo da descarga.

A partir de análise estatística verificou-se variação não significativa entre os pontos de um mesmo lote e com base nos critérios da ABECE [14], em que a diferença aceitável entre os pontos é de 15%, constatou-se também a inexistência de diferença entre os pontos de coleta para resistência à compressão.

Com base em tais resultados não é possível afirmar que as amostras retiradas da porção intermediária, conforme prescrição das normas NBR NM 33[10] e NBR 7212 [9], têm melhor representatividade do lote em relação à resistência à compressão.

Para o teor de agregado graúdo visualiza-se uma maior concentração do teor de brita nos pontos extremos, inicial e final, e as variações nos teores estão normalmente dentro da faixa de $\pm 5\%$ em relação ao ponto central P3. Estatisticamente há diferença significativa do teor de agregado graúdo ao variar os pontos de coleta e entre os lotes de mesmo traço.

Ao avaliar a consistência do concreto usinado ao longo dos cinco pontos de coleta durante a descarga do caminhão betoneira pode-se notar um redução linear do abatimento de tronco de cone do ponto inicial ao ponto final, o que indica uma provável influência do tempo de ensaio sobre o resultado, visto que as amostras foram ensaiadas na ordem de coleta e havia uma diferença de pelo menos 30 minutos entre a utilização da amostra do primeiro ponto para o último. As amplitudes de variações de consistência dentro dos lotes foram compatíveis aos limites tolerados pela NBR 7212 [9].

Visto a ausência de um perfil claro para o comportamento de resistência à compressão conforme a variação dos pontos de coleta, como ocorre para o teor de agregado graúdo e abatimento de tronco de cone, não foi possível identificar uma correlação entre os resultados de tais propriedades.

5. Agradecimentos

Ao NORIE – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação da UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por todo apoio prestado no desenvolvimento da pesquisa.

6. Referências bibliográficas

- [01] MEHTA, P. K, e PAULO J.M. M. CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [02] NRMCA - National Ready Mixed Concrete Association. 2011. Disponível em: <www.nrmca.org/concrete/data.asp>. Acesso em 30 de nov. de 2011.
- [03] ERMCO - European Ready Mixed Concrete Organization - ERMCO Documents - Statistics 2011. Available at: <www.ermco.eu/documents/ermco-documents/ermco-statistics-2010_rev03.pdf>. Access on 30 November 2011).
- [04] SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - Relatório Anual 2010. 2011. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/snic-relatorio2010-11_web.pdf>. Acesso em 30 de nov. de 2011.
- [05] BRASIL - Lei complementar n 116, de 31 de julho de 2003. Available at: <www.planalto.gov.br>. Access on 30 November de 2011.
- [06] SEFAZ-RS - Secretaria da Fazenda. 2011. Available at: <http://www.sefaz.rs.gov.br/site/MontaDuvidas.aspx?al=|_icms_faq>. Access on 30 November 2011.
- [07] NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. São Paulo: Pini, 1997.
- [08] HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. Manual de dosagem e controle de concreto. Brasília: Pini, 1992.
- [09] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7212: Execução de concreto dosado em central. Rio de janeiro, 1984.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 33: Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1994.
- [11] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C94/C94M: Standard Specification for Ready-Mixed Concrete. USA
- [12] BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. BS 3963: Method for testing the mixing performance of concrete mixers. UK. 1974.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto - Preparo, controle e recebimento. Rio de janeiro, 2006.
- [14] ABECE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL - Estruturas de Concreto - Conformidade da Resistência do Concreto. 2011. Disponível em: <www.abece.com.br>. Acesso em 4 de abr. de 2011.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de janeiro, 1996.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

- NBR 5738: Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [18] BORGES, M. L. Avaliação da qualidade de concretos produzidos em centrais dosadoras, misturados em caminhão betoneira e de concretos produzidos em centrais misturadoras. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2009.
- [19] HELENE, P. R. L. Controle de Qualidade do Concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1980.
- [20] RECENA, F. A. P. Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland. Porto Alegre: Edipucrs, 2002.