

INFLUÊNCIA DO USO DE RESÍDUOS DE CONCRETO COMO AGREGADO GRAÚDO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS CONVENCIONAIS

Influence of the use of concrete waste as coarse aggregate on mechanical properties of conventional concretes

Beatriz Schimelfenig¹; Elismara Francieli Cervinski¹; Francine Padilha¹; Cristina Vitorino da Silva¹.

¹ Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim - Departamento de Engenharias e Ciência da Computação, *E-mail*: cristina@uricer.edu.br

Data do recebimento: 30/01/2018 - Data do aceite: 24/05/2018

RESUMO: A preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais tem levado à busca por alternativas de crescimento mais sustentáveis por parte de todos os segmentos da sociedade. Neste contexto, a reciclagem de resíduos tem se mostrado uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria-prima. Dessa forma, o presente trabalho buscou uma alternativa de reaproveitamento do resíduo de concreto gerado pela indústria da construção. Foram avaliados diferentes teores de substituição do agregado graúdo natural por resíduo (0%; 25%; 50% e 75%) em três diferentes traços de concreto (1:3,5; 1:5 e 1:6,5). Foram realizados os ensaios de resistência à compressão uniaxial, absorção capilar e densidade em estado fresco. Para o teor de substituição de 75% houve um aumento na absorção de água de, aproximadamente, 157 % em relação aos demais teores (0%; 25%; 50%). Na resistência à compressão uniaxial, os teores de substituições não causaram influência significativa nos resultados. Além disso, observou-se que o traço 1:6,5 promoveu um decréscimo da ordem de 21% nessa propriedade, comparando-se aos demais (1:3,5 e 1:5). Pelos resultados encontrados constatou-se ser possível viabilizar a utilização do resíduo de concreto na produção de novos concretos.

Palavras-chave: Resíduo de Concreto. Resistência à Compressão Uniaxial. Absorção Capilar. Densidade.

ABSTRACT: Environment concerning and natural resources scarcity have led to the search for more sustainable growth alternatives by all segments of society. In this context, waste recycling has demonstrated to be a good alternative in reducing the impact caused by the uncontrolled consumption of raw materials. Thus, the present work aimed to seek an alternative of waste recycling of the concrete generated by the building industry. Different substitution levels of natural coarse aggregate were evaluated by the concrete waste (0; 25; 50 and 75%) in three different mixture proportioning (1:3.5; 1:5 and 1:6.5). Tests of uniaxial compressive strength, capillary absorption and density were performed. There was an increase in water absorption of 157,15% for the 75% replacement content compared to the other contents. The different replacement contents did not cause any significant influence on the results in the uniaxial compressive strength. In addition, it was observed that the mixture proportioning of 1: 6.5 promoted a decrease of around 21% in this property compared to the others (1:3.5; 1:5). The present data demonstrated that it is possible to make feasible the use of concrete waste in the production of new concrete.

Keywords: Concrete waste. Uniaxial compressive strength. Capillary absorption. Density.

Introdução

O homem, ao longo da história, é considerado o maior agente transformador da natureza, modificando a paisagem na construção de civilizações e extraíndo matéria-prima do meio ambiente para fabricação de produtos que melhorem sua condição de vida. A partir dessa transformação, as grandes quantidades de resíduos gerados tornam difícil o equilíbrio entre o desenvolvimento e a preservação da natureza.

O mercado da construção consome muitos dos recursos naturais não renováveis do planeta com sua extração em larga escala, seja pela detonação de rochas ou dragagem de rios, o que acaba contribuindo e causando danos ao meio ambiente que, muitas vezes, são irreparáveis. Segundo Bicca (2000), a escassez dos agregados na sua forma natural, ou

o afastamento das fontes de produção do local de consumo tem feito com que diferentes subprodutos da indústria sejam pesquisados para este fim.

Sabendo, então, sobre a escassez de recursos naturais e visando à preservação do meio ambiente, a busca por alternativas de crescimento mais sustentáveis, como a reciclagem dos resíduos gerados na indústria da construção civil, tem se mostrado uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria-prima e pela redução das áreas de deposição, em virtude do grande volume de resíduos de construção gerados a cada ano em todo o mundo.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável (IBDS), aproximadamente 90% dos resíduos da construção civil podem ser reciclados. Contudo, no Brasil, apenas 5% do total de

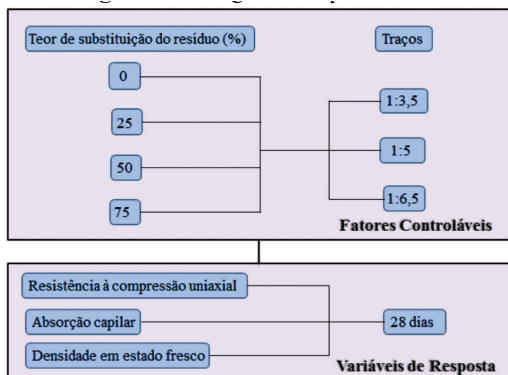
resíduo gerado na construção civil é reciclado. Enquanto que em outros países, como Estados Unidos, Alemanha e Holanda já existem políticas que privilegiam a compra de produtos ambientalmente sustentáveis (ÂNGULO et al., 2004). A Dinamarca ainda é o país com a maior taxa de reciclagem, cerca de 90%. Esse sucesso deve-se ao elevado imposto a que estão sujeitos os resíduos que não são reciclados e a obrigatoriedade de separação do resíduo na origem (MÁLIA et al., 2011). Segundo o mesmo autor, a União Europeia, como um todo, está mobilizada a atingir níveis aceitáveis de reciclagem e a estimular o uso de produtos reciclados, provenientes de resíduos da construção civil.

Portanto, dentro desse contexto o presente trabalho tem por objetivo geral avaliar a influência da substituição do agregado graúdo convencional pelo uso de resíduos de concreto com resistência de 25 MPa nas propriedades de resistência à compressão uniaxial, absorção capilar e densidade dos compósitos no estado fresco.

Material e Métodos

O programa experimental desta pesquisa foi baseado em um planejamento estatístico que permite trabalhar com variáveis de controle em vários níveis e, posteriormente,

Figura 1 - Programa experimental



utilizar ferramentas estatísticas para avaliar a influência de cada variável, bem como a interação entre elas, nas variáveis de resposta. A Figura 1 apresenta um fluxograma esquemático do programa experimental da pesquisa.

Materiais Utilizados

Nesta pesquisa foi empregado o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI). A Tabela I apresenta a caracterização química desse aglomerante. Como agregado miúdo foi utilizada uma areia natural de origem quartzosa com diâmetro máximo de 2,36 mm e módulo de finura de 2,02. Como agregado graúdo natural foi empregada uma brita de origem basáltica contida na zona granulométrica 9,5/25 (brita 1) com diâmetro máximo de 19 mm, módulo de finura de 4,73 e absorção de água de 2,32 %. A água utilizada na produção dos concretos foi da rede de abastecimento pública.

Tabela I - Caracterização química do cimento, segundo fabricante

Parâmetros Avaliados	Fabricante (%)	Exigências da NBR5733/1991 (%)
Al_2O_3	4,43	-
SiO_2	18,85	-
Fe_2O_3	2,68	-
CaO	60,33	-
MgO	4,90	≤ 6,50
SO_3	2,60	≤ 4,00
Perda ao fogo	3,05	≤ 4,50

O agregado graúdo reciclado de concreto (AGRC) utilizado foi obtido a partir do beneficiamento de corpos de prova com resistência de 25 MPa, coletados em uma empresa da região. O beneficiamento do resíduo foi feito com um britador de mandíbulas do tipo Queixada 300 P. Tal material foi caracterizado quanto as suas propriedades físicas, segundo as normas regulamentadoras. De acordo com

os ensaios, o material apresentou diâmetro máximo de 19 mm, módulo de finura de 6,64, massa específica de 2,38 g/cm³, absorção de água de 5,54 % e índice de forma de 2,11.

Antes de executar as concretagens, o resíduo passou por um tratamento inicial, em que o mesmo ficou submerso em água por 24 horas e posteriormente ficou escorrendo por 10 minutos antes das concretagens. Foi adotado esse tipo de tratamento devido aos estudos feitos por diversos autores, como Buttler (2003), Troian (2010), Gonçalves (2011) e Cordeiro (2013), que verificaram a necessidade de uma saturação prévia do resíduo, pelo fato do mesmo possuir uma maior absorção e poder interferir no comportamento do concreto se não houver uma compensação adequada na demanda de água.

Dosagem Experimental

Para este estudo foi adotado o método de dosagem IPT/EPUSP, proposto por Helene e Terzian (1992), que determina o teor ideal de argamassa. O abatimento de tronco de cone foi fixado em 100 ± 20 mm. O teor ideal de argamassa foi determinado para as misturas com 0% e 75% de resíduo, sendo obtidos, respectivamente, os valores de 53% e 56%. Para as misturas contendo 25% e 50% de resíduo foram adotados valores intermediários de teor de argamassa, sendo empregados, respectivamente, os valores de 54% e 55%.

A Tabela II apresenta os traços empregados na produção dos concretos, assim como os fatores controláveis e os parâmetros importantes de cada traço.

Realização dos Experimentos

O método de ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto seguiu as determinações da NBR 5739 (2007); o de absorção capilar de corpos de prova cilíndricos de concreto, as da NBR

9779 (2012); e o da densidade no estado fresco de corpos de prova cilíndricos, as da NBR 9833 (2009). Foram ensaiados quatro corpos de prova para cada propriedade.

Resultados

Densidade em Estado Fresco

Os resultados da densidade em estado fresco média para os concretos estudados encontram-se na Tabela III.

Os resultados foram analisados estatisticamente por meio do método de análise de variância (ANOVA). Tal análise buscou avaliar se os fatores de controle (traço e Tsr) e as suas interações causam efeito significativo na variável de resposta (densidade no estado fresco) medida. A análise da ANOVA dos dados experimentais obtidos para a densidade no estado fresco dos concretos estudados encontra-se na Tabela IV.

De acordo com a tabela IV, observa-se que o efeito isolado do Tsr e o efeito de 2ª ordem da interação do traço com o Tsr foram significativos na variável de resposta. Já o efeito isolado do traço não foi significativo na variável de resposta. Os itens que seguem analisam o efeito isolado e a interação significativa pela análise de variância (ANOVA).

A Figura 2 (a) mostra a influência isolada do teor de substituição do resíduo sobre a densidade no estado fresco dos concretos. O efeito combinado da interação entre o traço e o Tsr na densidade no estado fresco está demonstrado na Figura 2 (b).

Em análise da Figura 2 (a) verifica-se que houve um decréscimo na densidade dos concretos no estado fresco com Tsr de 75%, em relação aos outros teores, que, de acordo com a análise estatística feita pelo Método de Fischer, não se mostraram significativamente diferentes entre si. De acordo com a análise dos resultados, verificou-se uma redução

Tabela II - Traços empregados na produção dos concretos

Traço	Fatores controláveis		Traço unitário desdobrado			Cimento (kg/m ³)	Parâmetros		
	Tsr* (%)	Traço unitário	c*	a*	p*		α (%)	Abat. (mm)	(a/c)
01	0	1:3,5	1	1,38	2,12	491,47	53	100	0,40
02	0	1:5	1	2,18	2,82	370,01	53	115	0,51
03	0	1:6,5	1	2,97	3,53	297,57	53	85	0,61
04	25	1:3,5	1	1,43	2,07	496,28	54	110	0,38
05	25	1:5	1	2,24	2,76	371,34	54	120	0,50
06	25	1:6,5	1	3,05	3,45	299,32	54	85	0,59
07	50	1:3,5	1	1,47	2,03	503,73	55	100	0,35
08	50	1:5	1	2,3	2,7	379,75	55	85	0,44
09	50	1:6,5	1	3,13	3,37	299,28	55	90	0,59
10	75	1:3,5	1	1,52	1,98	506,20	56	85	0,34
11	75	1:5	1	2,36	2,64	368,51	56	80	0,52
12	75	1:6,5	1	3,2	3,3	299,24	56	120	0,59

* Tsr – Teor de substituição de resíduo; c – cimento; a – areia; p – pedra.

Tabela III - Resultados médios para o ensaio de densidade no estado fresco

Traços	Fatores controláveis		Média (kg/m ³)	Coeficiente de variação (%)	Desvio padrão
	Tsr (%)*	Traço unitário			
01	0	1:3,5	2388,54	0,66	15,92
02	0	1:5	2399,15	1,68	40,07
03	0	1:6,5	2388,54	0,66	15,92
04	25	1:3,5	2388,54	0,67	15,92
05	25	1:5	2420,38	0,66	15,92
06	25	1:6,5	2356,69	0,67	15,92
07	50	1:3,5	2372,62	1,73	41,11
08	50	1:5	2409,77	1,27	30,49
09	50	1:6,5	2399,15	1,68	40,07
10	75	1:3,5	2399,15	1,26	30,49
11	75	1:5	2324,84	-	-
12	75	1:6,5	2372,62	1,73	41,11

* Tsr – Teor de substituição de resíduo.

Tabela IV - Análise de variância (ANOVA) – densidade no estado fresco

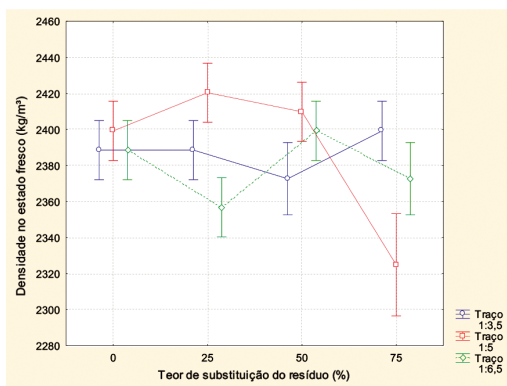
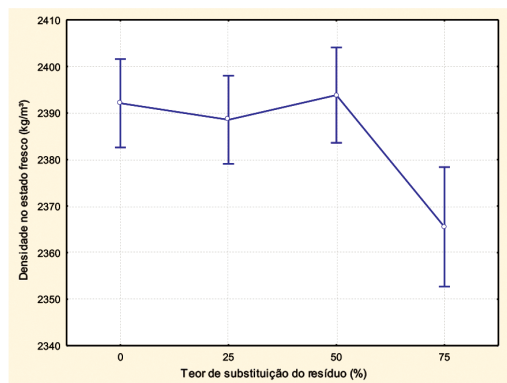
	GLD*	MS*	F (cal)*	p*	Significância
Traço	2	251	1,3	0,281918	NS
Tsr (%)	3	958	5,2	0,008394	S
Traço*Tsr (%)	6	1677	9,0	0,000077	S
Erro	20	186	-	-	-

*GLD: Graus de liberdade (n-1); MS: Média simples; F (cal): Valor calculado de F;

p: Nível de significância NS: Valor não significativo S: Valor significativo;

Se p<5% valor significativo.

Figura 2 - (a): Efeito isolado do teor de substituição do resíduo na densidade dos concretos em estado fresco; (b): Efeito combinado do traço e do teor de substituição do resíduo na densidade dos concretos em estado fresco



de 1,18% em relação aos outros teores de substituição. Tal diminuição ocorreu devido à inserção de grande quantidade de resíduo, sendo que a argamassa aderida no agregado reciclado de concreto tem uma densidade significativamente menor que a dos agregados naturais originais, e quanto maior a quantidade de argamassa aderida no agregado natural, menor será a massa específica do agregado reciclado e, conseqüentemente, menor será a densidade do concreto (CORDEIRO, 2013).

De acordo com a análise feita pelo Método de Fischer da Figura 2 (b), verificou-se que, para o traço 1:3,5, os resultados obtidos para os Tsr de 0, 25 e 50% não se mostraram significativamente diferentes entre si. No entanto, para o Tsr de 75% houve um acréscimo de 1,12% em relação ao Tsr de 50%. Para o traço 1:5, os valores obtidos para os Tsr de 0, 25 e 50% não se mostraram significativamente diferentes entre si. Contudo, para o Tsr de 75% houve um decréscimo de 3,53% em relação aos demais teores de substituição. Já para o traço 1:6,5, observa-se que não existe uma tendência clara de comportamento entre os resultados encontrados no ensaio.

Tabela V - Resultados médios para o ensaio de absorção de água por capilaridade

Traços	Fatores Controláveis		Média (g/cm²)				
	Tsr (%)* (%)	Traço unitário	3h	6h	24h	48h	72h
01	0	1:3,5	0,1273	0,2122	0,3183	0,3820	0,5093
02	0	1:5	0,0637	0,1273	0,3183	0,4456	0,6366
03	0	1:6,5	0,1273	0,1910	0,3820	0,5942	0,6366
04	25	1:3,5	0,1273	0,2546	0,3183	0,3820	0,4456
05	25	1:5	0,1273	0,2546	0,4456	0,6366	0,6366
06	25	1:6,5	0,1273	0,1273	0,4456	0,6366	0,7003
07	50	1:3,5	0,1273	0,1273	0,3820	0,5093	0,6366
08	50	1:5	0,0424	0,2122	0,2971	0,4244	0,5517
09	50	1:6,5	0,1273	0,2122	0,4669	0,7003	0,8276
10	75	1:3,5	0,2546	0,2546	0,4456	0,4244	0,5517
11	75	1:5	0,2546	0,2546	0,4456	0,5730	0,7215
12	75	1:6,5	0,2546	0,2546	0,5093	0,6366	0,7639

* Tsr – Teor de substituição de resíduo.

Absorção de Água por Capilaridade

Os resultados da absorção de água por capilaridade média para os concretos estudados encontram-se na Tabela V.

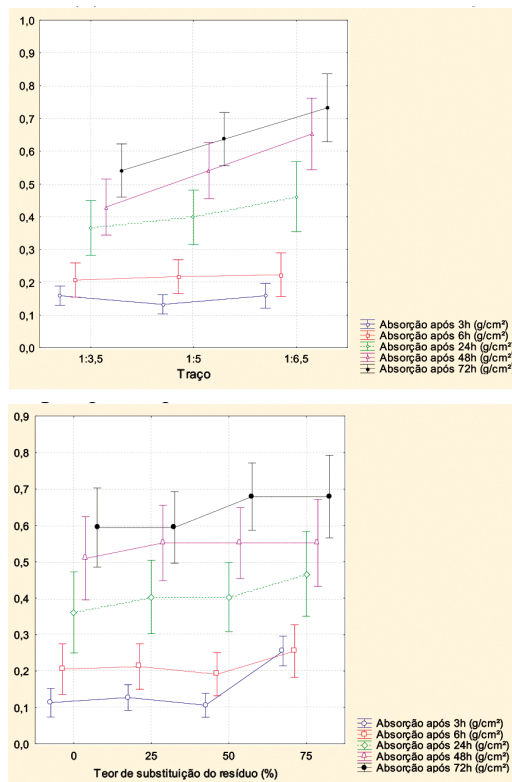
Os resultados foram analisados estatisticamente por meio do método de análise de variância (ANOVA). Tal análise buscou avaliar se os fatores de controle (traço e Tsr) e as suas interações causam efeito significativo na variável de resposta (absorção de água por capilaridade) medida. A análise da ANOVA dos dados experimentais obtidos para a absorção de água por capilaridade dos concretos estudados encontra-se na Tabela VI.

De acordo com a tabela, observa-se que os efeitos isolados do traço e do Tsr foram significativos na variável de resposta. Já o efeito de 2ª ordem da interação do traço com o Tsr não foi significativo na variável de resposta. Os itens que seguem analisam os efeitos isolados por meio da análise de variância (ANOVA).

A Figura 3 (a) mostra a influência isolada do traço sobre a absorção de água por capilaridade dos concretos. O efeito do Tsr na absorção de água por capilaridade está demonstrado na Figura 3 (b).

De acordo com a análise estatística feita pelo Método de Fischer da Figura 3 (a), verificou-se que, para os tempos de absorção de 3, 6 e 24 horas, os valores de absorção de água por capilaridade foram estatisticamente iguais para os três diferentes traços.

Figura 3 - (a): Efeito isolado do traço na absorção de água por capilaridade dos concretos; (b): Efeito isolado do Tsr na absorção de água por capilaridade dos concretos.



Contudo, para os tempos de absorção de 48 e 72 horas, os valores de absorção de água por capilaridade foram estatisticamente iguais para os traços 1:3,5 e 1:5, ocorrendo um aumento da absorção para o traço 1:6,5. De acordo com a análise dos resultados verificou-se um aumento de 51,25% para o traço 1:6,5 em relação ao traço 1:3,5, no

Tabela VI - Análise de variância (ANOVA) – absorção de água por capilaridade

	GLD*	MS*	F (cal)*	p*	Significância
Traço	10	0,105938	3,3158	0,016111	S
Tsr (%)	15	0,014003	5,5373	0,000154	S
Traço*Tsr (%)	30	0,040528	1,3926	0,174628	NS
Erro	-	-	-	-	-

*GLD: Graus de liberdade (n-1) MS: Média simples F (cal): Valor calculado de F

p: Nível de significância NS: Valor não significativo S: Valor significativo

Se p<5% valor significativo

tempo de absorção de 48 horas. Assim como um aumento de 36,64% para o traço 1:6,5 em relação ao traço 1:3,5, no tempo de 72 horas.

Ao avaliar-se a Figura 3 (b), verifica-se que para o tempo de absorção de 3 horas, houve um acréscimo da absorção de água para o Tsr de 75%, em relação aos outros teores, que, de acordo com a análise estatística feita pelo Método de Fischer, não se mostraram significativamente diferentes entre si. De acordo com a análise dos resultados, verificou-se um aumento de 157,15% em relação aos demais teores de substituição. Esse aumento considerável no valor da absorção se justifica devido aos corpos de prova conterem uma grande quantidade de agregados reciclados. Os agregados reciclados apresentam maior absorção e menor densidade quando comparados com agregados naturais, devido à camada de argamassa presente na sua superfície (BUTTLER, 2003). Entretanto, a explicação para tal aumento ter ocorrido já nas primeiras horas de ensaio é dada por diversos autores. Buttler (2003) analisou a velocidade de absorção da água ao longo do tempo, e observou que aos 10 minutos o agregado reciclado de concreto é capaz de absorver cerca de 85%

de toda a capacidade de absorção de água. Ferreira (2007) também realizou um estudo para avaliar a velocidade de absorção dos agregados reciclados de concreto, e percebeu que os mesmos absorvem, aos cinco minutos, cerca de 90% da sua capacidade total de absorção. E a partir dos cinco minutos de imersão em água, a evolução da absorção é bastante lenta e pouco significativa. Werle (2010) também notou que os AGRC possuem uma alta taxa de absorção de água durante os primeiros 10 minutos de imersão, não varia muito no instante dos 10 aos 30 minutos, e vai aumentando lentamente ao longo de todo o período de ensaio. Cordeiro (2013) observou, em seu estudo, que em 10 minutos todos os agregados, de diferentes dimensões, alcançaram cerca de 90% da taxa de absorção total. Gonçalves (2011) considera os 5 minutos iniciais como aqueles em que a absorção do AGRC é mais intensa, e nos demais tempos a variação é pouco significativa.

Para os tempos de absorção de 6, 24, 48 e 72 horas, os valores de absorção de água por capilaridade foram estatisticamente iguais para os diferentes teores de substituição do resíduo.

Tabela VII - Resultados médios para o ensaio de resistência à compressão uniaxial

Traços	Fatores controláveis		Média (MPa)	Coeficiente de variação (%)	Desvio padrão
	Tsr (%)*	Traço unitário			
01	0	1:3,5	49,43	19,50	9,00
02	0	1:5	49,58	4,72	2,29
03	0	1:6,5	37,24	8,17	2,93
04	25	1:3,5	49,44	8,14	4,07
05	25	1:5	44,46	1,79	0,79
06	25	1:6,5	38,24	9,45	3,47
07	50	1:3,5	51,68	8,48	4,55
08	50	1:5	49,35	8,98	4,26
09	50	1:6,5	37,21	3,27	1,20
10	75	1:3,5	49,75	16,63	8,81
11	75	1:5	46,49	4,82	2,23
12	75	1:6,5	37,86	9,78	3,53

* Tsr – Teor de substituição de resíduo.

Resistência à Compressão Uniaxial

Os resultados da resistência à compressão uniaxial média para os concretos estudados encontram-se na Tabela VII.

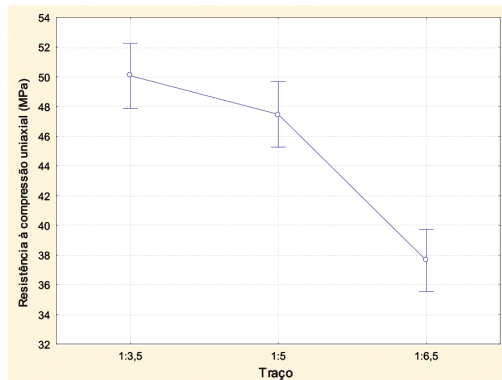
Os resultados foram analisados estatisticamente por meio do método de análise de variância (ANOVA). Tal análise buscou avaliar se os fatores de controle (traço e Tsr) e as suas interações causam efeito significativo na variável de resposta (resistência à compressão uniaxial) medida. A análise feita por meio da ANOVA dos dados experimentais obtidos para a resistência à compressão uniaxial dos concretos estudados encontra-se na Tabela VIII.

De acordo com a tabela, observa-se que o efeito isolado do traço foi significativo na variável de resposta. Já o efeito isolado do Tsr e o efeito de 2ª ordem da interação do traço com o Tsr não foram significativos na variável de resposta.

A Figura 4 mostra a influência isolada do traço sobre a resistência à compressão uniaxial dos concretos.

Em análise da Figura 4 verifica-se que houve um decréscimo significativo de 20,88% na resistência à compressão uniaxial dos concretos produzidos com traço 1:6,5, em relação aos demais, os quais, pela análise feita pelo Método de Fisher, não se mostraram significativamente diferentes entre si. Tal diminuição ocorreu devido ao traço 1:6,5 ser um traço pobre, ou seja, possuir uma

Figura 4 - Efeito isolado do traço na resistência à compressão dos concretos



quantidade menor de cimento que os demais traços. Sendo que a resistência e durabilidade dos concretos dependem diretamente da quantidade, qualidade e do tipo de cimento empregado. Também tem a questão da relação a/c, onde o traço 1:6,5 apresenta uma maior relação a/c que os demais. Contudo, quanto maior for a relação a/c menor será a resistência e maior será a trabalhabilidade dos concretos.

Conclusões

As conclusões verificadas estão apresentadas a seguir:

- a) o Tsr exerceu influência direta na densidade em estado fresco, sendo que se verificou decréscimo de 1,18% para o traço com

Tabela VIII - Análise de variância (ANOVA) – resistência à compressão uniaxial

	GLD*	MS*	F (cal)*	p*	Significância
Traço	2	494,58	41,013	0,000000	S
Tsr (%)	3	6,44	0,534	0,663698	NS
Traço*Tsr (%)	6	7,54	0,625	0,708466	NS
Erro	22	12,06	-	-	-

*GLD: Graus de liberdade (n-1) MS: Média simples F (cal): Valor calculado de F

p: Nível de significância NS: Valor não significativo S: Valor significativo

Se p<5% valor significativo

75% de substituição de resíduo, em relação aos demais teores de substituição;

- b) o efeito isolado do traço não causou influência significativa na densidade em estado fresco;
- c) o Tsr ocasionou acréscimo nos resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade, durante as 3 primeiras horas do ensaio, sendo que os traços com teor de substituição de 75% de resíduo maximizaram a absorção de água em 157,15% em relação aos demais teores de substituição;
- d) o traço exerceu influência direta na absorção de água por capilaridade, sendo que em análise dos resultados obtidos verificou-se aumento de 51,25% e 36,64%, respectivamente, para os tempos de absorção de 48 e 72 horas para o traço 1:6,5, em relação aos demais traços;
- e) o efeito isolado do Tsr não causou influência significativa na resistência à compressão uniaxial, sendo que os valores obtidos de resistência à compressão uniaxial variaram entre 37 MPa e 51 MPa para os diferentes teores de substituição do resíduo. Estes resultados demonstram que o agregado reciclado de concreto pode ser incorporado na mistura, em substituição do agregado natural, para a produção de concretos convencionais para fins estruturais, com resistência de projeto em torno de 30 MPa;
- f) o traço exerceu influência direta na resistência à compressão uniaxial, sendo que se verificou decréscimo de 20,88% para o traço 1:6,5 em relação ao restante dos traços;
- g) verificou-se também que o Tsr de 75% não prejudicou a resistência à compressão uniaxial do concreto, mas em contrapartida provocou uma diminuição na densidade em estado fresco e um aumento considerável na absorção por capilaridade desses concretos. Uma alternativa para diminuir

tais problemas é utilizar teores de substituição de resíduo menores como 25% e 50%, em que os mesmos não apresentaram diferença significativa em relação aos traços sem substituição de resíduo;

- h) por meio dos resultados obtidos, verificou-se que o melhor traço e o melhor teor de substituição do resíduo a serem empregados são, respectivamente, 1:5 e 50%. O traço 1:5 foi determinado como o melhor traço porque apresentou resultados satisfatórios para todas as variáveis de resposta e também porque, em comparação com o traço 1:3,5, ele é um traço com menor custo de produção devido ao menor consumo de cimento. Já o traço com teor de substituição de 50% foi escolhido como o melhor teor de substituição porque apresentou resultados satisfatórios para todas as variáveis de resposta e é o teor no qual se pode empregar maior quantidade de resíduo sem que as variáveis de resposta sejam prejudicadas.

Segundo os resultados deste estudo, e em concordância com o que relata a literatura, pode-se concluir que concretos produzidos com AGRC de boa qualidade geram resultados satisfatórios de resistência à compressão, com baixo coeficiente de variação. Contudo, para um melhor desempenho do material é necessário realizar estudos específicos que respeitem suas características intrínsecas. Assim como, por ser um material com variabilidade e maior porosidade, sua utilização deve ser cautelosa, pois o seu reaproveitamento ocorre com a sua inserção dentro de uma matriz de concreto que também é um material heterogêneo. A caracterização do AGRC é essencial para se ter uma maior confiabilidade em sua utilização, já que o mesmo depende de inúmeros fatores, como foi observado no decorrer deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ÂNGULO, S. C.; JOHN, V. M.; ULSEN, C.; KAHN, H. Caracterização de Agregados de Resíduo de Construção e Demolição Reciclados Separados por Líquidos Densos. In: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, I; Encontro Nacional de Tecnologias do Ambiente Construído, 10, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ENTAC, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- _____. **NBR 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- _____. **NBR 5739** : Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- _____. **NBR 7809**: Agregados graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- _____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- _____. **NBR 9833**: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- BICCA, I. S. **Estudo da viabilidade do rejeito cerâmico, como agregado graúdo, na produção de concreto com características estruturais**. 2000. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- BUTTNER, A. M. **Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto – Influência da Idade de Reciclagem nas Propriedades dos Agregados e Concretos Reciclados**. 2003. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- CORDEIRO, L. N. P. **Análise dos Parâmetros Principais que Regem a Variabilidade dos Concretos Produzidos com Agregado Graúdo Reciclado de Concreto**. 2013. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2013.
- FERREIRA, L. M. M. **Betões Estruturais com Incorporação de Agregados Grossos Reciclados de Betão – Influência da Pré-Saturação**. 2007. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, IST, Lisboa, 2007.
- GONÇALVES, M. S. **Análise da Viabilidade Técnica de Utilização de Resíduos de Concreto Oriundos da Pré-Fabricação como Agregado Graúdo para a Produção de Novos Concretos**. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, 2011.
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: PINI, 1992.
- MÁLIA, M.; BRITO, J.; BRAVO, M. Indicadores de Resíduos de Construção e Demolição para Construções Residenciais Novas. **Revista Ambiente Construído**, v. 11, n. 3, p. 117-130, 2011.
- TROIAN, A. **Avaliação da Durabilidade de Concretos Produzidos com Agregado Reciclado de Concreto Frente à Penetração de Íons Cloreto**. 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, 2010.

WERLE, A. P. **Determinação de Propriedades de Concretos com Agregados Reciclados de Concreto, com Ênfase na Carbonatação.** 2010. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, 2010.