



XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

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

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

AVALIAÇÃO DO EFEITO DO AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO

Evaluation of the effect of recycled aggregate concrete in mechanical properties of composite cimentitious

**BIANCHETTI, Luiz Gustavo Mallmann (1), BIANCHIN, Felipe Hirata (2),
SENISSE, Juliana Alves de Lima (3), DAL MOLIN, Denise Carpêna Coitinho (4)**

(1)Graduando em engenharia civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (54)9993 0910, e-mail: lzgobi@gmail.com

(2) Graduando em engenharia civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: felipe.hbianchin@gmail.com

(3)Doutoranda pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: julianasenisse@gmail.com

(4)Professora Doutora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: dmolin@ufrgs.br

RESUMO

O desenvolvimento sustentável tem se mostrado como uma grande preocupação no contexto atual. Inúmeras pesquisas estão sendo realizadas tentando viabilizar o emprego do resíduo de construção e demolição (RCD) como um material alternativo na construção civil. Pesquisas já demonstraram a influência positiva do emprego do RCD de concreto no desempenho mecânico dos compósitos cimentícios. Contudo, não é de consenso geral como ocorre tal melhora nas propriedades mecânicas dos concretos. Assim, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar a influência no ganho de resistência mecânica de concretos produzidos com RCD de concreto. Para tal avaliação, produziu-se o AGRC, que foi inserido na composição do concreto, aos 7 dias. Ensaios mecânicos de resistência à compressão e módulo de elasticidade foram realizados nos concretos produzidos com substituição de 50% do agregado natural por AGRC, aos 7 e 28 dias. A resistência à compressão do concreto produzido com AGRC foi inferior se comparado com o referência. Para os resultados do módulo de elasticidade, os concretos com AGRC apresentaram um aumento quando comparados com o referência. Comparando o desempenho dos AGRC entre si, é possível notar uma maior resistência e módulo no AGRC com emprego de cimento CPV. Em geral, os concretos com AGRC apresentaram resultados satisfatórios mesmo quando comparados a um concreto feito com um agregado convencional.

Palavras-chave: Agregado reciclado de concreto, Propriedades mecânicas, Cimento anidro.

ABSTRACT

Sustainable development has proven to be a major concern in the current context. Thus, numerous investigations have been performed trying to enable the use of the construction and demolition waste (CDW) as an alternative material in construction. Several researchers have demonstrated the positive influence of the use of CDW in concrete on the mechanical performance of cementitious composites. However, it is no general consensus as such improvement occurs in the mechanical properties of concrete. Thus, this study aimed undergraduates was to evaluate the influence on the increase in

mechanical strength of concrete produced with the CDW concrete. Concrete recycled aggregate (AGRC) was produced and it was inserted into the concrete composition at 7 days. Mechanical testing of compressive strength and elasticity modulus were performed on concrete produced with 50 % replacement of natural aggregate by AGRC, at 7 and 28 days. The compressive strength of concrete produced with AGRC was lower than those obtained by the reference. For the modulus of elasticity, the concrete with AGRC obtained an increase in modulus compared to the reference concrete. Comparing the performance of AGRC among themselves it is possible to notice a higher strength and modulus in AGRC with cement CPV. In general, concrete with AGRC showed satisfactory results even when compared to a concrete made with natural aggregate.

Keywords: *Concrete recycled aggregate, Mechanical properties, Anhydrous cement.*

1 INTRODUÇÃO

A elevada quantidade de resíduos gerados no setor da construção civil, bem como a grande demanda por recursos naturais, torna extremamente importante a busca por materiais alternativos (reciclados). Logo, o incentivo ao reaproveitamento de resíduos auxilia a tornar a indústria da construção civil mais sustentável, uma vez que possibilita uma redução do impacto ambiental gerado pelo mesmo.

Segundo a resolução nº 307 do CONAMA(2002), considera-se que os resíduos de construção civil representam um percentual significativo dos resíduos sólidos urbanos e que estes quando dispostos em locais inadequados agravam a degradação da qualidade ambiental, desse modo, é grande a necessidade da efetiva redução dos impactos dos resíduos oriundos da construção civil, devendo ser responsáveis por estes os seus próprios geradores. Ainda, visto que há viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais reciclados, a gestão de resíduos deve proporcionar benefícios sociais, econômicos e ambientais.

Ângulo (2001) menciona que a reciclagem de resíduos, pela indústria da construção civil, consolida-se como uma grande alternativa, pois é benéfica tanto ao atenuar o impacto ambiental gerado pelo segmento, tanto ao promover a redução de custos envolvidos durante todo o processo de produção.

No entanto, a variabilidade dos resíduos de construção e demolição (RCD) gerados é alta. Tal fato ocorre devido à ausência de políticas de desenvolvimento que incentivem o seu emprego, bem como devido à falta de normatizações que regulamentem suas propriedades e características.

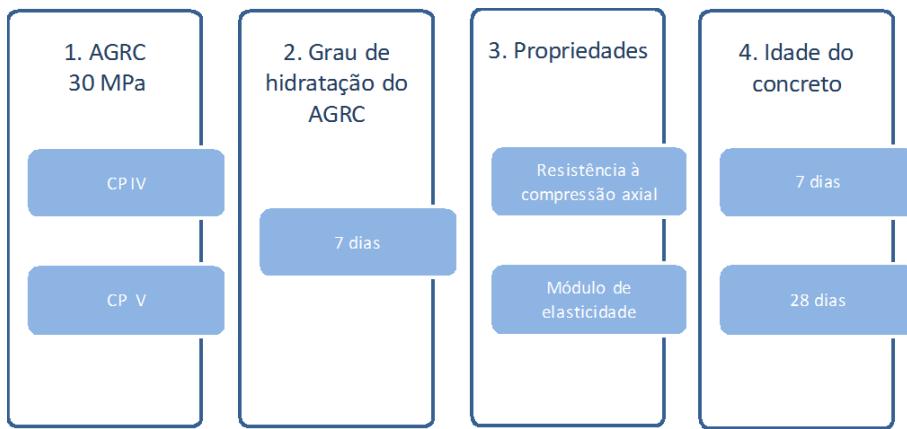
Buscando regulamentar a gestão de resíduos no que diz respeito a projeto, implantação e operação em áreas de transbordo e triagem do material, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publica em 2004 as normas NBR 15112. Também nesse ano, foi publicada a NBR 15116, a qual normatiza a utilização de resíduos de construção em sub-bases de pavimentação além do preparo de concretos sem função estrutural.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar a influência no ganho de resistência mecânica de concretos produzidos com Resíduo de Construção e Demolição (RCD) de concreto, através da análise das propriedades mecânicas do compósito cimentício, em diferentes idades.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com base no objetivo proposto neste estudo, foi definido o programa experimental a ser empregado nesta pesquisa, representado esquematicamente na figura 1.

Figura 1 – Programa experimental



2.1 Métodos de ensaio

A avaliação das propriedades mecânicas dos concretos estudados foi realizada a partir dos ensaios de resistência à compressão uniaxial, conforme NBR 5739 (2007), e de módulo de elasticidade, conforme NBR 8522 (2008), nas idades de 7 e 28 dias. Estes ensaios foram empregados a fim de controlar tecnologicamente os concretos, bem como avaliar a influência do emprego do agregado graúdo reciclado de concreto, produzidos com diferentes tipos de cimento (CP IV e CP V-ARI).

2.2 Materiais empregados

Os materiais utilizados para a produção dos agregados graúdos de concreto e para as misturas cimentícias foram o cimento Portland Pozolânico (CP IV), de massa específica 2,78g/cm³; cimento Portland de alta resistência inicial (CP V- ARI), de massa específica 3,09g/cm³; agregado miúdo, de origem quartzosa, com módulo de finura de 2,36; agregado graúdo, de origem basáltica, com módulo de finura de 5,95; aditivo superplastificante, a base de éter policarboxílico, e água.

2.3 Produção do agregado graúdo reciclado de concreto (AGRC)

Com base em uma dosagem experimental, pelo método do IPT/EPUSP (HELENE, TERZIAN, 1992), foram definidos os traços de concretos a serem empregados para a produção dos agregados graúdos reciclados de concreto, visando obter uma resistência de 30MPa, aos 28 dias, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Traços dos concretos empregados para produção do AGRC

Traços	Teor de argamassa (%)	Traço unitário					a/c	
		cim		a	p	m		
		CPIV	CPV-ARI					
AGRC IV	55	1	-	1,66	2,18	3,84	0,45	
AGRC V		-	1	2,95	3,24	6,19	0,61	

Conforme mostra a tabela 1, dois tipos de cimento (CP IV e CP V-ARI) foram empregados para a produção dos concretos, os quais deram origem aos AGRC. O traço denominado como MATBT – IV foi o concreto produzido com o cimento pozolânico, já para o traço denominado como MATBT – V foi empregado o cimento Portland de alta resistência inicial. Tal parâmetro visou à produção de agregados com propriedades distintas.

Após 24h, foi realizada a desmoldagem dos corpos de prova, e os mesmos passaram pelo processo de britagem. Tal atividade foi realizada com o auxílio de um britador de mandíbulas, visando à obtenção do agregado graúdo reciclado de concreto (AGRC). Finalizada a britagem, realizou-se o peneiramento mecânico do AGRC, assim sendo possível separá-los por granulometria para posterior composição das amostras, que substituíram o agregado natural nas misturas cimentícias.

Três amostras de cada concreto foram submetidas, então, ao ensaio de resistência à compressão aos 28 dias para a verificação de sua resistência efetiva, os resultados podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resistência à compressão dos concretos que originaram o AGRC

Traços	Resistência Média (MPa)
MATBT-IV	43,43
MATBT-V	35,84

2.4 Produção dos concretos

Anteriormente a produção dos concretos, realizou-se a preparação do AGRC. As amostras de AGRC foram preparadas, com base na distribuição granulométrica do agregado graúdo natural (brita 0), e foram saturadas com 80% de sua absorção total (figura 2). Tal processo de saturação foi realizado 72h antes da produção dos concretos avaliados. O AGRC foi empregado para a produção dos concretos aos 7 dias.

Figura 2 – Processo de saturação do AGRC. (a) molhagem do AGRC. (b) homeogeneização do AGRC



Os concretos avaliados foram produzidos com o cimento pozolânico (CP IV). O teor de substituição do agregado graúdo natural pelo AGRC foi de 50%. No concreto de referência foi necessária a utilização de aditivo a base de éter policarboxílico visando melhorar a trabalhabilidade do material. No estado fresco do concreto, o ensaio de abatimento de tronco de cone foi realizado, conforme a NBR NM 67 (1998), visando à obtenção de um slump de 100 ± 30 mm. A tabela 3 demonstra as características dos concretos estudados, bem como os parâmetros das misturas.

Tabela 3 – Traços dos concretos estudados

Traços	Umidade do AGRC	Traço Unitário					Aditivo	a/c	Slump (mm)
		CP IV	a	p	AGRC IV	AGRC V			
Referência	-	1	2,95	3,23	-	-	0,0288	0,61	90
Concreto – AGRC IV	80,86	1	2,95	1,615	1,615	-	-	0,61	100
Concreto – AGRC V	80,86	1	2,95	1,615	-	1,615	-	0,61	90

As misturas foram realizadas em uma betoneira de tombo. A ordem de mistura dos materiais seguiu as recomendações de Cordeiro (2013)¹, onde o agregado graúdo reciclado de concreto foi o último material a ser colocado na mistura, visando não modificar a sua composição granulométrica.

Corpos de prova cilíndricos (9,5 x 19 cm) foram moldados para a realização dos ensaios mecânicos. O adensamento dos mesmos foi realizado em uma mesa vibratória. Após 24h, os cp's foram desmoldados e colocados em tanques de cura úmida, conforme NBR 5738 (2003).

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos estão apresentados a seguir sob uma abordagem estatística de análise de variância (ANOVA), com um intervalo de confiança 90%.

3.1 Resistência à compressão axial

Na tabela 4 são apresentados os resultados obtidos da análise de variância (ANOVA) para o ensaio de resistência à compressão dos concretos avaliados. Nota-se que o efeito isolado do traço e da idade influenciaram nos resultados de resistência à compressão, contudo a interação de ambos efeitos não foi significativa.

Tabela 4 – Análise ANOVA - resistência à compressão axial

Fonte da variação	gl	MQ	F	valor-P	Significância
Traço	2	5,40	5,50	0,020154	S
Idade	1	227,77	232,21	0,000000	S
Interações	2	0,44	0,45	0,645864	NS
Erro	12	0,98			
Total	17				

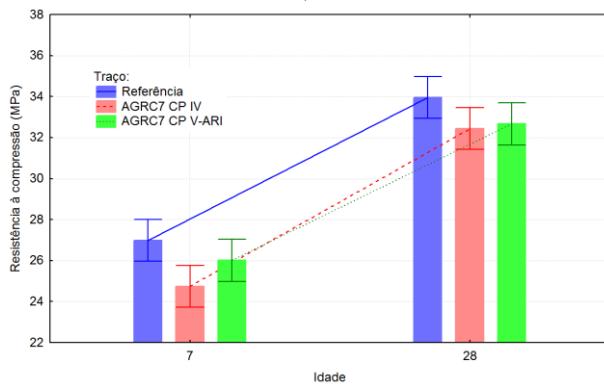
gl: graus de liberdade (n-1) MQ: média quadrática F: valor calculado de F p: nível de significância

S: valor significativo NS: valor não significativo Se $p < 5\%$ = efeito significativo

Conjuntamente, na figura 3 é apresentada a análise de variância (ANOVA) realizada. Nos concretos em que houve a adição de AGRC ocorreu uma diminuição da resistência à compressão (em ambas as idades) quando comparados ao concreto de referência. Leite (2001) defende que a maior porosidade e menor resistência mecânica apresentada pelo agregado reciclado quando comparado ao agregado natural propiciam essa diminuição da resistência mecânica do concreto.

¹ CORDEIRO, L. N. P. Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concreto. 2013. Tese (Doutorado). Trabalho não publicado.

Figura 3 – Análise ANOVA – resistência à compressão axial



Observa-se ainda que não ocorreu diferença significativa entre as resistências dos concretos com adições de AGRC-IV e AGRC-V. Neste sentido, pode-se dizer que o tipo de cimento presente no agregado graúdo reciclado de concreto (AGRC) não influenciou tal propriedade mecânica do compósito cimentício.

3.2 Módulo de elasticidade:

Na tabela 5 são apresentados os resultados obtidos da análise de variância (ANOVA) para o ensaio de módulo de elasticidade dos concretos avaliados. Observa-se que somente o efeito isolado da idade foi significativo.

Tabela 5 – Análise ANOVA - módulo de elasticidade

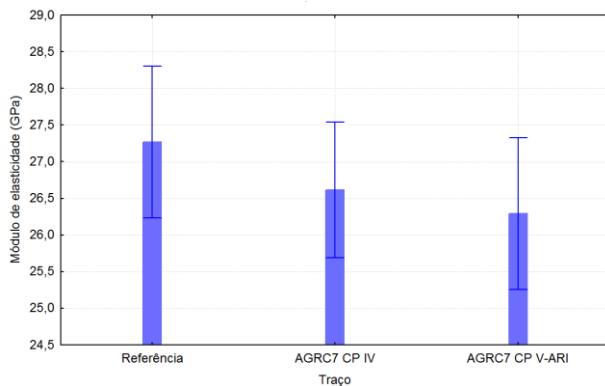
Fonte da variação	gl	MQ	F	valor-P	Significância
Traço	2	1,19	0,759	0,493160	NS
Idade	1	16,39	10,460	0,008957	S
Interações	2	4,48	2,863	0,104001	NS
Erro	10	1,57			
Total	15				

gl: graus de liberdade (n-1) MQ: média quadrática F: valor calculado de F p: nível de significância

S: valor significativo NS: valor não significativo Se $p < 5\%$ = efeito significativo

Observa-se a análise de variância (ANOVA) realizada para o efeito isolado do traço do concreto na propriedade do módulo de elasticidade, como demonstrado na figura 4.

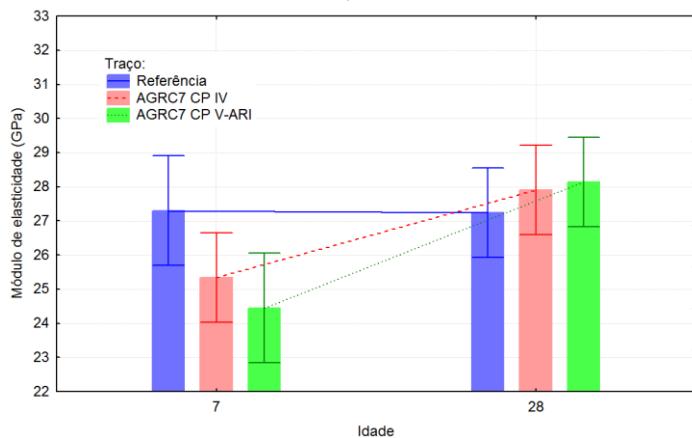
Figura 4 – Análise ANOVA – efeito isolado do traço no módulo de elasticidade



Nota-se que nos concretos em que foram utilizados os AGRC houve uma diminuição no módulo de elasticidade em relação ao concreto de referência. Tal comportamento já era esperado, uma vez que propriedades como porosidade e resistência mecânica do agregado influenciam na deformação do concreto.

Conjuntamente, realizou-se a análise de variância para verificar a influência da idade frente ao módulo de elasticidade dos concretos estudados, conforme demonstrado na figura 5.

Figura 5 – Análise ANOVA –módulo de elasticidade



Analizando os resultados, percebe-se um aumento do módulo de elasticidade de 7 para 28 dias. Pela análise de variância tal resultado demonstrou-se significativo. Conjuntamente, percebe-se o grande ganho no módulo de elasticidade para os concretos produzidos AGRC. Acredita-se que tal fato ocorreu devido ao aumento da hidratação do cimento.

Segundo Buttler (2003), muitos grãos de cimento não hidratados, aderidos à superfície do agregado reciclado acabam por se hidratar quando são colocados em uma nova mistura. Tal comportamento ocorre devido à migração de água da mistura para o agregado, gerando seu endurecimento e, consequentemente, proporcionando um ganho de resistência.

Igualmente, o autor menciona que a água presente no interior do agregado promove uma “cura interna” na zona de transição, melhorando suas propriedades. Para Leite (2001), a textura mais rugosa, o formato irregular e o fato de o agregado reciclado apresentar maior absorção fazem com que esse possua uma aderência maior com a pasta.

4 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foram avaliadas as propriedades mecânicas de concretos produzidos com

diferentes tipos de agregado graúdo reciclado de concreto (AGRC). Assim sendo, concluiu-se que:

- Para os concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concreto (AGRC) a resistência à compressão foi menor, nas idades avaliadas. Acredita-se que tal fato ocorreu devido a maior porosidade e menor resistência mecânica do AGRC quando comparado com o agregado natural;
- Não houve diferença significativa entre os resultados de resistência à compressão dos concretos produzidos com AGRC IV e AGRC V;
- Analisando os concretos frente ao módulo de elasticidade, percebeu-se a redução na magnitude da propriedade quando adicionado AGRC aos concretos. Tal comportamento já era esperado, uma vez que propriedades como porosidade e resistência mecânica do agregado influenciam na deformação do concreto;
- Houve diferença significativa entre os resultados de módulo de elasticidade para as idades de 7 e 28 dias;
- Para os concretos produzidos com AGRC, houve um ganho significativo no módulo de elasticidade. Acredita-se que tal fato ocorreu devido ao aumento da hidratação do cimento presente na matriz dos AGRC;
- De forma geral, percebeu-se a grande potencialidade do emprego de agregados graúdos reciclados de concreto na composição deste compósito cimentício, independente da composição do agregado reciclado empregado.

5 REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** PCC – São Paulo. 2001. 13 f. Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. Disponível em: <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/sustentabilidade.pdf>> Acesso em: Abril de 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** ABNT: Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** ABNT: Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 15112. Resíduos de construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro. 2004

_____. **NBR 15116. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concretos sem função estrutural- Requisitos.** Rio de Janeiro. 2004

_____. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** ABNT: Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739: Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos de Concreto.** ABNT: Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação.** ABNT: Rio de Janeiro, 2003.

BUTTLER, A.M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da Idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados.** 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **RESOLUÇÃO CONAMA nº307, de 5 de Julho de 2002.** 2002. Brasília: Diário Oficial da União

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo, 1992. Editora Pini-. 349p

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 270p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.