EFEITO DO USO DE AGREGADOS GRAÚDOS RECICLADOS DE CONCRETO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO ENDURECIDO

Thiago Mendes Leal da Silva [(1)]; Monalisa Renata Pinheiro Chaves [(2)]; Welington Rodrigo Chagas Lima [(3)]

(1) Universidade Federal do Pará – tmendes.leal@gmail.com; (2) Universidade Federal do Pará – engcivil.mrpc@gmail.com; (3) Universidade Federal do Pará – welington25lima@gmail.com

RESUMO

O setor da construção civil é de fundamental importância para o desenvolvimento de qualquer país, influenciando de forma direta em seu aspecto socioeconômico. Porém, mais recentemente, surge no cenário mundial uma preocupação no que diz respeito à quantidade e à destinação dos resíduos gerados por este setor, entre eles, os oriundos da demolição do concreto. A proposta deste trabalho é avaliar o efeito do uso de AGRC (agregados graúdos reciclados de concreto) com taxas de incorporação de 0%, 30% e 100% na produção de concretos para fins estruturais, e verificar o quanto este fator influencia em suas propriedades mecânicas, buscando desta forma alternativas viáveis do ponto de vista ambiental e econômico, sem comprometer o desempenho no concreto no estado endurecido. Para a avaliação dessas propriedades, foram realizados os seguintes ensaios: compressão axial; módulo de elasticidade; e tração por compressão diametral. Foi verificado também o comportamento das deformações dos corpos de prova ao longo de cada ensaio, com o auxílio de extensômetros fixados aos mesmos, juntamente com um sistema de aquisição de dados. Os resultados obtidos com o uso do AGRC mostram um ótimo desempenho.

Palavras-chave: agregado graúdo reciclado de concreto; concreto; deformações; propriedades mecânicas.

EFFECT OF THE USE OF RECYCLED CONCRETE COARSE AGGREGATES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HARDENED CONCRETE

ABSTRACT

The construction sector is of fundamental importance for the development of any country, directly influencing its socioeconomic aspect. However, more recently, there is a preoccupation in the world scenario about the quantity and destination of waste generated by this sector, including those from the concrete demolition. The purpose of this work is to evaluate the effect of the use of AGRC (recycled concrete coarse aggregates) with incorporation rates of 0% and 30% and 100% in the concrete production for structural purposes, and to verify how much this factor influences their mechanical properties, seeking this way viable alternatives from the environmental and economic point of view, without compromising the concrete performance in the hardened state. For evaluation of these properties, the following tests were performed: axial compression; modulus of elasticity; diametral compression traction. It was also verified the deformations behavior of the specimens along each test, with aid of extensometers connected to them, together with a data acquisition system. The results obtained with the use of the AGRC show a great performance.

Key-words: recycled concrete coarse aggregates; concrete; deformations; mechanical properties.

1. INTRODUÇÃO

Na Engenharia Civil, a utilização de RCD (Resíduos de Construção e Demolição) como agregados para concretos e argamassas tem sido foco de diversos estudos, visando tanto questões ambientais, quanto econômicas. Segundo Hamad e Dawi (2017)[1], como o concreto convencional é o material de construção mais utilizado em todo o mundo, existe uma grande preocupação com relação à futura escassez dos recursos naturais que compõem este material, e também com um destino mais adequado para os resíduos de concreto gerados, principalmente, através de demolições.

No ano de 2002, no Brasil, foi homologada a resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) 307[2], onde se define que grandes geradores dos setores públicos e privados passam a ser obrigados a desenvolver e a implementar um plano de gestão dos resíduos de construção e demolição, visando a sua reutilização, reciclagem ou destinação ambientalmente correta.

No mundo, a indústria da construção civil utiliza cerca de 20 bilhões de toneladas de agregados (graúdos e miúdos), 1,5 bilhão de toneladas de cimento e 800 milhões de toneladas de água por ano (Kubissa *et al*.; 2015)[3]. Segundo Mcginnis *et al*. (2017)[4], os impactos ambientais negativos gerados com a utilização de agregados reciclados reduzem pela metade quando comparados com o uso de agregados de origem natural.

De acordo com Buttler (2003)[5], dentre os inúmeros tipos de resíduos gerados pela construção civil, os oriundos do concreto mostram um bom potencial de utilização como agregados, devido ao seu menor grau de contaminação por outros materiais, quando comparados a outros resíduos da construção.

Estudos realizados pelos autores Etxeberria *et al*. (2007)[6], Hui-Sheng *et al*. (2009)[7] e Pandurangan *et al*. (2016)[8] mostraram que a incorporação de AGRC (Agregados Graúdos Reciclados de Concreto) na produção de novos concretos para fins estruturais pode sim gerar resultados satisfatórios no que diz respeito às propriedades mecânicas (resistências à compressão, à tração e módulo de elasticidade).

Este estudo busca avaliar as propriedades mecânicas de concretos para fins estruturais com diferentes taxas de substituição de agregados graúdos naturais por AGRC (de 0%, 30% e 100%) através de ensaios de resistência à compressão, à tração e módulo de elasticidade. E também

comparar o comportamento dos gráficos de tensão-deformação obtidos experimentalmente com o que é estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2014) [9].

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Agregado graúdo reciclado de concreto (AGRC)

A NBR 9935 (ABNT, 2011)[10] define o agregado reciclado de concreto como o material granular obtido por reciclagem de resíduos de concreto fresco ou endurecido, constituído na sua fração graúda (partículas com diâmetro superior a 4,75mm) de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e/ou material pétreo com propriedades que atendam à NBR 15116 (ABNT, 2004)[11].

Segundo Akbarnezhad *et al*. (2011)[12], dependendo do tamanho, os AGRC podem possuir um ou mais pedaços de agregados graúdos naturais, cercados completa ou parcialmente por uma camada de argamassa, ou podem ser essencialmente constituídos por argamassa com diferentes proporções de agregados naturais de tamanho menor embutidos. E em alguns casos, a presença de argamassa aderida à superfície do agregado natural é mínima, situação essa que mais se aproxima do ideal. A figura a seguir mostra essa variabilidade:

Figura 1 - (A) composto basicamente por argamassa; (B) pedaços de agregado natural envoltos por argamassa; (C) predominantemente natural - com pouca argamassa aderida em sua superfície.



(A) **(B)** **(C)**

2.2. Propriedades mecânicas de concretos produzidos com AGRC

2.2.1. Resistência à compressão

A viabilidade técnica de reinserção do material reciclado como agregado na produção de novos concretos é foco de diversas pesquisas (Poon e Kou, 2010[13]; Limbachiya *et al*., 2012[14]; Pandurangan *et al*., 2016[15]), e um dos principais pontos abordados está relacionado à resistência à compressão de concretos com incorporação de AGRC. De acordo com esses autores, percebe-se que se a taxa de substituição de AGN (Agregado Graúdo Natural) por AGRC for de até 30% aproximadamente, existe muito pouca variação nas resistências à compressão obtidas pelos concretos.

Guerra *et al*. (2014)[16] mostram em seus estudos que as resistências à compressão de concretos convencionais superaram no mínimo em 10% as dos concretos compostos somente por AGRC. E essa diferença cai ainda mais quando comparadas a concretos com 20% e 50% de AGRC incorporado, ou seja, resistências praticamente equivalentes.

2.2.2. Módulo de elasticidade

De acordo com Silva *et al*. (2016)[17], entre os diversos fatores que podem afetar o módulo de elasticidade de concretos com AGRC são: a taxa de substituição de agregados graúdos naturais por AGRC; as dimensões dos agregados e sua procedência, que interferem diretamente na sua qualidade; procedimento de mistura no momento da preparação; condições de cura; utilização de aditivos; e a idade do concreto no momento do ensaio.

Dhir e Paine (2004)[18] mostram que há uma influência negativa nos valores de módulo de elasticidade à medida que as taxas de AGRC utilizados aumentam. Xiao *et al*. (2005)[19] aponta que quando o concreto é produzido com AGRC apenas, o módulo de elasticidade tende a diminuir entre 20% e 40% quando comparado a concretos produzidos somente com AGN.

2.2.3. Resistência à tração

Etxeberria *et al*. (2007)[6] e Poon e Kou (2010)[13] relatam em seus estudos que o concreto com agregado reciclado apresentou melhor desempenho com relação ao concreto convencional no que diz respeito à resistência à tração. Esses autores mencionam que este ganho de resistência é

devido à capacidade de absorção de água dos restos de argamassa presentes no AGRC e seu aspecto rugoso que tendem a melhorar as zonas de transição interfaciais entre os agregados reciclados e a nova argamassa.

De acordo com Kubissa *et al*. (2015)[3], concretos produzidos com AGRC atingem maiores resistências à tração quando comparados a concretos convencionais. Em estudos realizados por esses autores, as resistências apresentadas por concretos com taxas de 30% e 100% de AGRC chegaram a superar em até 12% as resistências dos concretos produzidos apenas com agregados graúdos naturais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização dos materiais

O cimento utilizado para a realização deste trabalho foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI). Para este material foi realizado o ensaio de massa específica, de acordo com a norma NBR NM 23 (ABNT, 2000)[20] e o valor encontrado foi de 3,09 g/cm³.

Já o agregado miúdo natural usado era de origem quartzosa, e os ensaios de caracterização feitos foram o de massa unitária (NBR NM 45, ABNT 2006)[21] e massa específica (NBR NM 52, ABNT 2009)[22], onde foram encontrados respectivamente os resultados de 1,51 g/cm³ e 2,61 g/cm³.

O agregado graúdo natural utilizado foi a brita 1 (variação granulométrica de 9,5mm a 19mm) de natureza granítica. Para o ensaio de massa unitária (NBR NM 45, ABNT 2006)[21] o resultado encontrado foi de 1,49 g/cm³, e para o de massa específica (NBR NM 53, ABNT 2009)[23], de 2,65 g/cm³.

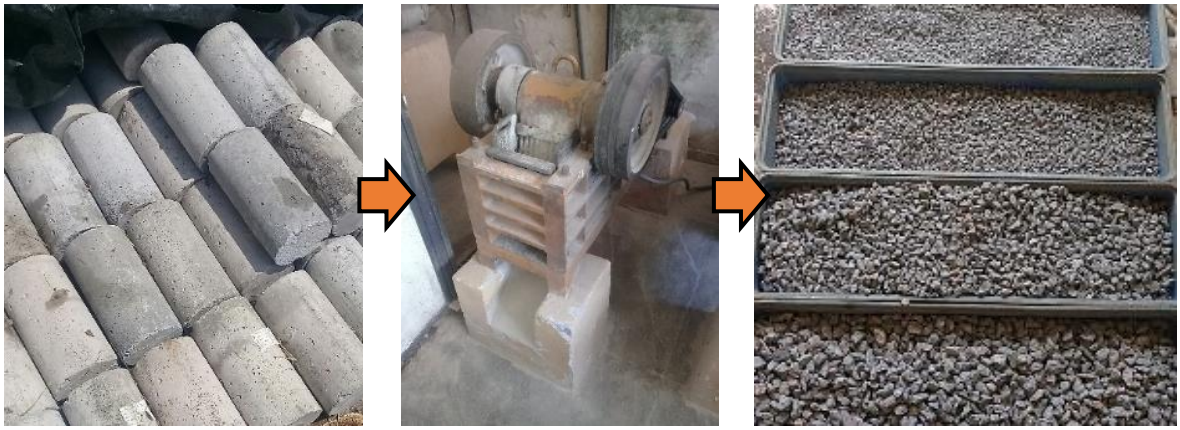
O aditivo usado foi o superplastificante GLENIUM 51, que de acordo com o fabricante, deve ser utilizado nas dosagens de 0,2% a 1% da massa de cimento presente na mistura.

3.1.1. Agregado graúdo reciclado de concreto

O AGRC utilizado foi gerado através do processo de britagem (com o auxílio de um britador de mandíbula) de corpos de prova de concreto produzidos em laboratório e já descartados. Foi estabelecido como um critério base para a coleta dos espécimes que os mesmos tivessem sido produzidos com concreto convencional e suas resistências à compressão fossem igual ou maior que 25 MPa. Além de outros aspectos subjetivos, tais como: a qualidade estética; amostras não úmidas;

corpos de provas não destruídos. A figura 2 mostra parte do processo de manipulação deste material:

Figura 2 - (A) corpos de prova descartados; (B) britador de mandíbula utilizado na cominuição dos espécimes; (C) material britado (AGRC).



(A) **(B)** **(C)**

Os ensaios de caracterização realizados com os AGRC foram o de massa unitária (NBR NM 45, ABNT 2006)[21], e para encontrar a massa específica foi utilizada uma metodologia apresentada por Leite *et al*. (2011)[24], pois ainda não há prescrições normativas da ABNT para se determinar a massa específica do AGRC. Os resultados obtidos foram de 1,11 g/cm³ para a massa unitária, e de 2,62 g/cm³ para a massa específica.

3.2. Produção do concreto

O método de dosagem utilizado neste trabalho foi o IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1992)[25]. A dosagem do concreto visava um valor de Fck igual a 30 MPa para três traços com teores de substituição (de agregado graúdo natural por AGRC) diferentes: 0%; 30%; e 100%. Os traços utilizados para a produção dos concretos são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 1 – Dosagens dos traços

Concretos	m	c	a	p		Cc (kg/m³)	a/c	α (%)
				AGN	AGRC			
Traço 1 - 0% AGRC	5,3	1	2,21	3,09	0,00	342,47	0,59	
Traço 2 - 30% AGRC	5,1	1	2,11	2,09	0,90	349,88	0,60	51
Traço 3 - 100% AGRC	5,2	1	2,16	0,00	3,04	337,24	0,62	

O aditivo superplastificante foi utilizado para os traços 2 e 3 com a intenção de atingir uma boa trabalhabilidade no processo de mistura. As quantidades foram de 0,2% e 0,7% (da massa de cimento utilizada para cada traço), respectivamente.

O processo de moldagem, cura e desforma dos corpos de prova foram realizados segundo a NBR 5738 (ABNT, 2003)[26]. Para cada concretagem foram moldados seis corpos de prova cilíndricos, onde: dois foram utilizados para o ensaio de compressão axial (NBR 5739, ABNT 2007)[27]; dois para o de módulo de elasticidade (NBR 8522, ABNT 2008)[28]; e dois para o de tração por compressão diametral (NBR 7222, ABNT 2011)[29]. Os ensaios foram realizados aos 56 dias de idade dos concretos.

Para a análise dos experimentos, foram considerados apenas os espécimes que atingiram os melhores resultados (potenciais). Esse método foi aplicado devido à quantidade de extensômetros disponíveis, o que acabou restringindo a quantidade de corpos de prova produzidos para a realização de cada ensaio.

3.3. Instrumentação dos corpos de prova

Para realização dos ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral, foi feita a instrumentação dos corpos de prova utilizando dois extensômetros elétricos de superfície para cada exemplar, no intuito de registrar suas deformações longitudinais e transversais, respectivamente. Já para os de módulo de elasticidade, foi usado um par de extensômetros do tipo “clip gage”, responsáveis por verificar as deformações longitudinais. Esse procedimento foi feito com a intenção de monitorar diversos intervalos de deformações no decorrer dos ensaios com o auxílio de um sistema de aquisição de dados.

Para a geração dos gráficos que serão apresentados na seção a seguir, foi considerada uma média simples entre as deformações registradas pelos dois extensômetros presentes em cada corpo de prova.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Compressão axial

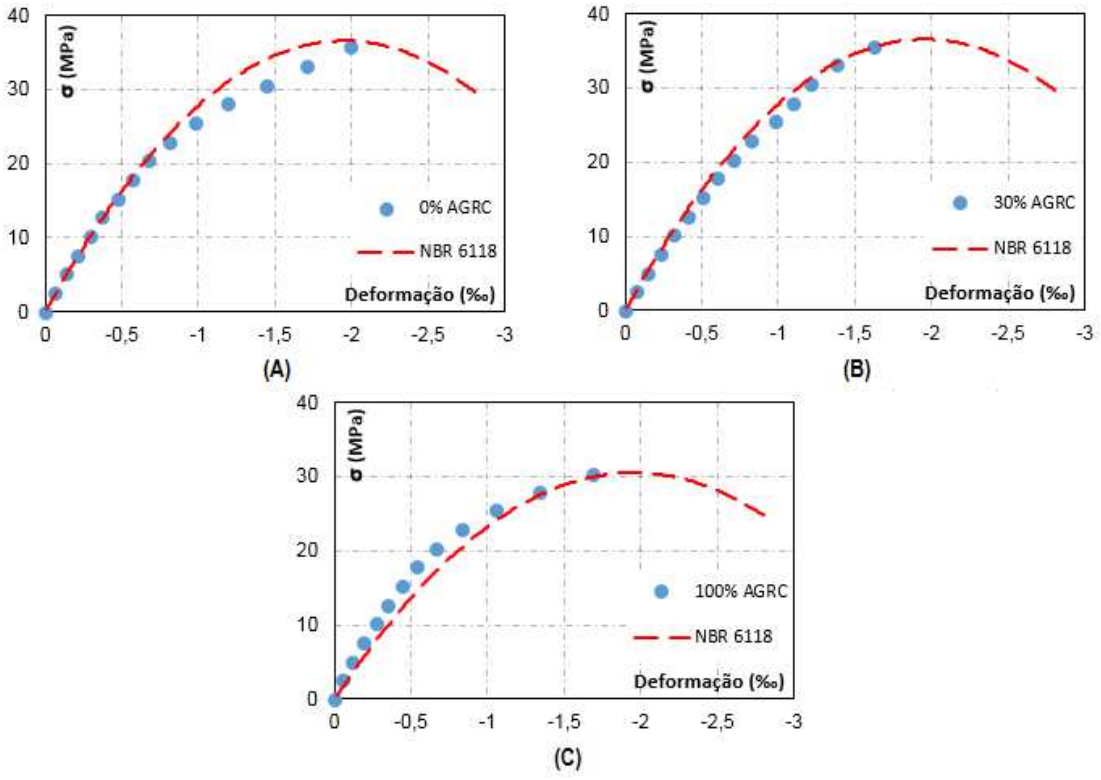
A tabela 2 mostra as resistências à compressão para cada traço e as deformações máximas registradas (momento da ruptura):

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de compressão axial aos 56 dias

Concretos	Resistência à compressão - 56 dias (MPa)	Deformações máximas registradas - Ruptura (‰)
1 – 0% AGRC	35,9	1,988
2 – 30% AGRC	35,5	1,621
3 – 100% AGRC	30,4	1,686

Já a figura 3 mostra graficamente a relação tensão-deformação obtida durante os ensaios. O tracejado em vermelho representa um comportamento ideal para este ensaio, previsto na NBR 6118 (ABNT, 2014)[9]. Isso foi feito com o intuito de comparar visualmente os resultados obtidos em laboratório com o que é apresentado pela norma.

Figura 3 - (A) 0% AGRC; (B) 30% AGRC; (C) 100% AGRC.



Pode-se notar que a relação entre os dados de tensão e deformação obtidos durante os ensaios apresenta uma ótima coerência com o que é apresentado na NBR 6118 (ABNT, 2014)[9]. Para o espécime produzido somente com AGN, as deformações no momento da ruptura ficaram próximas de 2‰, o que também é previsto em norma. Os valores de deformação ficaram entre de 1,6‰ e

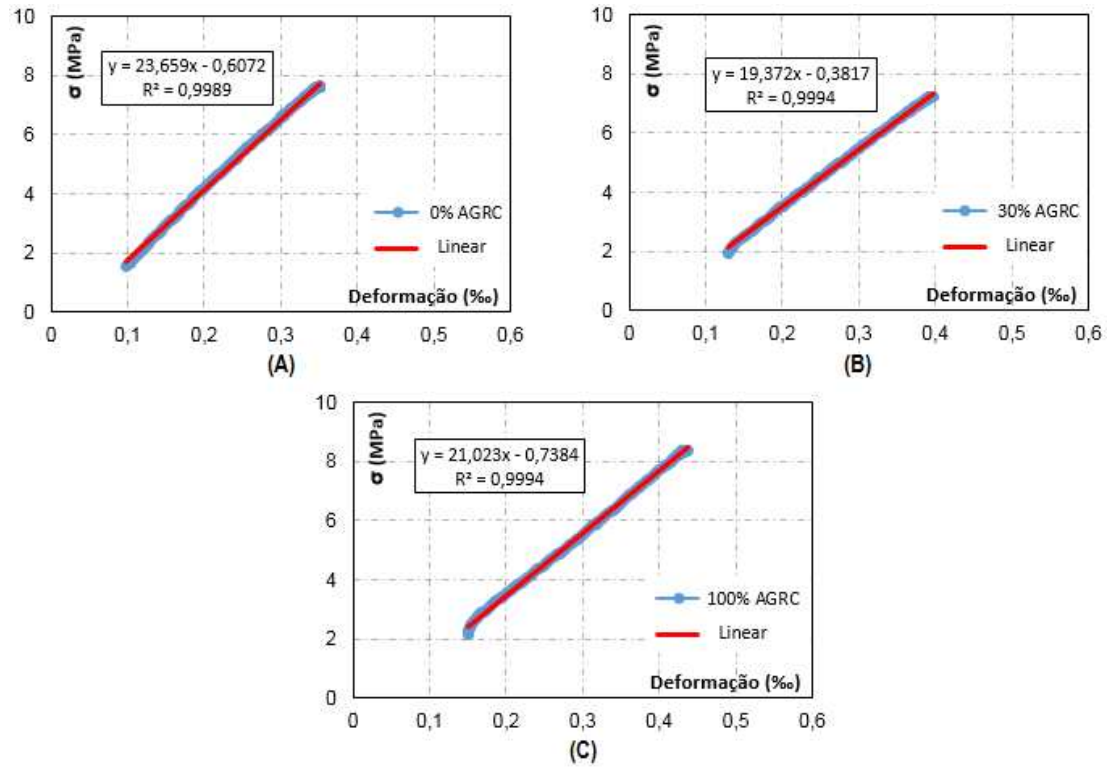
1,7‰ para os concretos com AGRC (30% e 100%), o que pode ser considerado satisfatório para este tipo de agregado.

A resistência apresentada pelo concreto com 30% de AGRC foi muito próxima a do concreto convencional. Isso evidencia uma concordância com estudos realizados autores Poon e Kou (2010)[13], Limbachiya *et al*. (2012)[14] e Pandurangan *et al*. (2016)[15], que mostram que a incorporação de até 30% de AGRC não compromete a resistência à compressão. Já o concreto com 100% de AGRC ficou com uma resistência em torno de 15% abaixo do concreto feito apenas com AGN, que indica uma variação próxima ao que Guerra *et al*. (2014)[16] mostram em suas pesquisas.

4.2. Módulo de elasticidade

A figura 4 revela os gráficos que relacionam a tensão e a deformação observadas durante o experimento. Como as tensões no corpo de prova neste ensaio são relativamente baixas, pode-se admitir um comportamento linear nos gráficos.

Figura 4 - (A) 0% AGRC; (B) 30% AGRC; (C) 100% AGRC.



Com os dados apresentados, foi calculado para cada corpo de prova o módulo de elasticidade tangente inicial, especificado na NBR 8522 (ABNT 2008)[28]. A tabela 3 mostra esses resultados:

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade aos 56 dias

Concretos	Módulo de elasticidade - 56 dias (GPa)
1 – 0% AGRC	23,7
2 – 30% AGRC	19,7
3 – 100% AGRC	21,1

Os resultados encontrados para o concreto com 0% de AGRC foi superior aos demais, o que era previsto, já que Dhir e Paine (2004)[18] mostram em seus estudos que a incorporação de AGRC reduz os resultados nesse tipo ensaio. Os mesmos autores justificam que tal fato pode ser explicado pelo maior módulo de elasticidade da brita granítica em comparação ao AGRC, o que reflete diretamente no módulo de elasticidade dos concretos produzidos com esses materiais.

Xiao *et al*. (2005)[19] aponta que concretos produzidos somente com AGRC, o módulo de elasticidade tende a diminuir entre 20% e 40% quando comparado a concretos convencionais, porém neste trabalho observa-se uma redução de apenas 11%, o que pode estar diretamente relacionado a boa qualidade dos corpos de prova coletados para produzir os AGRC utilizados neste trabalho.

4.3. Tração por compressão diametral

A tabela 4 apresenta as resistências à tração alcançadas por cada espécime, assim como, as deformações máximas registradas até o momento da ruptura:

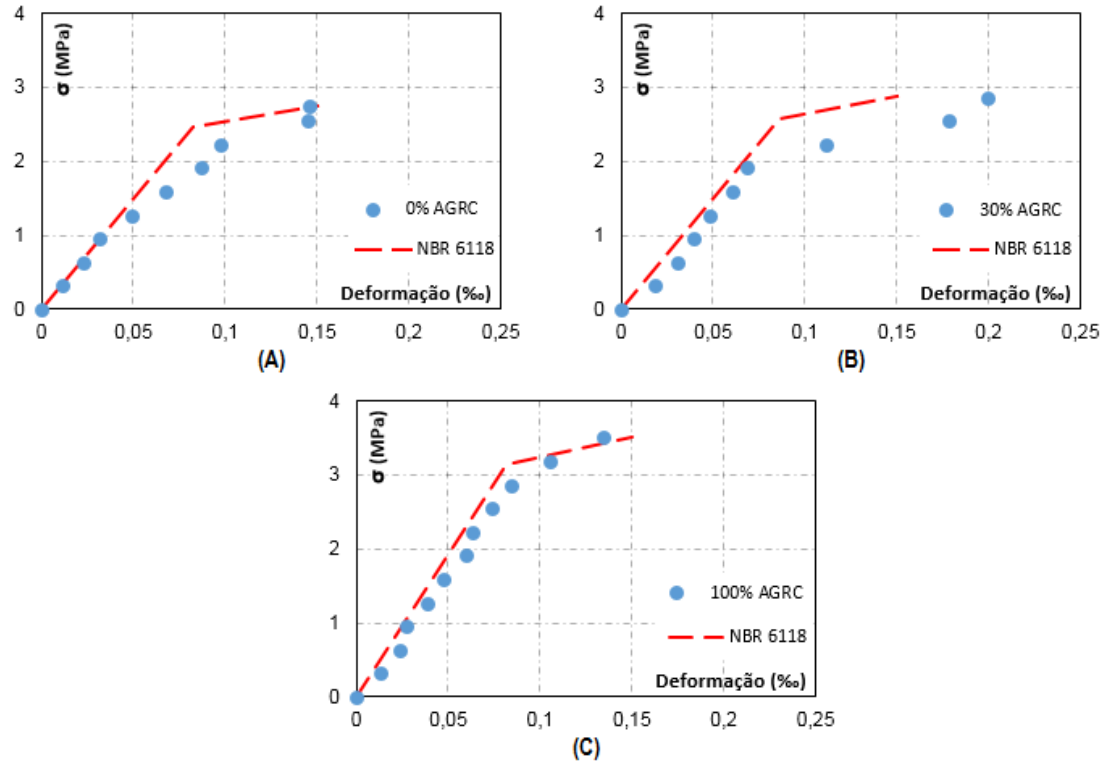
Tabela 4 – Resultados dos ensaios de tração por compressão diametral aos 56 dias

Concretos	Resistência à tração - 56 dias (MPa)	Deformações máximas registradas - Ruptura (‰)
1 – 0% AGRC	2,8	0,145
2 – 30% AGRC	2,9	0,199
3 – 100% AGRC	3,5	0,134

Através de gráficos, a figura 5 mostra os dados de tensão e deformação obtidos nos ensaios. A NBR 6118 (ABNT, 2014)[9] propõe, de maneira simplificada, um comportamento bilinear (tracejado em vermelho) para os gráficos de tensão-deformação neste método de ensaio. Assim como nos

ensaios de compressão, isso foi feito com a intenção de comparar os resultados dos ensaios com o que está presente na norma.

Figura 5 - (A) 0% AGRC; (B) 30% AGRC; (C) 100% AGRC.



Nos gráficos apresentados pode-se notar que existe uma concordância no comportamento dos resultados obtidos em laboratório com o modelo bilinear apresentado na NBR 6118 (ABNT, 2014)[9], considerando que a norma sugere uma representação ideal, os desvios observados se encontram dentro do esperado.

Observa-se que os concretos com 0% e 100% de AGRC apresentaram deformações bem próximas de 0,15‰ até o momento da ruptura, como é previsto na NBR 6118 (ABNT, 2014)[9]. O concreto com 30% de AGRC apresentou uma deformação acima do previsto. Porém, deformações de até 0,2‰ ainda se encontra dentro dos parâmetros aceitáveis.

Houve um ganho de resistência à medida que as taxas de AGRC cresceram, com destaque para o concreto produzido somente com AGRC. Tal situação se encontra de acordo com o que Poon e Kou (2010)[13] e Kubissa *et al*. (2015)[3] apresentaram em seus estudos, onde as resistências à tração de concretos com agregados reciclados foram superiores as do concreto convencional.

5. CONCLUSÕES

Percebe-se no presente trabalho que o desempenho dos concretos produzidos com AGRC foi satisfatório no que se refere às propriedades mecânicas e também às deformações, mesmo utilizando como parâmetros o que está na NBR 6118 (ABNT, 2014)[9], que ainda não considera a utilização de AGRC, fato esse que deve mudar em breve. Sendo assim, os objetivos citados inicialmente foram atingidos.

Os resultados dos ensaios de compressão axial, módulo de elasticidade e tração por compressão diametral realizados neste estudo mostraram uma coerência com trabalhos desenvolvidos por diversos pesquisadores citados, com algumas oscilações, já que o AGRC é um material bastante heterogêneo, que pode ter como origem diversos tipos de concretos com as mais variadas finalidades.

Quanto às deformações registradas, elas se apresentaram bem coerentes com o que é observado na NBR 6118 (ABNT, 2014)[9]. Logo, pode-se notar que com relação às deformações, concretos com AGRC têm um comportamento similar aos concretos convencionais, o que traz a possibilidade de aplicação do que é apresentado na NBR 6118 (ABNT, 2014)[9] também para concretos com a incorporação de AGRC, após passar pelas devidas adaptações.

Este estudo também busca, entre outras coisas, ampliar o conhecimento sobre os agregados graúdos reciclados de concreto e o quanto eles influenciam nas propriedades mecânicas do concreto endurecido e, principalmente, no que diz respeito às suas deformações, que exigem um cuidado maior para serem monitoradas. Nesta pesquisa, o AGRC mostrou que tem um potencial real na indústria da construção civil em uma maior escala, na produção de concretos com as mais variadas finalidades, entre elas, a estrutural.

6. REFERÊNCIAS

1. HAMAD, B. S.; DAWI, A. H., Sustainable normal and high strength recycled aggregate concretes using crushed tested cylinders as coarse aggregates. **Case Studies in Construction Materials**, Vol. 7, p. 228-239, 2017.
2. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução 01/1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 20 de abril de 2019.
3. KUBISSA, W.; JANKULSKI, R.; KOPER, A.; SZPETULSKI, J., Properties of concretes with natural aggregate improved by RCA addition. **Procedia Engineering**, Vol. 108, p. 30-38, 2015.
4. MCGINNIS, M. J.; DAVIS, M.; DE LA ROSA; A.; WELDON, B. D.; KURAMA, Y. C., Quantified sustainability of recycled concrete aggregates. **Magazine of Concrete Research**, Vol. 69, p. 1203-1211, 2017.
5. BUTTLER, 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 Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
6. ETXEBERRIA, M.; VÁZQUEZ, E.; MARÍ, A.; BARRA, M., Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Research**, Vol. 37, p. 735-742, 2007.
7. HUI-SHENG, S.; BI-WAN, X.; XIAO-CHEN, Z., Influence of mineral admixtures on compressive strength, gas permeability and carbonation of high performance concrete. **Construction and Building Materials**, Vol. 23, p. 1980-1985, 2009.
8. PANDURANGAN, K.; DAYANITHY, A.; OM PRAKASH, S., Influence of treatment methods on the bond strength of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, Vol. 120, p. 212-221, 2016.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935:** Agregados – Terminologias. Rio de Janeiro, 2011.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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.
12. AKBARNEZHAD, A.; ONG, K. C. G.; ZHANG, M. H.; TAM, C. T.; FOO, T. W. J., Microwave-assisted beneficiation of recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, Vol. 25, p. 3469-3479, 2011.
13. POON, C.; KOU, S. Effects of fly ash on mechanical properties of 10-years-old concrete prepared with recycled concrete aggregates. In: 2nd International Conference on Waste Engineering Management (ICWEM), 2010, Shanghai, China: RILEM Publications SARL, 2010, p. 46–59.
14. LIMBACHIYA, M.; MEDDAH, M. S.; OUCHAGOUR, Y., Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete. **Construction and Building Materials**, Vol. 27, p. 439-449, 2012.

15. PANDURANGAN, K.; DAYANITHY, A.; OM PRAKASH, S., Influence of treatment methods on the bond strength of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, Vol. 120, p. 212-221, 2016.

16. GUERRA, M.; CEIA, F.; de BRITO, J.; JÚLIO, E., Anchorage of steel rebars to recycled aggregates concrete. **Construction and Building Materials**, Vol. 72, p. 113-123, 2014.

17. SILVA, R. V.; BRITO, J. de; DHIR, R. K., Establishing a relationship between modulus of elasticity and compressive strength of recycled aggregate concrete. **Journal of Cleaner Production**, Vol. 112, p. 2171-2186, 2016.

18. DHIR, R. K.; PAINE, K. A. Suitability and practicality of using coarse RCA in normal and high strength concrete. In: 1st International Conference on Sustainable Construction: Waste Management, 2004, Singapore: 2004, p. 108-123.

19. XIAO, J. Z.; LI, J.; ZHANG, C., Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading. **Cement and Concrete Research**, Vol. 35, p. 1187-1194, 2005.

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

21. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:** Agregado - Determinação da massa unitária e dos espaços vazios. Rio de Janeiro, 2006.

22. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

23. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

24. LEITE, M. B.; CORDEIRO, L. N. P.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C. Proposta de adaptação do procedimento proposto por Leite (2001) para determinação da absorção de agregados reciclados de resíduo de construção demolição. In: Congresso Internacional Sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, 7º, 2011, Fortaleza: Anais CINPAR, 2011.

25. HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: PINI; Brasília: SENAI, 1992, 349p.

26. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

27. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

28. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522:** Concreto – Determinação do módulo de deformação estático e diagrama tensão-deformação – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.

29. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222:** Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.