



# Análise do emprego de diferentes tipos de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em concretos com vistas à sustentabilidade: uma análise técnica e vantagens econômicas

## Analysis of the use of different types of Construction and Demolition Waste (CDW) in concrete for sustainability: a technical analysis and economic advantages

Sérgio Roberto da SILVA [1](#); Jairo José de Oliveira ANDRADE [2](#)

Recibido: 16/12/16 • Aprobado: 12/01/2017

### Conteúdo

- [1. Introdução](#)
  - [2. Materiais e métodos](#)
  - [3. Resultados e discussão](#)
  - [4. Considerações Finais](#)
- [Referências Bibliográficas](#)

#### RESUMO:

Os resíduos na construção civil são responsáveis por um volume expressivo de resíduos sólidos urbanos gerado pela população. As pesquisas para sua utilização como agregado miúdo e graúdo vem sendo feitas por diversas universidades e institutos de pesquisa, com o intuito de diminuir o descarte inadequado e ser uma fonte alternativa de recursos. É uma questão complexa a viabilidade técnica e econômica, devido aos materiais e os processos de utilização serem bastante variáveis de acordo com cada região. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo promover e avaliar o uso de agregados reciclados de construção e demolição (RCD) - concreto e mistos - na fabricação de concretos. Para isso, foi realizado um programa experimental com relação a/c 0,40 0,50 e 0,60 e teores de substituição de 0% 50% e 100% dos agregados graúdos. Nesse

#### ABSTRACT:

Waste in construction are responsible for a significant volume of municipal solid waste generated by the population. Searches for its use as several universities and research institutes, in order to reduce the improper disposal and be an alternative source of funds, have made fine and coarse aggregate. It is a complex issue the technical and economic viability, due to the materials and use processes are highly variable according to each region. In this context, this paper aims to promote and evaluate the use of recycled aggregates from construction and demolition (RCD) - concrete and mixed - in the manufacture of concrete. To this, it was conducted an experimental program with w / c ratio 0.40 0.50 to 0.6 and replacement of content 0% 50% and 100% of coarse aggregates. In this paper, we present the results of mechanical strength and

trabalho serão apresentados os resultados de resistência mecânica, porosidade aparente, absorção de água e massa específica, bem como uma estimativa de economia de custos associados.

**Palavras-Chaves:** Concreto, agregado graúdo reciclado, custos associados.

durability as well as an estimate of the associated cost savings.

**Key Words:** concrete, recycled coarse aggregate, associated costs.

## 1. Introdução

Segundo Dabhade, Chaudari, & Gajbhaye (2014), a indústria da construção civil é um dos segmentos que mais consome recursos naturais e gera grande volume de resíduos sólidos que impactam de forma negativa no meio ambiente quando não destinados de forma adequada. Segundo o autor, estima-se que a indústria da construção civil consome aproximadamente 50% dos recursos naturais, 40% da energia total produzida e gera aproximadamente 50% do total de resíduos sólidos.

A reutilização do resíduo da construção é fundamental para que haja uma economia nos recursos naturais, proteger o meio ambiente e realizar um desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil (Leite & Monteiro, 2016; Xiao, Li, Fan, & Huang, 2012; Behera, et al., 2014).

O emprego de resíduo da construção e demolição (RCD) na produção de concretos já é bastante discutida entre os pesquisadores, e os resultados obtidos são considerados bastante viáveis quando utilizados pequenas proporções de substituição de agregado natural por RCD (Limbachiya, Meddah, & Ouchagour, 2012; Zong, Fei, & Zhang, 2014). Pesquisas mostram que a aplicação de resíduo da construção e demolição (RCD) como agregado, em substituição parcial ao agregado natural, em pequenas quantidades (até 30%), é considerado como um fator aceitável para o desempenho da resistência mecânica e de durabilidade (Limbachiya et al., 2012; Poon, Kou, & Lam, 2007; Lotfi, Eggimann, Wagner, Mróz, & Deja, 2015; Lotfy & Al-Fayez, 2015).

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar as propriedades mecânicas dos concretos fabricados com resíduo de concretos e com resíduos de materiais mistos de construção e demolição como agregados graúdos. Para isto foi realizado um extenso programa experimental onde foram consideradas relações a/c 0,40 0,50 e 0,60, e teores de substituição de agregado graúdo por agregado reciclado de 0% 50% e 100%.

Foi analisada a resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, porosidade aparente, absorção de água e massa específica. Com base nos resultados obtidos foi realizado um estudo comparativo entre os concretos produzidos com agregado graúdo reciclado misto e os concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concretos, e foi realizada uma estimativa econômica de custos dos concretos produzidos com agregado reciclado.

Os resultados mostraram que o emprego do RCD com agregado reciclado para a produção de concreto é viável, logo o uso do RCD pode contribuir para um desenvolvimento mais sustentável e econômico na indústria da construção civil.

## 2. Materiais e métodos

O cimento utilizado foi o CP IV 32, e apresenta os compostos com maiores percentuais que são: CaO com 45,07%, SiO<sub>2</sub> com 21,7%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com 31,7% e resíduos insolúveis com 32,14%. No que diz respeito à sua caracterização física, verificou-se que a sua resistência mecânica aos 28 dias é de 38,7 MPa, cujos dados de caracterização química e física apresentados foram obtidos do fabricante. As caracterizações físicas dos agregados bem como suas origens estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterizações físicas dos agregados utilizados

<b>Material – Parâmetros</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita Natural Basáltica</b>	<b>ARM</b>	<b>ARC</b>
Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )	2,63	2,80	2,50	2,72
Massa Unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	1,50	1,33	1,22	1,33
Módulo de Finura	1,75	2,75	2,64	2,60
Dmáx Característica (mm)	2,38	19	19	19
Método do Ensaio	(ABNT NBR MN 52, 2009)	(ABNT NBR MN 53, 2009)		
Origem do agregado	Rio Jacuí/RS	Porto Alegre	Porto Alegre	ARM britado

ARM = agregado reciclado misto, ARC = agregado graúdo de concretos

Após a caracterização dos materiais, para utilização no ensaio foi realizada a dosagem dos concretos, fixando-se o teor de argamassa em 53%. O método empregado para dosagem do concreto foi IPT/EPUSP (Helene & Terzian, 1992). A Tabela 2 apresenta o traço em massa e o consumo de cimento do concreto de referência (CREF).

**Tabela 2.** Traço em massa do CREF e consumo de cimento

<b>a/c</b>	<b>m</b>	<b>a</b>	<b>p</b>	<b>C (kg/m<sup>3</sup>)</b>
0,40	2,9	1,15	1,76	557
0,50	4,0	1,75	2,24	435
0,60	4,5	2,05	2,49	392

O agregado reciclado misto é composto de 48% de agregado graúdo natural (seixo rolado), 43,2% de concreto, 7,2% de cimento e 1,6% de outros materiais. Para a produção dos concretos com agregado reciclado misto, foi considerado a compensação do volume ao determinar o seu peso em massa (Leite, 2001), com base na fórmula apresentada na Equação (1) (Leite, 2001).

$$M_{AGR} = M_{AGR} \frac{\gamma_{AGR}}{\gamma_{AGN}}$$

(1)

onde:

MAGR = Massa do agregado gráúdo reciclado, em kg

MAGN = Massa do agregado gráúdo natural, em kg

$\gamma_{AGR}$  = Massa específica do agregado gráúdo reciclado, em kg/dm<sup>3</sup>

$\gamma_{AGM}$  = Massa específica do agregado gráúdo natural, em kg/dm<sup>3</sup>

A Tabela 3 apresenta os traços em massa e o consumo de cimento dos concretos com agregado reciclado misto.

**Tabela 3.** Traço em massa utilizado na produção dos concretos com agregado misto

Teor de Substituição	Relação a/c	a	pN	pM	C (kg/m <sup>3</sup> )
50%	0,40	1,21	0,98	0,86	511
	0,50	2,08	1,36	1,20	376
	0,60	2,94	1,75	1,53	298
100%	0,40	1,21	0	1,72	511
	0,50	2,08	0	2,39	376
	0,60	2,94	0	3,06	298

a – Agregado Miúdo Natural / pN – Agregado Graúdo Natural / pM – Agregado Graúdo reciclado misto

A Tabela 4 apresenta o traço em massa e o consumo de cimento dos concretos com agregado reciclado de concreto.

**Tabela 4.** Traço em massa utilizado na produção dos concretos com agregado de concretos

Teor de Substituição	Relação a/c	a	pN	pC.	C (kg/m <sup>3</sup> )
50%	0,40	1,21	0,98	0,98	521
	0,50	2,08	1,36	1,36	380
	0,60	2,94	1,74	1,74	310
100%	0,40	1,21	0	1,96	521
	0,50	2,08	0	2,73	380
	0,60	2,94	0	3,49	310

a – Agregado Miúdo Natural / pN – Agregado Graúdo Natural / pC – Agregado Graúdo reciclado de concreto

Os ensaios realizados bem como os métodos utilizados estão apresentados na Tabela 5.

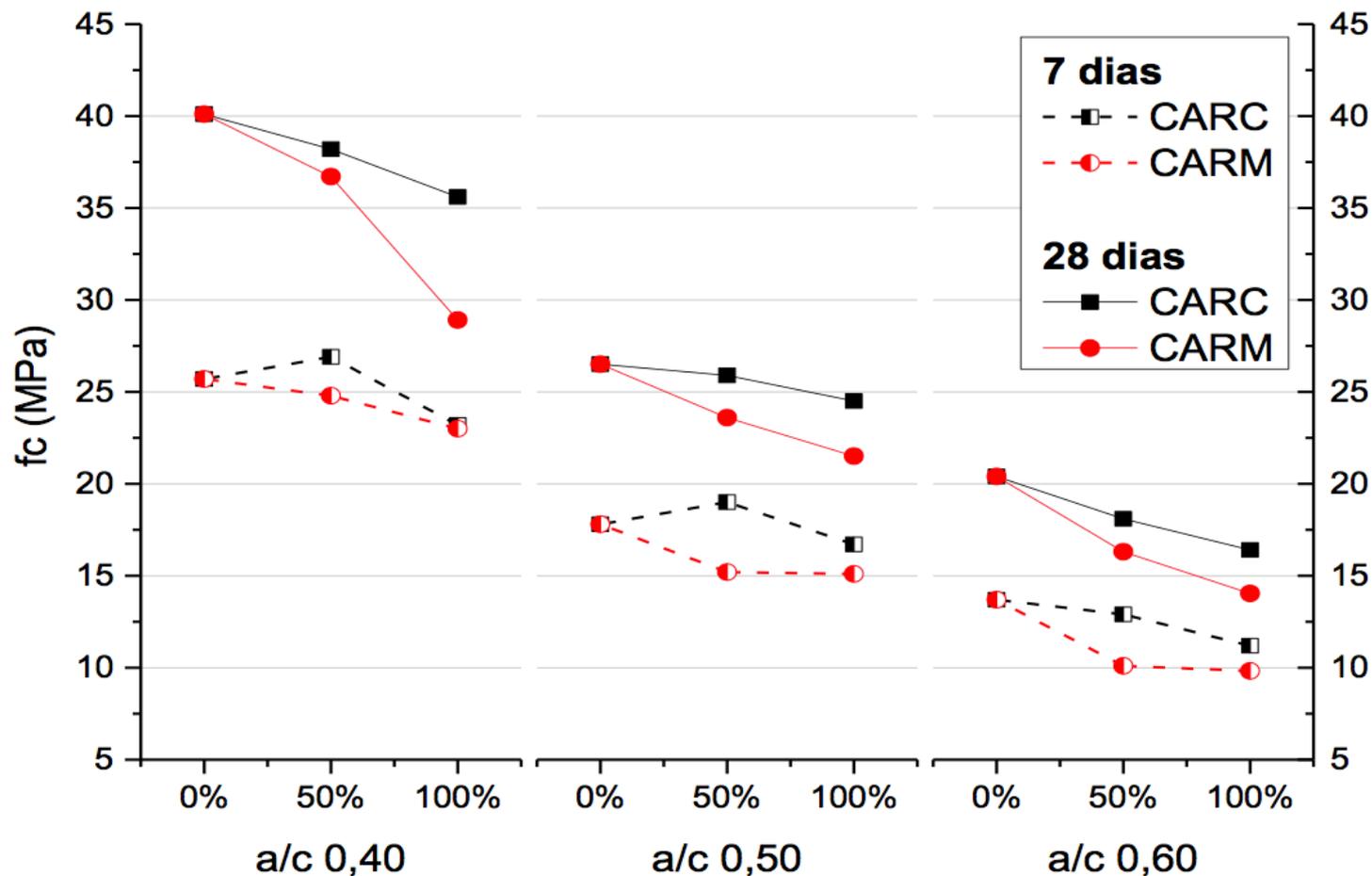
**Tabela 5.** Métodos aplicados para cada procedimento de ensaio

Ensaio	Método
Abatimento pelo tronco do Cone	(ABNT NBR NM 67, 1986)
Moldagem dos Corpos-de-prova	(ABNT NBR 5738, 2015)
Ensaio mecânicos	(ABNT NBR 5739, 2007), (ABNT NBR 7222, 2011)
Método de obtenção dos resultados	(ABNT NBR 12655, 2011)
Valores limites aceitáveis de resistência mecânica	(ABNT NBR 6118, , 2014)

### 3. Resultados e discussão

A Figura 1 mostra um comparativo da resistência à compressão axial dos concretos com agregado reciclado de concretos (CARC) e concretos com agregado reciclado misto (CARM) aos 7 e 28 dias de idade.

**Figura 1.** Comparativo de resistência à compressão axial entre os concretos CARM e CARC



A substituição parcial de agregado graúdo natural (AGN) por agregado graúdo reciclado (AGR) diminui a resistência do concreto (Xiao et al., 2012; Limbachiya et al., 2012; Leite, 2001), porém esta diminuição está relacionada a dois fatores que é a relação a/c e os tipos de materiais que constituem os AGR (Xiao et al., 2012; Behera et al., 2014; Leite, 2001), como materiais cerâmicos, impurezas e contaminantes, que podem influenciar na resistência do

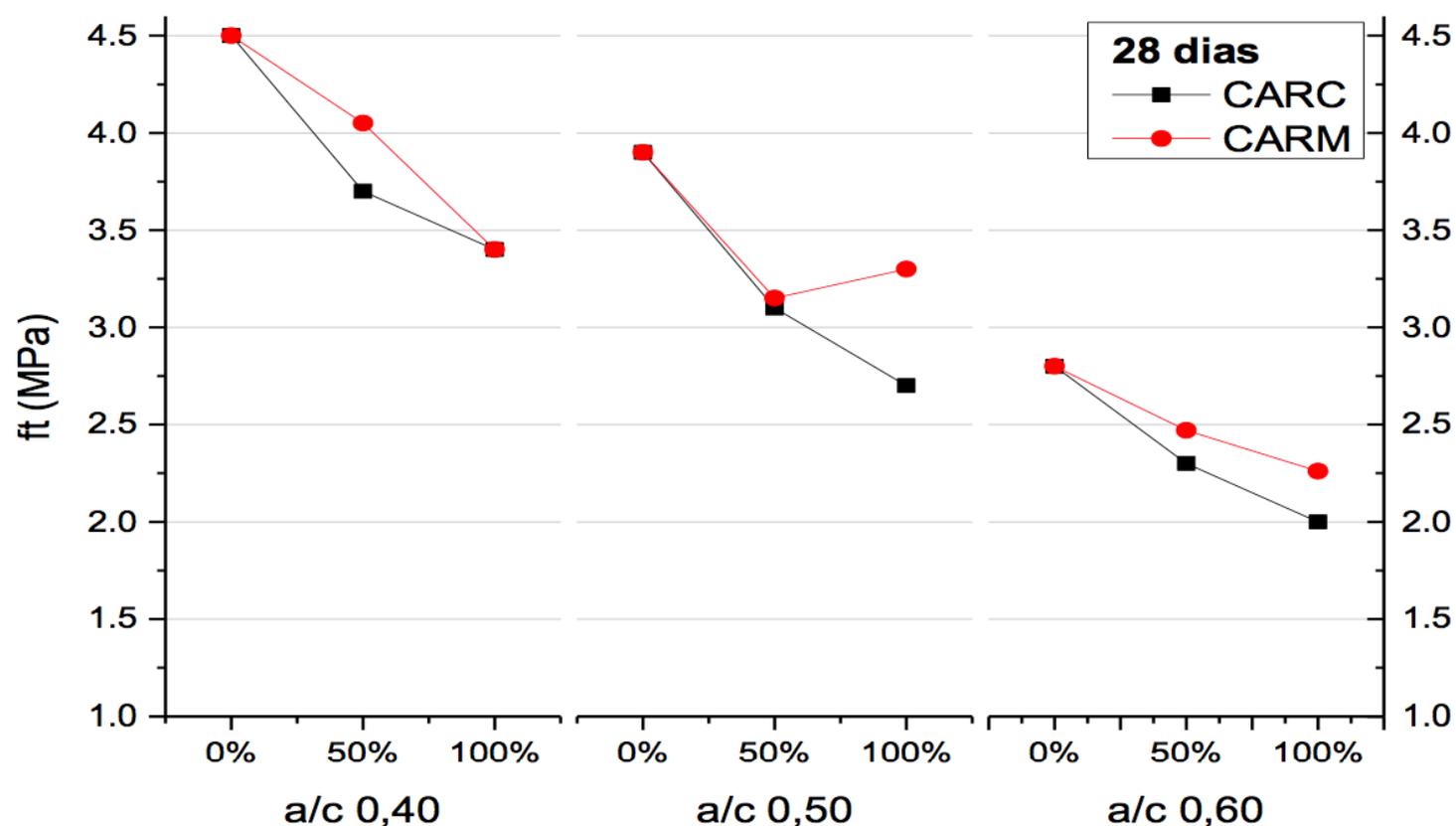
concreto (Xiao et al., 2012).

Ao analisar os resultados observou-se que todos os concretos com relação a/c 0,40 e 0,50 e o concreto com 0% de teor de substituição de AGN por AGR e relação a/c 0,60 com idade de 28 dias, apresentaram resistência à compressão axial superiores a 20 MPa, atendendo as exigências da NBR 6118 (ABNT, 2014), que determina como valor mínimo de 20 MPa para projetos estruturais de concreto.

Os concretos com agregado reciclado misto apresentaram resistência à compressão axial um pouco mais baixos que os concretos com agregado reciclado de concreto aos 7 e 28 dias. A justificativa está na presença da própria pasta que contém mais agregados finos hidratado e partículas de cimentos não hidratado (Behera et al., 2014).

A Figura 2 apresenta um comparativo da resistência à tração por compressão diametral dos concretos com 28 dias de idade.

**Figura 2.** Comparativo de resistência à tração por compressão diametral entre os concretos CARM E CARC.

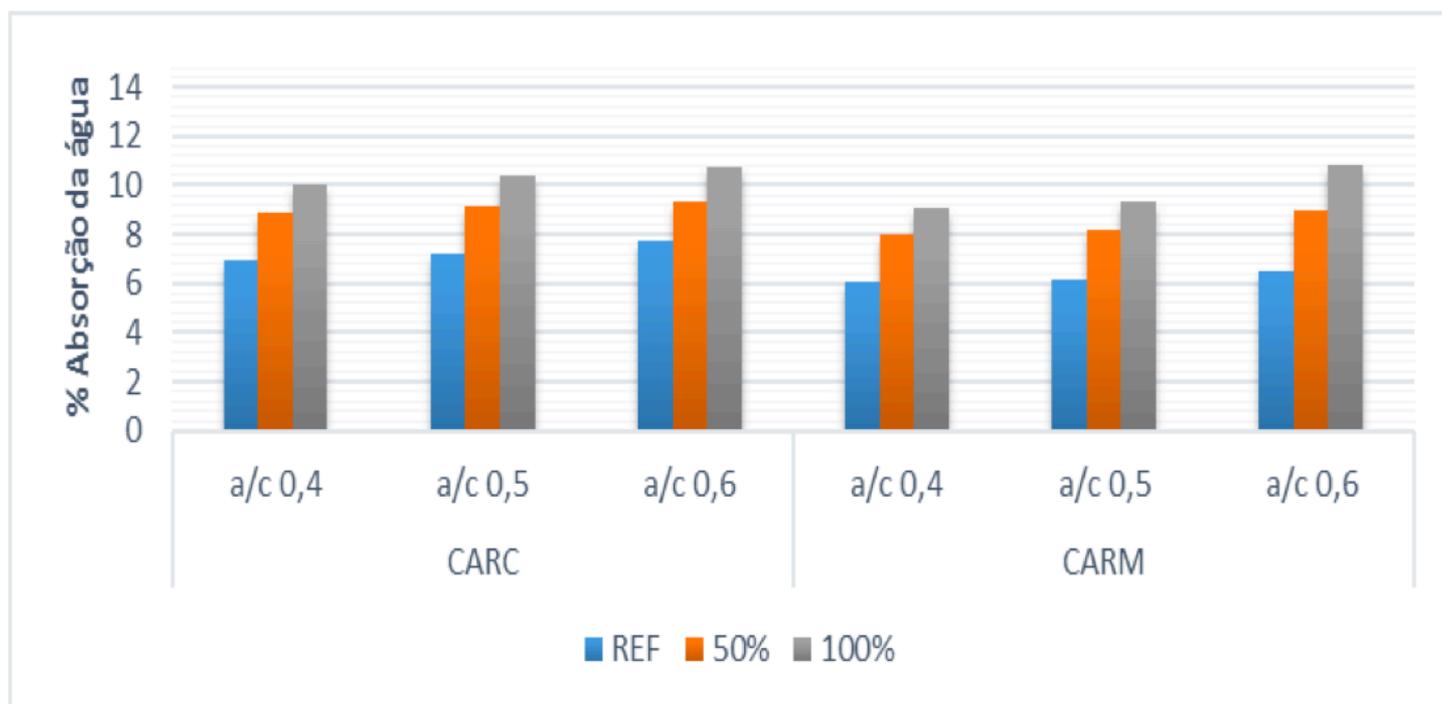


De acordo com o resultado apresentado na Figura 2, a resistência a tração por compressão diametral dos concretos para todas as relações a/c mostra que o teor de substituição de agregado gráudo natural por agregado gráudo reciclados (misto ou de concreto) tem influência negativa na resistência dos concretos (Behera et al., 2014; Leite, 2001). O ensaio de resistência à tração por compressão diametral mostra que, enquanto ocorre o descolamento da pasta nos agregados gráudos naturais, os agregados gráudos reciclados são quebrados exatamente na sessão fissurada do corpo-de-prova, ou seja, existe uma ligação interfacial fraca entre o agregado reciclado e a matriz (Behera et al., 2014; Leite, 2001). Porém, a diminuição desta resistência não é significativa quando comparados entre os concretos de referência.

Os resultados mostram que os concretos com agregado reciclado misto apresentam uma resistência à tração por compressão diametral levemente superior aos concretos com agregado reciclado de concreto. De acordo com pesquisas realizadas anteriormente (Behera et al., 2014), tal fato está associado com uma possível força de ligação entre a superfície rugosa total e a matriz.

A absorção da água do concreto está intimamente ligada à sua porosidade, pois quanto maior a porosidade do concreto, maior será a absorção da água (Leite & Monteiro, 2016; Xiao et al., 2012; Zong et al., 2014; Leite, 2001), conforme resultados observados. A Figura 3 apresenta um comparativo da absorção da água dos concretos com 28 dias de idade.

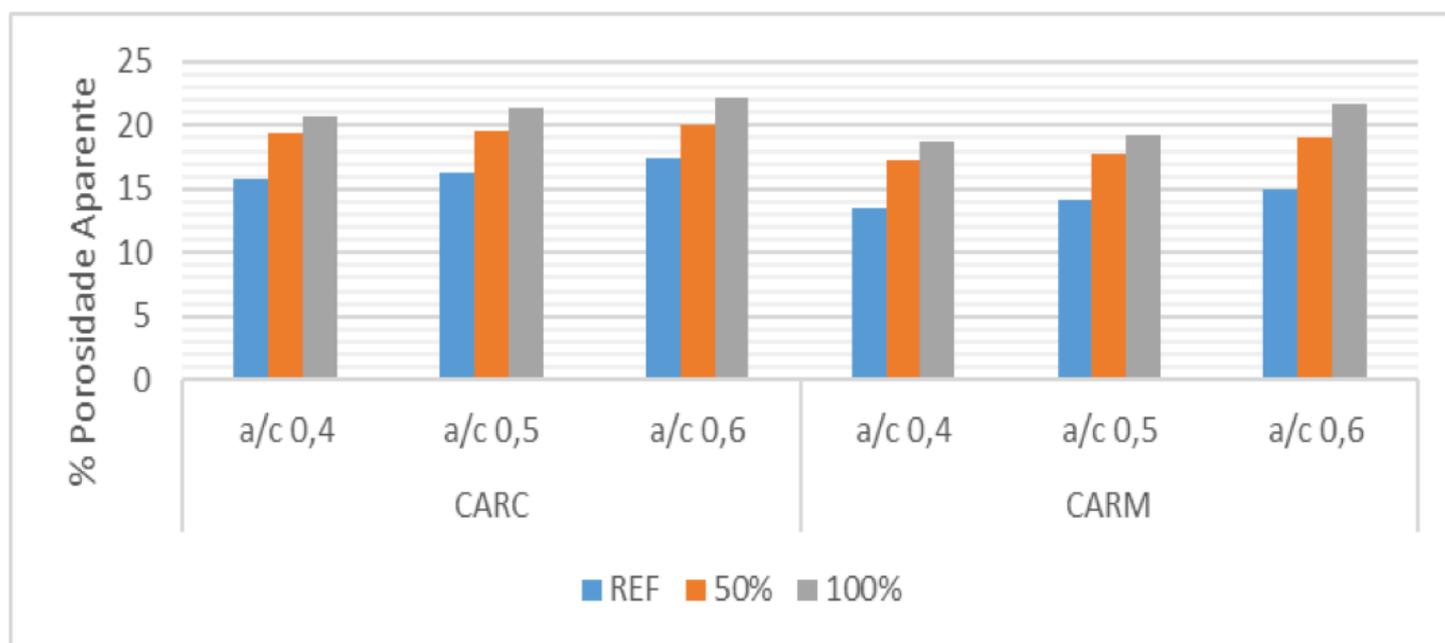
**Figura 3.** Comparativo de absorção da água entre os concretos CARM E CARC.



É possível observar neste comparativo que na medida em que aumenta a relação a/c há um aumento na absorção da água nos concretos (Behera et al., 2014; Zong et al., 2014; Leite, 2001). Os concretos com agregado reciclado de concretos (CARC) apresentaram absorção aparente ligeiramente maiores do que os concretos com agregado reciclado misto (CARM) para todas as relações a/c. Isto ocorre porque o módulo de finura do agregado reciclado misto é 2,64 enquanto que o módulo de finura do agregado reciclado de concretos é 2,60, e quanto mais finos tiver o agregado menos porosidade haverá no concreto e conseqüentemente menor será a absorção de água.

O resultado obtido referente a porosidade aparente dos concretos confirma o comportamento da absorção da água dos mesmos. Quanto maior a relação a/c, maior será sua porosidade (Leite & Monteiro, 2016; Xiao et al., 2012; Zong et al., 2014; Leite, 2001), conforme apresenta a Figura 4.

**Figura 4.** Comparativo da porosidade aparente entre os concretos CARM E CARC.



A porosidade dos concretos com agregado reciclado (de concreto e misto) apresentaram um acréscimo na porosidade aparente de aproximadamente 34% para todas as relações água cimento. Isto confirma que, além da relação a/c, a substituição de agregado natural por agregados reciclados (de concreto ou misto) tem influência direta na porosidade dos concretos (Leite & Monteiro, 2016; Xiao et al., 2012; Zong et al., 2014; Leite, 2001).



50%	0,5	2,08	1,36	1,2	245,59	217,85	27,73
	0,6	2,94	1,75	1,53	226,18	188,30	37,89
	0,4	1,21	0	1,72	300,80	277,76	23,03
100%	0,5	2,08	0	2,39	245,59	214,78	30,81
	0,6	2,94	0	3,06	226,18	185,06	41,12

\*conforme a Equação (C)

Com base na estimativa de custo observa-se que para produzir um metro cúbico de concreto com 50% de substituição de agregado reciclado (misto ou de concretos), para uma relação a/c 0,40 tem-se uma economia de 7,12%. Já para produzir concreto com 100% de substituição de agregado reciclado (misto ou de concretos), para uma relação a/c 0,60 tem-se uma economia de 22,22%.

## 4. Considerações Finais

O presente trabalho apresenta um estudo abrangente sobre o uso de agregados reciclados de construção e demolição (RCD) - concreto e mistos - na fabricação de concretos.

A partir dos dados obtidos, observou-se que, o teor de substituição do agregado natural por agregado reciclado, a relação a/c e a idade tem influência significativa na resistência dos concretos. Na medida em que aumenta o teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado há uma diminuição na resistência e um aumento na porosidade dos concretos com agregado reciclado. Há de observar também que um teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado (de concreto ou misto) em até 30%, não tem efeito negativo significativo sobre as propriedades mecânicas dos concretos, como já observado por outros autores (Limbachiya et al., 2012; Leite, 2001).

O custo para a produção de concretos com RCD é significativamente menor que para produzir concretos convencionais. Logo, a produção de concretos com agregado reciclado mostraram ser bastante viáveis.

A cada ano novos estudos mostram que o RCD pode ser utilizado como material de construção em substituição aos agregados naturais. Desta forma o uso do RCD está a contribuir para um desenvolvimento mais sustentável e econômico na indústria da construção civil.

## Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1998). Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. *ABNT NBR NM 67*, 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2007). Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. *ABNT NBR 5739*, 9p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2009a). Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. *ABNT NBR NM 53*, 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2009b). Agregados miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. *ABNT NBR 52*, 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2011). Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. *ABNT NBR 7222*, 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2014). Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. *ABNT NBR 6118*, 238p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2015). Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. *ABNT NBR 5738*, 9p.

Behera, M., Bhattacharyya, S. K., Minocha, a. K., Deoliya, R., & Maiti, S. (2014). Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. *Construction and Building Materials*, 68, 501–516.  
<http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.003>

Dabhade, A. N., Chaudari, S. R., & Gajbhaye, A. R. (2014). Effect of Flyash on Recycle Coarse Aggregate Concrete. *International Journal of Civil Engineering Research*, 5(1), 2278–3652.  
Recuperado de <http://www.ripublication.com/ijcer.htm>

Helene, P. R. L., & Terzian, P. (1992). *Manual de dosagem e controle do concreto*. (P. Helene, Paulo; Terzian, Org.) (PINI). book, São Paulo: Pini. Recuperado de <https://books.google.com.br/books?id=0dHgAAAACAAJ>

Leite, M. B. (2001). Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição, 270. <http://doi.org/000292768>

Leite, M. B., & Monteiro, P. J. M. (2016). Microstructural analysis of recycled concrete using X-ray microtomography. *Cement and Concrete Research*, 81(November), 38–48.  
<http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.11.010>

Limbachiya, M., Meddah, M. S., & Ouchagour, Y. (2012). Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete. *Construction and Building Materials*, 27(1), 439–449.  
<http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.023>

Lotfi, S., Eggimann, M., Wagner, E., Mróz, R., & Deja, J. (2015). Performance of recycled aggregate concrete based on a new concrete recycling technology. *Construction and Building Materials*, 95, 243–256. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.021>

Lotfy, A., & Al-Fayez, M. (2015). Performance evaluation of structural concrete using controlled quality coarse and fine recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 61, 36–43. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.02.009>

Poon, C. S., Kou, S. C., & Lam, L. (2007). Influence of recycled aggregate on slump and bleeding of fresh concrete. *Materials and Structures*, 40(9), 981–988.  
<http://doi.org/10.1617/s11527-006-9192-y>

Xiao, J., Li, W., Fan, Y., & Huang, X. (2012). An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996-2011). *Construction and Building Materials*, 31, 364–383.  
<http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.074>

Zong, L., Fei, Z., & Zhang, S. (2014). Permeability of recycled aggregate concrete containing fly ash and clay brick waste. *Journal of Cleaner Production*, 70, 175–182.  
<http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.040>

- 
1. Engenheiro Civil – Faculdade de Engenharia da PUCRS, Porto Alegre, Brasil. Email: ([sergio.roberto@acad.pucrs.br](mailto:sergio.roberto@acad.pucrs.br))
  2. Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais. (PGETEMA) – Faculdade de Engenharia da PUCRS, Porto Alegre, Brasil. Email: ([jairo.andrade@pucrs.br](mailto:jairo.andrade@pucrs.br))
- 

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 38 (Nº 27) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](mailto:webmaster)]