



Sustentabilidade na indústria da construção civil: investigação da potencialidade de emprego de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e cinza volante em concretos

Sustainability in the construction industry: investigation of the employment potential of Construction and Demolition Waste (CDW) and fly ash in concretes

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

Recibido: 16/12/16 • Aprobado: 23/01/2017

Conteúdo

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

RESUMO:

A utilização do agregado reciclado pode ser um dos esforços significativos para se alcançar uma construção mais sustentável. O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de avaliar a influência da substituição do agregado graúdo reciclado (AGR) e cinza volante (CV) nas propriedades mecânicas dos concretos. Foram produzidos concretos com teores de 0% 25% 50% 75% e 100% de substituição de brita basáltica por AGR com dimensão máxima de 19 mm, e teores de 0% 15% 20% 25% 30% de substituição de cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI RS) por cinza volante. Para a relação a/agl foram considerados 0,40 0,45 0,50 0,55 0,65. Realizaram-se ensaios para caracterização das propriedades mecânicas (resistências à compressão, à tração, absorção d'água) dos concretos produzidos. Os resultados mostraram um bom

ABSTRACT:

The use of recycled aggregate can be a significant effort to achieve a more sustainable building. This study was conducted in order to evaluate the influence of recycled coarse aggregate replacement (RCA) and fly ash (FA) on the mechanical properties of concrete. The concretes were produced with 0% content 25% 50% 75% and 100% replacement of crushed basalt for RCA with a maximum dimension of 19 mm and content of 0% 15% 20% 25% 30% of Portland cement replacement High early strength (Brazilian CP V ARI RS) by fly ash. Were investigates 4 w/c levels (0.40, 0.45, 0.50, 0.55 and 0.65). Investigations were performed to characterize the mechanical properties (compressive strength, tensile strength, water absorption) concrete produced. The results showed a good concrete behavior in relation to their properties, indicating that there is the potential

comportamento do concreto em relação às suas propriedades, indicando que há a potencialidade do emprego de subprodutos de outras indústrias na fabricação de concretos com características adequadas.
Palavras-Chaves: Concreto, agregado graúdo reciclado, cinza volante.

of the use of by-products of other industries in the manufacture of concrete with suitable characteristics.
Keywords: concrete, recycled coarse aggregate, fly ash.

1. Introdução

A indústria da construção civil é responsável pela redução dos recursos naturais e pelas gerações de resíduos que impactam de forma negativa no meio ambiente (LIMBACHIYA, MEDDAH e OUCHAGOUR, 2012). O concreto é o material mais consumido no mundo e utiliza grandes quantidades de recursos naturais não renováveis (ZONG, FEI e ZHANG, 2014). A extração de matérias primas, o beneficiamento de materiais para a construção civil, as construções de edificações bem como reformas e demolições geram resíduos sólidos que, depositados de forma inadequada, podem trazer diversos problemas, tais como: proliferações de agentes transmissores de doenças, degradação das áreas de manancial e de proteção permanente, obstrução dos sistemas de drenagem, assoreamento de rios e córregos (SILVA, MALHEIROS e CAMPOS, 2013).

Segundo Poon, Kou e Lam (2007), o uso do agregado reciclado em concretos estruturais ainda é uma preocupação em razão da elevada absorção d'água que influencia diretamente nas propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos. Mesmo assim, segundo o autor, a aplicação de resíduos da construção e demolição (RCD) para a produção de concretos tem atraído os interesses da indústria da construção civil.

De acordo com Lovato *et al.* (2012), no Brasil, o volume de resíduos sólidos tende a aumentar nos próximos anos em função do crescimento econômico. Existem poucos centros de reciclagem em operação, porém já existem incentivos para projetos mais sustentáveis com o objetivo de incentivar o uso do resíduo de construção e demolição (RCD).

Estudos de viabilidade do uso do resíduo da construção e demolição (RCD) em substituição ao agregado natural para a produção de concretos até 30%, mostram que não há alterações de forma significativa nas propriedades do concreto (LIMBACHIYA *et al.*, 2012; ZONG *et al.* 2014; LIMA *et al.*, 2013; MEDINA *et al.*, 2014; LEITE, 2001).

Pesquisas mostram que a adição de cinzas volantes (CV) em substituição ao cimento Portland para a produção de concretos melhora a resistência e a durabilidade do concreto ao longo do tempo (JUENGER e SIDDIQUE, 2015; NEVILLE, 2015). Com base nos resultados da pesquisa, Li, Otsuki & Yuan, (2009) verificaram que a adição de cinzas volantes nos concretos ao longo do tempo resulta em uma melhora nas propriedades de durabilidade dos materiais.

Neste contexto, foi realizado um estudo visando investigar as propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado proveniente da construção e demolição e cinza volante.

2. Materiais e métodos

Os materiais utilizados para a realização deste trabalho foram o resíduo de construção e demolição (RCD) proveniente de uma antiga residência da cidade de Porto Alegre/RS; cinza volante obtida da Usina Termelétrica Presidente Médici em Candiota/RS, areia média proveniente do rio Jacuí/RS, brita de basalto de dimensão máxima de 19 mm. Será empregado o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI RS), em função da elevada pureza do mesmo. Na Tabela 1 estão apresentadas as características físicas dos agregados empregados.

Tabela 1. Caracterização dos agregados

	Areia	RCD	ANG

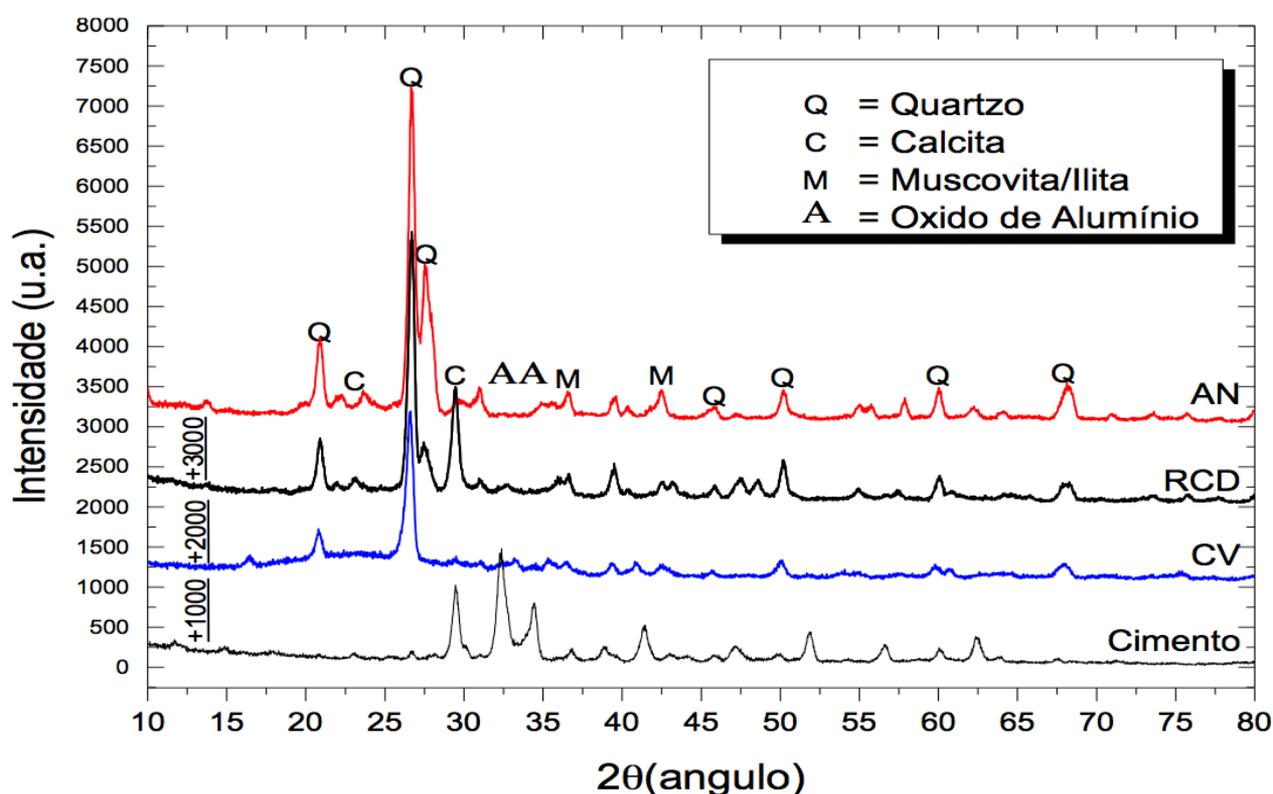
Massa Específica (g/cm ³)	2,61	2,57	2,81
Massa Unitária (g/cm ³)	1,50	1,25	1,42
Módulo de Finura	1,75	2,55	2,75
Dimensão Máxima (mm)	2,38	19	19

RCD-resíduo da construção e demolição, ANG-agregado natural graúdo

A cinza volante (CV) apresenta um diâmetro médio de 46 µm e 14% de absorção. O Cimento CP V-ARI RS apresenta um diâmetro médio de 14 µm e 20% de absorção. O agregado reciclado em estudo apresenta as seguintes constituintes: 77% de concreto, 8% de cerâmica e 13% de agregado natural. A absorção do agregado graúdo reciclado foi obtida com base na NBR MN 53 (ABNT, 2009), encontrando-se o valor de 5,8%, o que é próximo ao observado por outros autores (1,6).

Para determinar a composição química e mineralógica dos materiais em estudo utilizou-se a espectrometria de difração de raio X (DRX) (Limbachiya, Marrocchino, & Koulouris, 2007), cujo resultado está apresentado na Figura 1.

Figura 1. Difratomogramas (AN-areia natural, RCD (resíduo da construção e demolição, CV (cinza volante, cimento (CPV-ARI RS)



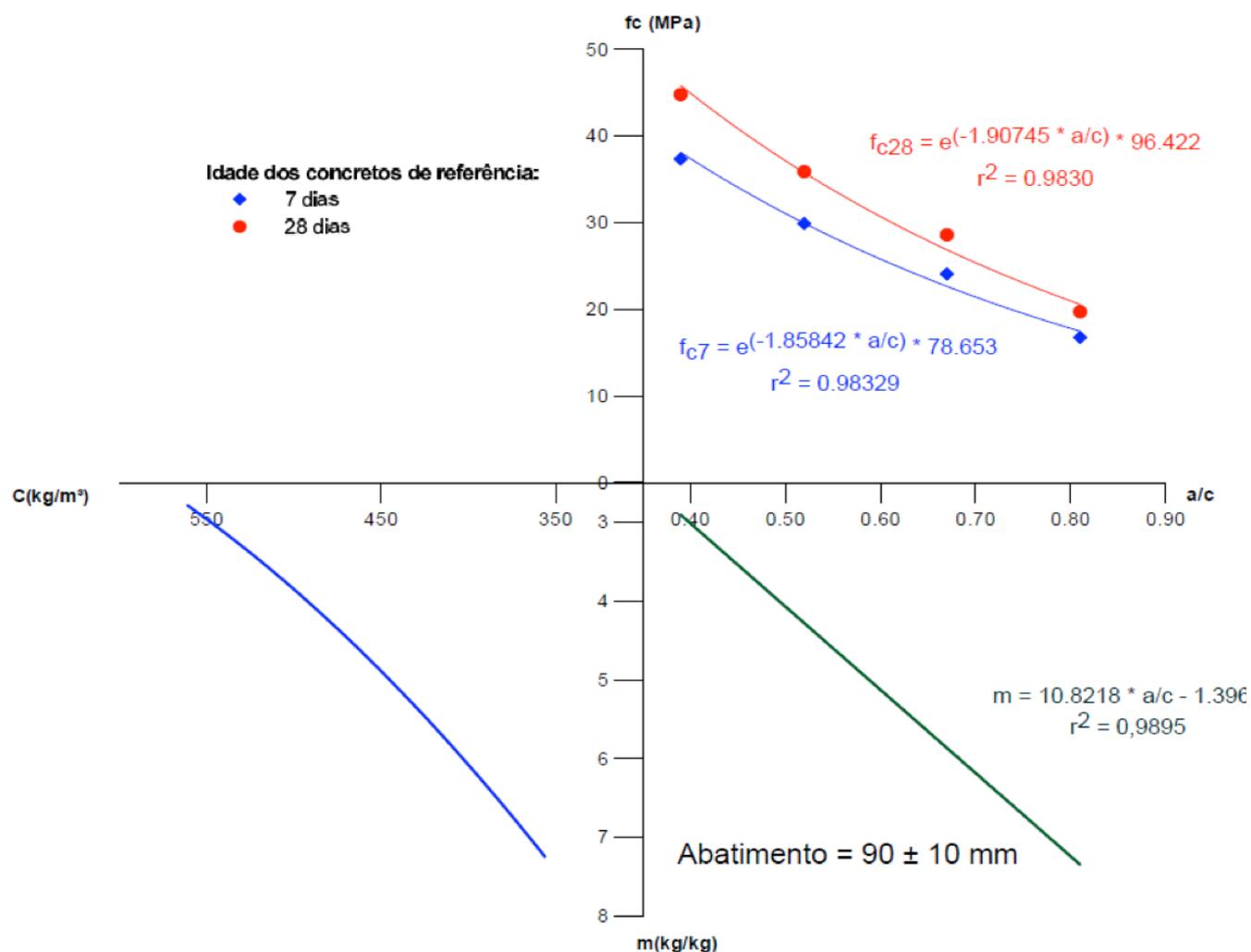
Foram produzidos concretos com diferentes teores de RCD e CV conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Teores de substituição representados em fatores e níveis

FATORES	Níveis
Resíduo da construção e demolição como agregado graúdo (RCD)	0%, 25%, 50%, 75% e 100%
Cinza Volante (CV)	0%, 15%, 20%, 25% e 30%

Foram produzidos concretos de referência, empregando-se o método de dosagem IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1992) e a NBR 5738 (ABNT, 2015) para a realização dos ensaios. Com base nos resultados obteve-se o diagrama de dosagem, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2. Diagrama de dosagem dos concretos de referência



Os traços obtidos a partir do diagrama de dosagem dos concretos de referência estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Traço em massa do concreto de referência e consumo de cimento

Relação a/c	α (%)	m	a	p	H (%)	C (kg/m ³)
0,40	55	2,9	1,15	1,76	10,23	557
0,45	55	3,5	1,45	2,00	10,11	489
0,50	55	4,0	1,75	2,24	10,00	435
0,55	55	4,5	2,05	2,49	9,93	392
0,65	55	5,6	2,65	2,98	9,80	327

α (%) – Teor de Argamassa / H(%) – Teor de água / C(kg/m³) – Consumo de cimento

Considerando o curto prazo de tempo e a necessidade de um volume relativamente alto de material para produzir 125 misturas, adotou-se um planejamento de análise de experimentos para reduzir esta quantidade de misturas.

10	0,50	0,80	0,20	1,75	0,00	2,06	462
11	0,50	1,00	0,00	1,75	1,13	1,03	442
12	0,50	0,50	0,30	1,37	0,88	0,81	543
13	0,40	0,80	0,20	1,15	0,88	0,80	587
14	0,65	0,80	0,20	2,65	1,49	1,36	340
15	0,50	0,80	0,20	1,75	1,13	1,03	455

a – Agregado Miúdo Natural / pN – Agregado Graúdo Natural / pR –
Agregado Graúdo Reciclado / CV – Cinza Volante

Considerando que a massa específica do agregado reciclado é inferior a massa específica do agregado natural foi realizada a compensação de volumes através da Equação (A) (Leite, 2001).

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

(A)

onde:

MAGR = Massa do agregado graúdo reciclado, em kg

MAGN = Massa do agregado graúdo natural, em kg

γ_{AGR} = Massa específica do agregado graúdo reciclado, em kg/dm³

γ_{AGN} = Massa específica do agregado graúdo natural, em kg/dm³

Para a realização dos ensaios para a determinação da absorção da água por imersão dos concretos utilizou-se a NBR MN 53 (ABNT, 2009). Como a absorção do RCD em estudo foi elevada, e para evitar o comprometimento da trabalhabilidade do concreto, o material foi umedecido por 24 horas e secado superficialmente antes da produção dos concretos (LEITE, 2001).

3. Resultados e discussão

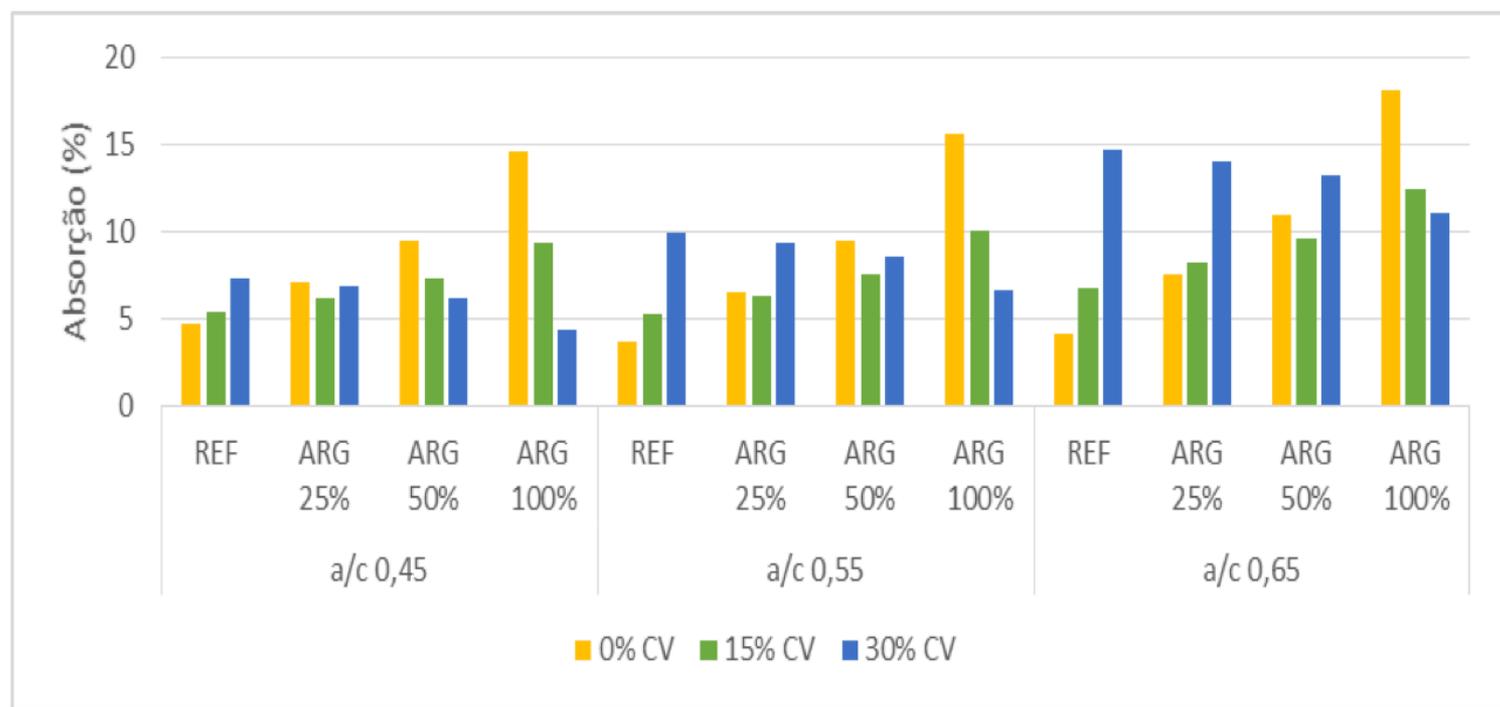
Foram elaborados modelos matemáticos que representam o comportamento dos concretos com agregado graúdo reciclado e cinza volante. Estes modelos matemáticos foram obtidos a partir dos resultados experimentais que serão apresentados a seguir:

O modelo ajustado para a determinação da absorção do concreto representado na Equação (B) possui um coeficiente de determinação r² igual a 0,971.

$$\begin{aligned}
 A = & 27,460059 + -83,724243 * a/c + -73,666557 * ARG^2 + \\
 & -73,671836 * CV^2 + 0,20560685 * (a/c * ARG) + 0,040220375 * (a/c * CV)^2 + \\
 & -0,00000021369709 * (ARG * CV)^2 + -0,0080928801 * (a/c * ARG * CV) \\
 & + 73,66662 * (a/c^2 + ARG^2 + CV^2)
 \end{aligned}
 \tag{B}$$

A Figura 4 apresenta os gráficos de tendência do comportamento do efeito das variáveis analisadas na absorção do concreto.

Figura 4. Absorção do concreto aos 28 dias de idade



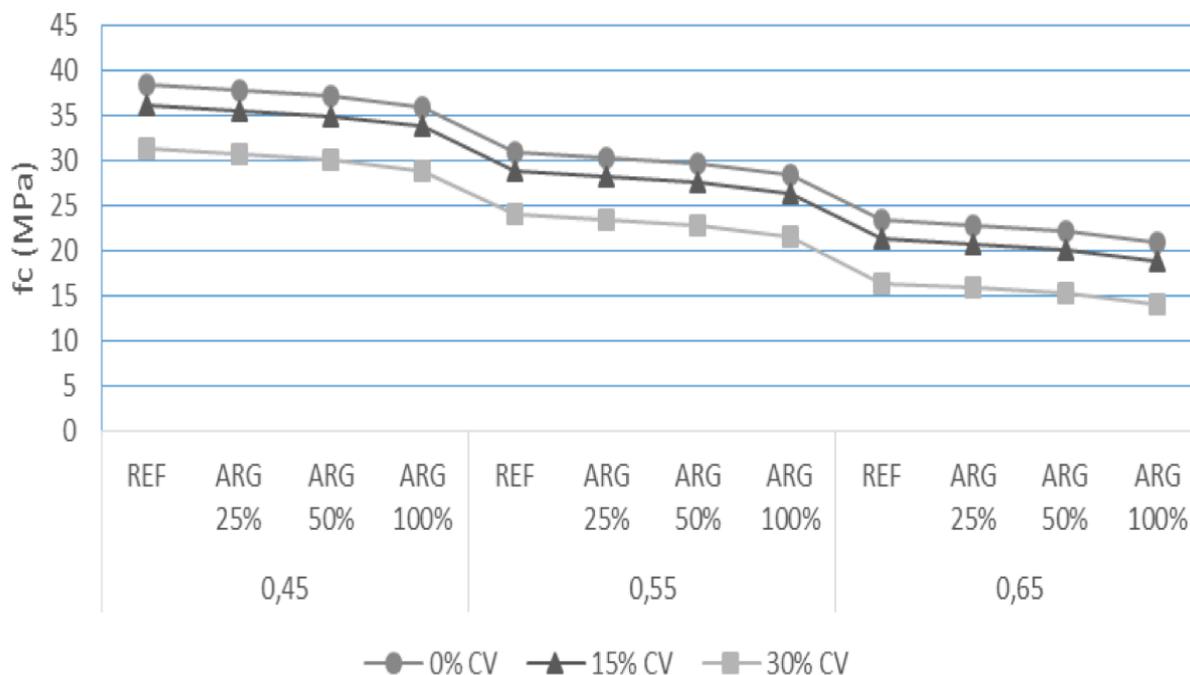
Com base na Figura 4, é possível observar que para os concretos com mais 50% de RCD e 30% de CV em substituição ao cimento para todas as relações a/c apresenta uma melhora significativa na absorção dos concretos (LIMBACHIYA et al., 2012; LEITE, 2001). Este comportamento está relacionado com a reação da pozolana da CV e o refinamento capilar dos poros que reduzem o fluxo de água no concreto conforme observado por outros autores (LIMBACHIYA et al., 2012; SHI CONG KOU e POON, 2013). Para os concretos com 25% de teor de substituição de RCD e 15% de adição de CV em substituição ao cimento apresentam absorção muito próxima aos de referência.

Para verificar o comportamento da resistência a compressão axial com base nos resultados de ensaio foi gerada um modelo matemático com um coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,966 conforme apresentado na Equação (C).

$$f_c = 213,62333 + -247,16664 * a/c^{3/2} + -0,14472775 * RCD^2 + -8,7742942 * CV + -0,84138201 * a/c * RCD^{3/2} + 34,771558 * a/c * CV^{3/2} + 0,14498534 * a/v^2 + RCD^2 + CV^2 \quad (C)$$

A Figura 5 apresenta a tendência do comportamento do efeito das variáveis sobre a resistência a compressão axial do concreto aos 28 dias de idade.

Figura 5. Resistência a compressão axial aos 28 dias de idade



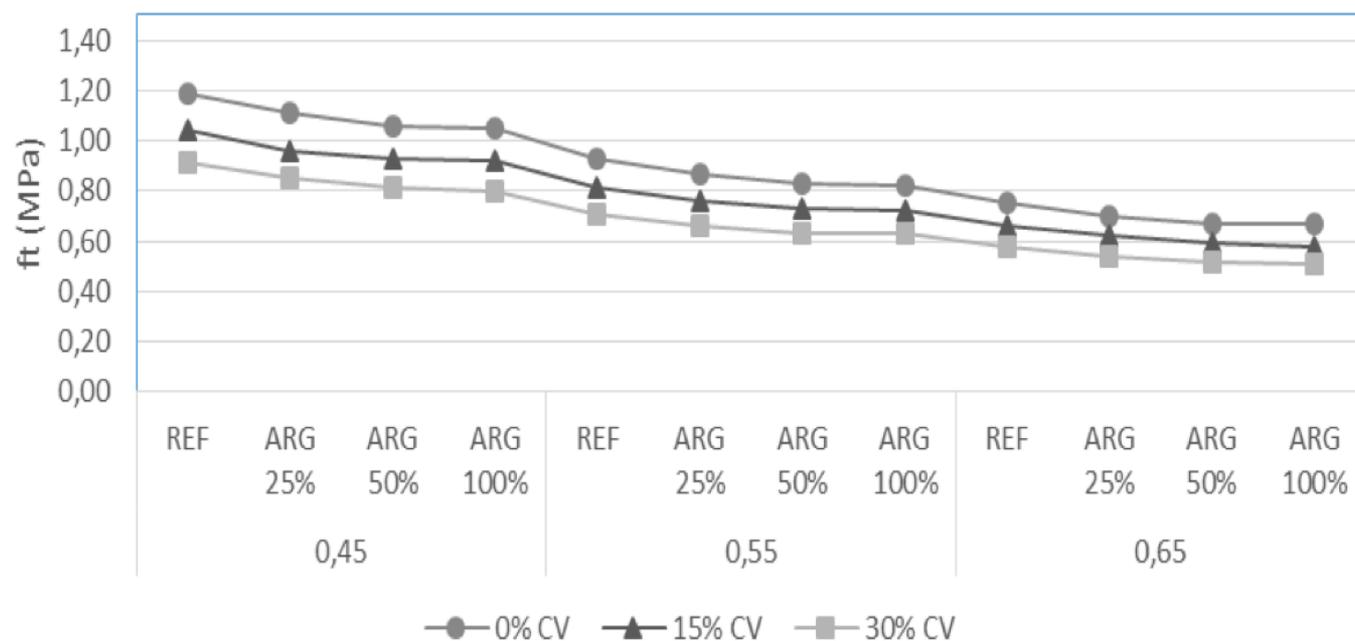
Pode-se observar que os concretos com 28 dias de idade e a adição de 15% de CV em substituição ao cimento não apresentam diferenças significativas na resistência a compressão axial em comparação com os concretos de referência para todas as relações a/agl. Os concretos com 30% de adição de CV em substituição ao cimento apresentam uma diminuição da resistência a compressão axial mais significativos como observado também por outros autores (KOU, POON e CHAN, 2007; SHI CONG KOU e POON, 2013; LIMA et al., 2013).

A equação (D) apresenta um modelo matemático ajustado, com coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,825 que expressa o comportamento da resistência do concreto à tração por compressão diametral.

$$f_t = -0,24791696 + 0,27778125 * 1/a/c^2 + -0,0038994257 * RCD^2 + -0,23493573 * CV + 1,012003 * a/c * CV^{1/2} + -0,014458233 * a/c * RCD * CV^{1/2} + 0,0039248219 * a/v^2 + RCD^2 + CV^2 \quad (D)$$

A Figura 6 apresenta o comportamento da tração por compressão diametral do concreto.

Figura 6. Resistência a compressão por tração diametral aos 28 dias de idade



Pode-se observar que os concretos com 28 dias de idade e com adição de 15% e 30% de CV em substituição ao cimento, apresentam diferenças não muito significativas na resistência a tração por compressão diametral em relação aos concretos de referência para todas as relações a/agl. Isto se deve ao fraco efeito significativo na resistência à tração axial por compressão diametral com as substituições de RCD e CV (LEITE, 2001).

4. Considerações Finais

De acordo com os resultados observados neste estudo pode-se afirmar, que na medida em que se aumenta o teor de substituição de agregado graúdo natural por RCD há um aumento na absorção de água nos concretos. Porém, na medida em que se adiciona CV em substituição ao cimento, ocorre uma melhora na absorção de água nos concretos atenuando os efeitos do RCD.

Os dados obtidos mostram que todos os concretos com teores de substituição 0% 25% 50% e 100%, para as relações a/c 0,45 e 0,55, 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 demais concretos apresentaram resistências bastante satisfatórias.

Para as resistências mecânicas dos concretos, pode-se afirmar que na medida em que se aumenta o teor de substituição do RCD diminui a resistência mecânica em concretos com idade de 28 dias em comparação aos concretos de referência. Com a adição de 15% de CV em substituição ao cimento nos concretos com e sem RCD não foi observado influência negativas

significativas na resistência mecânica dos concretos aos 28 dias.

Para que não haja uma redução significativa tanto na resistência mecânica do concreto quanto na sua durabilidade com base nesta pesquisa, sugere-se um teor de substituição de até 30% de RCD por agregado graúdo natural com 15% de adição de CV em substituição ao cimento.

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2009). Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. *ABNT NBR NM 53*, 8p.
- 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.
- Calado, V. (2003). *Planejamento de Experimentos usando o Statistica*. book, E-Papers Serviç{os Editoriais. Recuperado de <https://books.google.com.br/books?id=1Yp7Q23dcLcC>
- 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>
- Juenger, M. C. G., & Siddique, R. (2015). Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete. *Cement and Concrete Research*, 78, 71–80p. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.03.018>
- Kou, S. C., & Poon, C. S. (2013). Long-term mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete prepared with the incorporation of fly ash. *Cement and Concrete Composites*, 37(1), 12–19. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.12.011>
- Kou, S. C., Poon, C. S., & Chan, D. (2007). Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(9), 709–717. [http://doi.org/10.1061/\(Asce\)0899-1561\(2007\)19:9\(709\)](http://doi.org/10.1061/(Asce)0899-1561(2007)19:9(709))
- 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>
- Li, G., Otsuki, N., & Yuan, Y. shu. (2009). Effects of the initial water curing time on the corrosion behavior of steel bar corrosion in fly ash concrete. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1(1), 742–749. <http://doi.org/10.1016/j.proeps.2009.09.117>
- Lima, C., Caggiano, A., Faella, C., Martinelli, E., Pepe, M., & Realfonzo, R. (2013). Physical properties and mechanical behaviour of concrete made with recycled aggregates and fly ash. *Construction and Building Materials*, 47, 547–559. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.051>
- Limbachiya, M. C., Marrocchino, E., & Koulouris, A. (2007). Chemical-mineralogical characterisation of coarse recycled concrete aggregate. *Waste Management*, 27(2), 201–208p. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.01.005>
- 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>
- Lovato, P. S., Possan, E., Molin, D. C. C. D., Masuero, Â. B., & Ribeiro, J. L. D. (2012). Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes. *Construction and Building Materials*, 26(1), 437–447. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.043>
- Medina, C., Zhu, W., Howind, T., Sánchez De Rojas, M. I., & Frías, M. (2014). Influence of mixed recycled aggregate on the physical-mechanical properties of recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*, 68, 216–225. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.002>

Neville, A. M. (2015). *Propriedades do Concreto - 5a Edição*: (Bookman Editora Ltda, Org.) (5a Edição). book, Porto Alegre: Techbooks. Recuperado de <https://books.google.com.br/books?id=dYOPCgAAQBAJ>

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>

Silva, N. C. da, Malheiros, R., & Campos, A. C. (2013). A Reciclagem e o destino final dos resíduos sólidos de construção e demolição produzidos no município de Goiânia. *Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais - IBEAS*, 1–8p. Recuperado de <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/III-034.pdf>

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. Faculdade de Engenharia da PUCRS, Porto Alegre, Brasil. Email: 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

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]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados