2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

APROVEITAMENTO DA FRAÇÃO FINA DE RESÍDUO DE CONCRETO COMO SUBSTITUTO AO CIMENTO PORTLAND[1]

Oliveira, Thays Car Feliciano (1), Dezen, Bianca Gabriel dos Santos (2), Possan, Edna (4)

(1) Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA), thayscar.04@gmail.com
(2) Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA), biancadezen@gmail.com
(3) Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA), epossan@gmail.com

RESUMO

Neste estudo avaliou-se o emprego da fração fina de resíduos de concreto (FFRC) como substituto parcial ao cimento Portland (CP) em argamassas e concretos. Obteve-se a FFRC por peneiramento mecânico da areia reciclada de concreto, com aproveitamento das partículas com ϕ < 0,15 mm. Os materiais foram caracterizados quanto à granulometria, composição mineralógica (DRX) e química (FRX) e atividade pozolânica (IAP). A avaliação da resistência à compressão foi conduzida em argamassa, variando-se o teor de substituição (0%, 15%, 25% e 50%) e a granulometria do resíduo (R1, R2, R3 e R4). Em concretos avaliou-se a resistência à compressão e à tração e o módulo de elasticidade, para teores de substituição de 0%, 15%, e 25%. Os resultados indicam que o resíduo estudado possui características físico-químicas compatíveis ao cimento Portland o qual pode ser utilizado em teores de até 25% para a produção de materiais a base de cimento com atendimento à resistência à compressão mínima da norma brasileira. Para a produção de concreto, constatou-se que quanto maior o teor de RC menor o consumo de cimento por MPa e menor as emissões de CO_2 por m³, indicando potencial de utilização do FFRC como alternativa ambientalmente amigável na produção de cimentos menos emissivos.

Palavras-chave: *Resíduo sólido. Reciclagem de resíduo. Eco-cimento. Clínquer anidro residual.*

ABSTRACT

In this study, the fine fraction of concrete waste (FFCW)as a substitute for Portland cement (CP) in mortars and concretes was evaluated. The studied waste was obtained through mechanical sieving of recycled concrete sand, using particles with ϕ <0.15 mm. The materials were characterized in terms of granulometry, mineralogical (DRX) and chemistry (FRX) composition and pozzolanic activity. In mortar, the compressive strength was evaluated with variation the substitution content (0%, 15%, 25% and 50%) and the waste granulometry (R1, R2, R3 and R4).In concrete the compressive and tensile strength and elasticity modulus were evaluated, for substitution levels of 0%, 15%, and 25%. The results indicate that the waste studied has physicochemical characteristics compatible with Portland cement, which can be used in levels of up to 25% to produce cement-based materials, meeting the minimum compressive strength of the Brazilian standard. For the concrete production, it was found that the higher the RC content, the lower the cement consumption required per MPa and CO_2 emissions per m³, indicating a potential for using FFCW as an environmentally friendly alternative in the production of less emissive cements.

Keywords*: Solid waste. Waste recycling. Eco-cement. Residual anhydrous clinker.*

---

[1]Oliveira, Thays Car Feliciano, Dezen, Bianca Gabriel dos Santos, Possan, Edna. Aproveitamento da fração fina de resíduo de concreto como substituto ao cimento Portland. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

A redução do teor de clínquer contido no cimento pode ser uma alternativa para minimizar as emissões da indústria da construção, a qual pode ser compensada por meio do emprego de materiais cimentícios suplementares (MEHTA e MONTEIRO, 2014) e/ou *fillers (PUERTA-FALLA, et al, 2015, JOHN, et al, 2018)* como adição ou substituição ao cimento Portland.

Os filleres são materiais inertes de granulometria fina que aumentam a compacidade da pasta cimentícia, possibilitando a redução da quantidade de clínquer na produção do cimento (*PUERTA-FALLA, et al, 2015)* e, consequente, das emissões de CO_2 (IEA, 2010).

Novas tecnologias podem elevar o teor de filler inerte contido no aglomerante dos atuais 7% para 30% em 2050 (IEA, 2010), o que contribuirá para a redução das emissões de CO_2 associadas à produção do cimento a um baixo custo, uma vez que o processamento dos mesmos demanda menos energia, sendo este um tema de pesquisa prioritário e urgente (*JOHN, et al, 2018)*. Neste contexto, a utilização da fração fina (ϕ > 0,15 mm) do resíduo de construção e demolição (RCD) (ULSEN et al., 2013) em substituição ao cimento possui potencial para utilização em matriz a base de cimento, dada a existência de cimento anidro residual na fração mais finas deste resíduo (Wang et al., 2018).

Porém, ainda existem poucos estudos na literatura que usam RCD em substituição ao cimento, com destaque para os trabalhos de Gastaldi et al. (2015), Kwon et al. (2015) e Wang et al., (2018). A maioria dos trabalhos publicados visa a substituição de agregados graúdos ou miúdos em compósitos (argamassas e concretos) (OLIVERIA, et al, 2020).

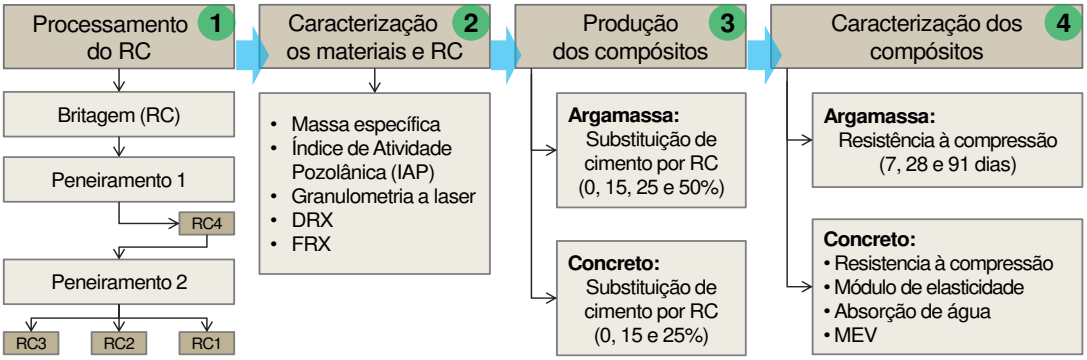
Assim, objetivando a produção de cimentos com menores teores de clínquer, este estudo busca o aproveitamento da fração fina do resíduo de concreto (FFRC) como substituto parcial ao cimento Portland. Para tal, foram avaliadas propriedades físicas, mecânicas e microestruturais de compósitos cimentícios (argamassas e concretos) produzidos com diferentes teores e finuras de resíduo em substituição ao cimento Portland.

Esta pesquisa concentra-se em duas problemáticas de relevância na indústria da construção: as elevadas emissões de CO_2 e a dificuldade de destinação de RCD, com aderência aos Objetivos para o desenvolvimento sustentável (ODS).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo abrange quatro etapas experimentais (Figura 1): i) Etapa 1: processamento do RC; ii) Etapa 2: caracterização dos resíduos e RC; iii) Etapa 3: produção dos compósitos; e, iv) Etapa 4: caracterização dos compósitos.

Figura 1 – Metodologia resumida do estudo experimental da pesquisa



2.1 Materiais

Os materiais utilizados para confecção das argamassas foram o cimento CPV-ARI (com até é 95% de clínquer, 2 a 5% de gipsita e até 5% de material carbonático), com massa específica de 3,14 g/cm³ e a areia normalizada do IPT extraída do rio Tietê (SP). Para produção dos concretos além do cimento supracitado empregou-se a areia de origem quartzosa com massa específica de 2,61 g/cm³ e módulo de finura de 3,73 e brita de origem basáltica com diâmetro máximo de 19 mm e massa específica 2,59 g/cm³.

O resíduo empregado (FFRC) foi obtido a partir do processamento de resíduo de concreto (RC), classificado pela resolução CONAMA 307 (BRASIL, 2002) como RCD "Classe A", composto essencialmente por concreto e agregados, sendo livre de cerâmica vermelha e outros contaminantes. Conforme figura 1, primeiramente fez-se a cominuição do RC em triturador específico, sendo então peneirado e reservada a fração passante na peneira de malha Mesh #100 (0,149 mm) para um segundo peneiramento. Para caracterização e produção dos compósitos, as frações utilizadas foram subdivididas em: retida na #200, retida na #325, passante na #325 (fundo) e passante na #100 (soma de todo o material das demais peneiras), que serão denominados ao longo deste trabalho de RC1, RC2, RC3 e RC4, respectivamente.

2.2 Métodos

O proporcionamento dos compósitos em estudo (tabela 1) foi realizado em volume. Os ensaios de caracterização dos materiais e compósitos seguiram as recomendações normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), especialmente: resistência à compressão do cimento (NBR 7215: ABNT, 1996); índice de atividade pozolânica (IAP) (NBR 5752: ABNT, 2014, NBR 12653: ABNT, 2015), blaine (NBR 16372, ABNT, 2015) massa específica do cimento (NBR 16605: ABNT, 2017); e resistência à compressão, à tração e módulo de elasticidade do concreto (NBR 5739: ABNT 2018, NBR 7222, ABNT, 2011, NBR 8522:ABNT, 2017).

Tabela 1 – proporcionamento dos compósitos estudados.

Compósito	Tipo de RC	Teor de substituição	Cimento	RC	Agregado miúdo 1	Agregado miúdo 2	Agregado Graúdo	a/c
Argamassa	RC1	0%	624,00	0,00	1872,00	-	-	0,48
		15%	530,40	75,12	1872,00	-	-	
		25%	468,00	125,20	1872,00	-	-	
		50%	312,00	250,39	1872,00	-	-	
	RC2	0%	624,00	0,00	1872,00	-	-	
		15%	530,40	76,91	1872,00	-	-	
		25%	468,00	128,18	1872,00	-	-	
		50%	312,00	256,36	1872,00	-	-	
	RC3	0%	624,00	0,00	1872,00	-	-	
		15%	530,40	81,08	1872,00	-	-	
		25%	468,00	135,13	1872,00	-	-	
		50%	312,00	270,27	1872,00	-	-	
	RC4	0%	624,00	0,00	1872,00	-	-	
		15%	530,40	76,61	1872,00	-	-	
		25%	468,00	127,68	1872,00	-	-	
		50%	312,00	255,36	1872,00	-	-	
Concreto	RC4	0%	336,78	0,00	-	828,48	1010,34	0,55
		15%	286,26	40,41	-	828,48	1010,34	0,57
		25%	252,58	67,36	-	828,48	1010,34	0,58

OBS: Agregado miúdo 1: areia IPT | Agregado miúdo 2: areia quartzosa

O ensaio de difração de raio-X (DRX) foi realizado em difratômetro Panalytical Empyrean. A granulometria a laser foi conduzida em granulômetro Cilas, em meio líquido sem agente dispersante. A fluorescência de raios-X (FRX) foi realizada em espectrômetro Panalytical Epsilon. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada em amostra polida, no microscópio Jeol JSM-6010LA. O cálculo de emissões foi conduzido com base em Possa (2019), considerando apenas as emissões associada à produção do cimento.

Na análise dos resultados empregou-se regressão linear e não linear e análise de variância (intervalo de confiança de 95%), usando os softwares Excel® e Statistica®, respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

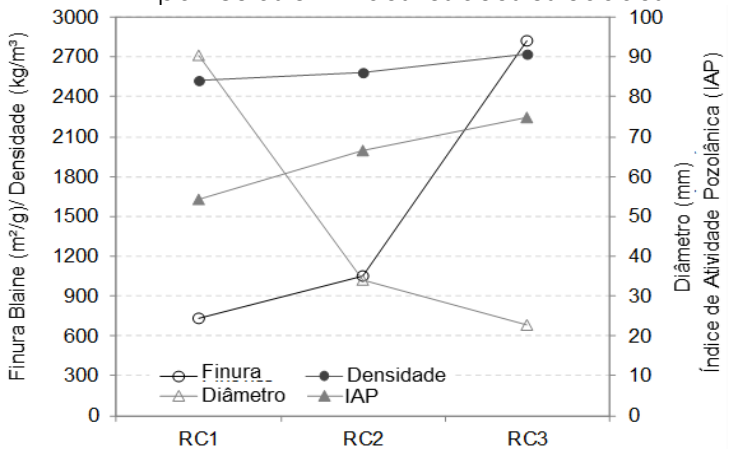
3.1 Caracterização dos materiais

Pela análise de variância (ANOVA), verifica-se que a diferença entre os resultados obtidos para as diferentes frações de resíduo possui significância estatística para o diâmetro médio das partículas, a finura Blaine, a massa específica e o Índice de atividade pozolânica (PAI).

Na literatura são encontrados valores distintos para a massa específica de diferentes frações de resíduo de concreto. Corinaldesi e Moriconi (2009) citam valores entre 2,29 e 2,38 g/cm³, Favaretto et al. (2017) 2,42 cm³ e Evangelista et al. (2015) encontram valores da ordem de 2,53 a 2,62 g/cm³. Estas variações são decorrentes da variabilidade do resíduo e tipo de processamento. Evangelista et al. (2015) também relatam que argamassa aderida às partículas e outros constituintes influenciam esta propriedade.

Analisando-se os resultados para RC1, RC2 e RC3 (uma vez que o RC4 constitui-se a blenda destes), nota-se na figura 2 que o IAP é inversamente proporcional à finura e diâmetro médio do material e proporcional à massa específica, sendo maior para a fração RC3 (material passante na #325) e menor para o RC1 (material retido na #100).

Figure 1 – correlação entre massa específica, finura Blaine, diâmetro médio de partículas e IAP dos resíduos estudados

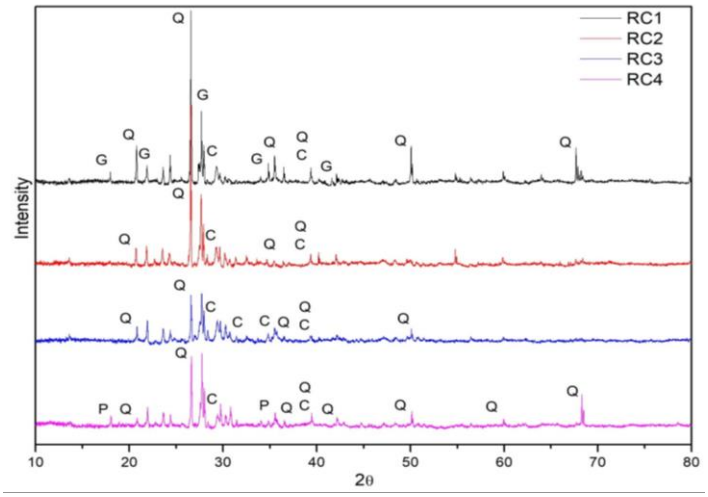


Observou-se variação nos resultados de Índice de atividade pozolânica (IAP) entre 54,14% e 66,18% (ABNT, 2015), indicando que o RC não possui atividade pozolânica pela NBR 12653 (ABNT, 2015). O diâmetro médio das partículas de resíduo é maior do que das partículas de cimento, no entanto os valores estão relativamente próximos (escala 10^{-6} m), principalmente quando consideradas a granulometria passante na #100 e retida na #325.

Ulsen et al. [12], mostraram por análises química e mineralógicas que nas frações mais finas do RCD há maior quantidade de material cimentício. Na análise mineralógica por DRX (Figura 3), observa-se a presença de picos de quartzo em todas as amostras

correspondentes à fração de areia do concreto. As fases de calcita ($CaCO_3$) foram identificadas em todas as amostras, o que pode ser atribuído à parcela de pasta cimentícia carbonatada [11].

Figura 3 – DRX Q: quartzo. C: calcita. P: Portlandita. G: goetita.



Nas por FRX constatou-se resultados similares para todas as frações de resíduo estudas (RC1, RC2, RC3 e RC3), sendo estas compostas por aproximadamente 38% de SiO_2, 21 a 24% de CaO, 12,5 a 14,2% de Fe_2O_3 e 3% de MgO, com perda ao fogo da ordem de 8%.

Ressalta-se que a fração fina (menor que 4,8 mm) obtida nas centrais de reciclagem de resíduos, geralmente não é utilizada e representa 40 % (CONTRERAS, 2016) a 50% (ULSEN, et al. 2013) da massa total de RCD processado. Considerando as partículas com dimensões inferiores a 0,15 mm, Oliveira et al. (2020) citam que até 19% deste total pode ser empregado como substituto do cimento Portland.

A partir dos resultados de caracterização foi possível confirmar a aplicação do RC como *filler*, pois possui granulometria semelhante à do cimento, composição química e mineralógica compatível, sendo um material quimicamente inerte (sem pozolanicidade).

3.2 Caracterização dos compósitos

Pela ANOVA todas as variáveis de controle (teor de substituição, finura do resíduo e idade de ensaio) possuem significância estatística na resistência à compressão das argamassas.

A substituição parcial do cimento Portland por RC tratado mecanicamente por cominuição e peneiramento, resultou em redução da resistência à compressão das argamassas, para todas as frações e teores de resíduo empregados (figuras 4 e 5).

Figura 4 – Resistência à compressão (*fc*) aos 91 dias em função do tipo de RC

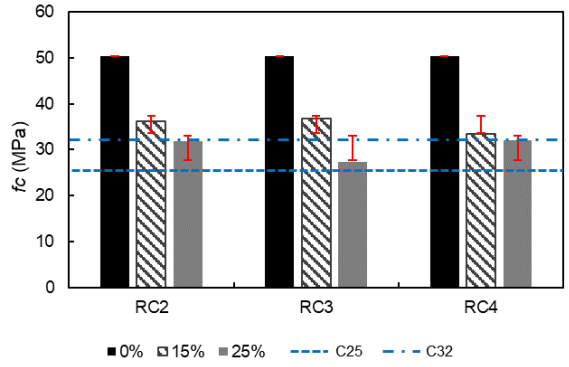
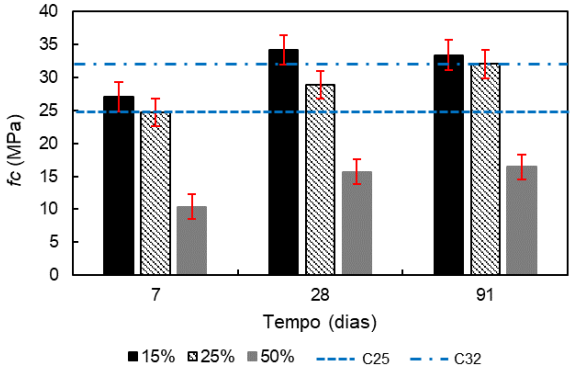


Figura 5 – Resistência à compressão (*fc*) e função da idade de ensaio



Contudo, as argamassas produzidas possuem resistência aceitável de acordo com os requisitos da NBR 16697 (ABNT, 2018). As frações RC2, RC3 e RC4 se enquadram-se na classe C32 para teores de 15 % de substituição e Classe C25 para teores de substituição de 25%. O teor de substituição de 50% não apresentou desempenho satisfatório, não sendo empregado na produção dos concretos.

Destaca-se que o cimento empregado no estudo (CP V) contém filler em sua composição. Testes realizados diretamente com clínquer Portland certamente conduzirão a resultados maiores de resistência à compressão, devendo ser objeto de futuros estudos.

Quanto ao desempenho do resíduo em concretos, os resultados de ANOVA indicaram redução significativa da resistência à compressão dos concretos (figura 6) quando comparados ao traço de referência (teor 0% de RC), porém em escala menos acentuada em relação às argamassas. Para o módulo de elasticidade houve uma redução entre 7% e 8% em relação ao teor de 0% e, para a resistência à tração, esse decréscimo foi de aproximadamente 12% (figura 7).

Figure 2 – Resistência à compressão dos concretos em função do tempo (fração RC4)

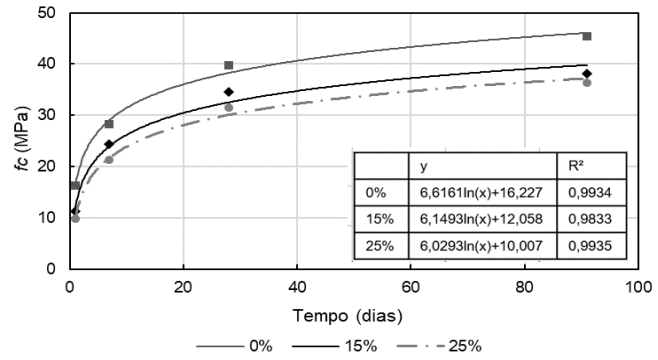
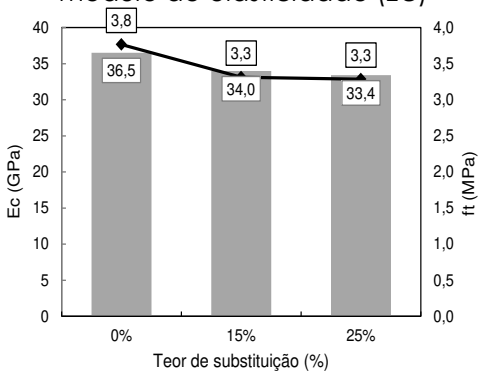


Figura 7 – Resistência à tração (*ft*) e módulo de elasticidade (*Ec*)



Fazendo a análise com base no indicador "kg de cimento/MPa" tem-se melhor desempenho para os concretos produzidos com a fração fina de RC (figura 9), o que é positivo do ponto de vista econômico e ambiental. Associado a isso, tem-se a redução das emissões de CO_2 da produção o concreto (figura 10). Sem considerar as emissões associadas ao tratamento mecânico do resíduo, é possível reduzir até 69 kg.CO_2/m³;

Figura 9 – Análise do consumo de cimento por kg/MPa para os concretos produzidos

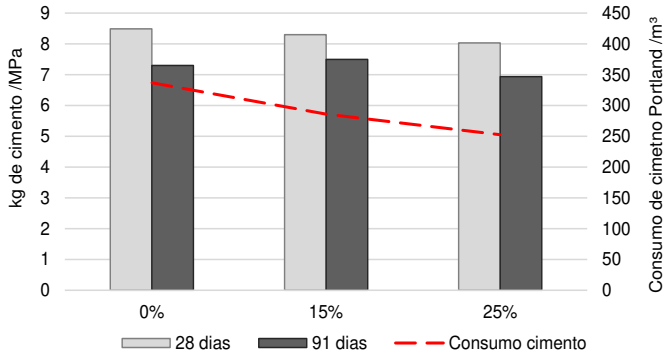
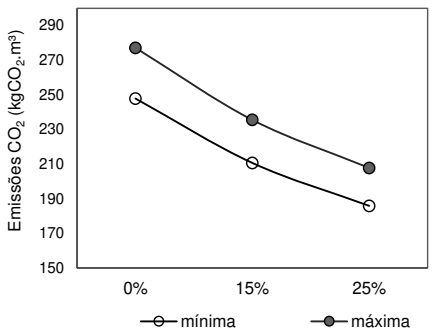


Figura 10 – Emissões de CO_2 associados à produção do concreto



Alguns estudos da literatura (CORINALDESI, V., MORICONI, 2009, CARASEK, et al.,2018), destacam que os resíduos de construção e demolição oriundos do processamento de concreto possuem desempenho superior aos oriundos do processamento de materiais cerâmicos. No entanto Carasek et al. (2018) destacam a importância de considerar-se a origem do resíduo e não somente sua composição, pois em seu trabalho relata a discrepância no desempenho de resíduos de concreto oriundos de diferentes fontes, como sobras de caminhão betoneira versus estruturas de concreto demolidas.

Destaca-se ainda que o cimento empregado neste estudo (CP V), pode conter até 10% de filler calcário em sua composição devido à permissão normativa (NBR 16697, ABNT, 2018). Logo, sugerem-se estudos futuros com o emprego de clínquer (ou CP I) e moagem mais fina do RC, a fim de buscar resultados mais próximos aos obtidos em plantas de produção de cimentos.

5 CONCLUSÕES

Com base no programa experimental desenvolvido, para estudos em argamassas e concretos, tem as seguintes conclusões referente ao emprego da Fração fina do Resíduo de Concreto (FFRC) em substituição ao cimento Portland:

- A densidade aparente de RC está diretamente relacionada à finura de Blaine e ao diâmetro médio das partículas. Quanto menor a finura, maior a massa específica do resíduo. Além disso, o IAP é inversamente proporcional ao tamanho de grão RC. Portanto, quanto mais fino o material, maior o IAP, possivelmente devido à maior quantidade de material cimentício contido nas frações mais finas de resíduos.
- Constatou-se quanto maior o teor de RC empregado menor o consumo de cimento requerido por MPa (redução da ordem de 5%).
- O aumento do teor de substituição de cimento Portland pela FFRC causou redução das propriedades mecânicas dos compósitos estudados (argamassas e concretos). Para o concreto, a perda de resistência à compressão foi de aproximadamente 13% e 20% para 15% e 25% de substituição, respectivamente.
- Os resultados de caracterização do resíduo e das propriedades mecânicas em argamassas e concretos produzidos com diferentes teores de resíduo de concreto em substituição ao cimento Portland CP V ARI apontam a potencialidade de utilização da fração fina de RC em cimentos em teores de até 25%, contudo recomendam-se estudos em clínquer assim como a realização de ensaios de durabilidade a fim de avaliar seu real desempenho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5752:** Materiais Pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 12653:** Materiais pozolânicos: Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 7215:** Cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – requerimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 16605**: Portland cement and other powdered material - Determination of the specific gravity. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 8522**: Concrete - Determination of static modulus of elasticity and deformation by compression. Rio de Janeiro, 2017.

_____.**NBR 7222**: Concrete and mortar - Determination of the tension strength by diametrical compression of cylindrical test specimens. Rio de Janeiro, 2011.

_____.**NBR 16372**: Portland cement and other powdered materials - Determination of fineness by the air permeability method (Blaine method). Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL, Resolução Conama 307: Conselho Nacional de Meio Ambiente 2002. Available at: http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm.

CARASEK, H., GIRARDI, A. C. C., ARAÚJO, R. C., ANGELIM R., CASCUDO, O. Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento. **Cerâmica**, vol. 64, 2018. pp. 288-300.

CONTRERAS, M. et al. Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). **Construction and Building Materials,** v. 123, 594-600, 2016.

CORINALDESI, V., MORICONI, G. Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. **Construction and Building Materials**. 23, 2009. 289–294. https://doi.org/10.1016/J.conbuildmat.2007.12.006

EVANGELISTA, L., GUEDES, M., BRITO, J., FERRO, A.C., PEREIRA, M.F. Physical, chemical and mineralogical properties of fine recycled aggregates made from concrete waste. **Construction and Building Materials**. 86, 2015. 178–188. https://doi.org/10.1016/J.conbuildmat.2015.03.112.

FAVARETTO, P., HIDALGO, G., SAMPAIO, C., SILVA, R., LERMEN, R. Characterization and Use of Construction and Demolition Waste from South of Brazil in the Production of Foamed Concrete Blocks. **Applied Science**. 7, 2017. 1090. https://doi.org/10.3390/app7101090.

GASTALDI, D., CANONICO, F., CAPELLI, L., BUZZI, L., BOCCALERI, E., IRICO, S. An investigation on the recycling of hydrated cement from concrete demolition waste. **Cement Concrete Composites**. 2015. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.04.010

IEA. **Cement Technology Roadmap**: Carbon Emissions Reductions up to 2050, OECD/IEA. 2010. Available in http://www.oecd-ilibrary.org/energy/cementtechnology-roadmap-carbon-emissions-reductions-up-to-2050_ 9789264088061-en.

JOHN, V. M. DAMINELI, B. QUATTRONE, M. PILEGGI, R. Fillers in cementitious materials — Experience, recent advances, and future potential. **Cement and Concrete Research**, vol. 114, pp. 65-78, 2018. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.09.013.

KWON, E., AHN, J., CHO, B., PARK, D. A study on development of recycled cement made from waste cementitious powder. **Construction and Building Materials**. 2015. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.086

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2014.

OLIVEIRA, T. C. F.; Dezen, G. G. S.; Possan, E. Use the concrete fine fraction waste as a replacement of Portland cement. **Journal of Cleaner Production**, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123126

Possan, Edna. Captura de CO_2 em materiais cimentícios. **Concreto & Contrução**, vol 95, 2019.

PUERTA-FALLA, G. et al. The influence of filler type and surface area on the hydration rates of calcium aluminate cement. **Construction and Building Materials,** v. 96, p. 657-665, 2015.

ULSEN, C.; KAHN, H.; HAWLITSCHEK, G.; et al. Production of recycled sand from construction and demolition waste. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 1168–1173, 2013.

WANG, J., MU, M., LIU, Y. Recycled cement. **Construction and Building Materials**. 190, 2018. 1124–1132. https://doi.org/10.1016/J.conbuildmat.2018.09.181.