

AVALIAÇÃO DO USO DE AGREGADOS MIÚDOS RECICLADOS NA DOSAGEM E PRODUÇÃO DE CONCRETOS RECICLADOS¹

SANTANA, V. M., Universidade Estadual de Feira de Santana, email: v.melo.civil@gmail.com;

LEITE, M. B., Universidade Estadual de Feira de Santana, email: mleite.uefs@gmail.com

ABSTRACT

The main goal of this work is to evaluate the mix design of concrete with 20 and 40% of recycled fine aggregate (RFA), using the Graff's table flow test for two flow levels ($355 \pm 5\text{mm}$ and $405 \pm 5\text{mm}$). The results show that the adapted IPT mix design method can be used for recycled concrete, provided that some parameters are considered, such as: the use of the Graff's table flow test to determine the workability; the use of low proportions of AMR; and an increase of the ideal dry mortar content with the increase of RFA proportion.

Keywords: Mix design, recycled concrete, recycled fine aggregate.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregado reciclado na produção de concreto apresenta-se como uma alternativa para construção civil. De modo geral, o agregado reciclado (AR) apresenta uma composição heterogênea e, por isso, ocorre uma variabilidade em algumas de suas características, tais como: forma, textura, massa específica, absorção de água, resistência mecânica, dentre outras. E assim, há grande influência na qualidade dos concretos produzidos (CABRAL *et al.*, 2010; CHEN; YEN; CHEN, 2003).

Diversos autores afirmam que a elevada taxa de absorção de água do AR dificulta o controle das propriedades do concreto no estado fresco, devido a redução na quantidade de água de amassamento das misturas. E, por consequência as propriedades do concreto no estado endurecido e sua durabilidade também são influenciadas (FAN *et al.*, 2016; EVANGELISTA; BRITO, 2010; CARNEIRO, 2011; FIGUEIRÊDO FILHO, 2011).

A textura mais rugosa e a forma irregular do AR promovem o travamento entre grãos e redução da mobilidade das misturas, reduzindo a trabalhabilidade dos concretos, medida pelo ensaio de abatimento (LEITE, 2001; MALTA, 2012). Moitinho e Leite (2015) perceberam que o ensaio de espalhamento na mesa de Graff é mais indicado para avaliar a trabalhabilidade de concretos com AR, por introduzir uma componente dinâmica na sua determinação.

O uso de AR na produção de concreto prescinde da consideração das suas características no processo de dosagem. De acordo Amario (2015), a falta de um método específico de dosagem, que leve em consideração as diferentes propriedades dos ARs é uma grande dificuldade para aplicação do concreto

¹ SANTANA, V. M., LEITE, M. B. Avaliação do uso de agregados miúdos reciclados na dosagem e produção de concretos reciclados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

reciclado. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é realizar um estudo da influência do uso de agregados miúdos reciclados mistos sobre a dosagem e produção de concretos reciclados.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O cimento utilizado no desenvolvimento desse estudo foi o CP II-Z 32, que atende aos limites especificados na NBR 11578 (ABNT, 1991), cuja massa específica é de 3,06 g/cm³. Os agregados utilizados no estudo e sua caracterização são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Caracterização dos agregados

Propriedade	Brita	Areia Fina (AF)	Areia média (AM)	AMR
Dimensão máxima característica NBR NM 248 (ABNT, 2003) (mm)	19,0	0,6	2,4	4,8
Módulo de finura NBR NM 248 (ABNT, 2003)	6,68	1,50	2,86	2,34
Massa específica (kg/dm ³) NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,79	2,63	2,61	2,57
Taxa de absorção de água (%) NBR NM 30 (ABNT, 2001)	0,4	0,7	0,8	8,6
Teor de material pulverulento (%) NBR NM 46 (ABNT, 2003)	0,2	1,1	0,6	8,6

Fonte: Os autores

As areias naturais foram utilizadas numa composição de 55% de AF e 45% de AM. As proporções de AMR utilizadas foram 20 e 40%.

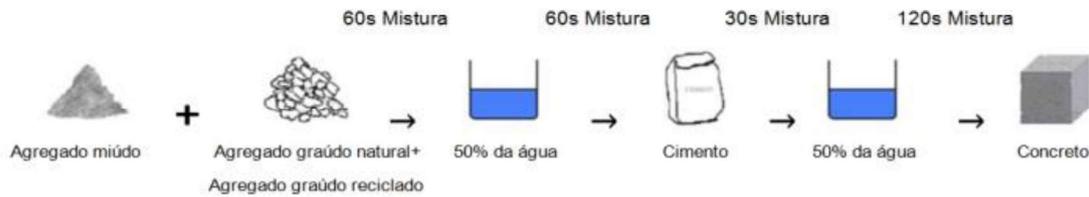
Foi feita uma adaptação do método de dosagem do IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1992), na qual a trabalhabilidade foi medida com o ensaio de espalhamento na mesa de Graff, para alcançar dois níveis distintos, 355±5mm (N1) e 405±5mm (N2).

O estudo de dosagem iniciou-se com a definição do teor ideal de argamassa (alfa) para o concreto com 20% de AMR e N1 de espalhamento, para o traço intermediário 1,0:5,0, em massa, tendo sido encontrado o teor de 51%. Com a definição do alfa foram estabelecidas as relações a/c das misturas, necessárias para o alcance do nível de espalhamento fixado na mesa de Graff. Posteriormente, foram produzidos os concretos com traços 1;3,5 e 1;6,5 considerando o teor de argamassa previamente estabelecido e a trabalhabilidade requerida. Esse processo foi feito para cada família para todas as famílias de concreto.

Na produção dos concretos, foi aplicado o método de mistura em duas etapas, proposto por Tam, Gao e Tam (2005), cujo tempo e ordem de colocação dos materiais na betoneira podem ser visualizados na Figura 1. A escolha por esse método se deu, por ser um método indicado para produção de concretos reciclados, por promover uma melhora na zona de transição dos concretos e a reduzir a taxa de absorção de água do agregado reciclado.

Após avaliação da trabalhabilidade dos concretos, foram moldados corpos de prova para avaliar a resistência à compressão (NBR 5739, ABNT, 2007).

Figura 1 - Método de mistura em duas etapas



(Fonte: TAM; GAO; TAM, 2005)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os traços dos concretos obtidos nesse estudo. É possível verificar que foi necessário aumentar o teor de argamassa das misturas de concreto a medida que o teor de agregado reciclado passou de 20 para 40%, e, também, com o aumento do nível de espalhamento de $355\pm 5\text{mm}$ para $405\pm 5\text{mm}$. Esse comportamento pode ser atribuído a forma mais angular do AMR, com taxas de superfície/volume maiores, e a sua textura mais rugosa, que promove efeito de travamento entre grãos, sendo necessário uma maior quantidade de argamassa para envolver os agregados, conforme também foi observado por Rodrigues e Fucale (2014) e Santos (2016).

Os resultados médios da resistência à compressão dos concretos produzidos utilizando o método de dosagem do IPT/EPUSP adaptado, com o desvio padrão e coeficientes de variação estão apresentados Tabela 3.

Tabela 1 - Resultados de resistência à compressão

Mistura	M	a/c	fcm \pm Sd (CV) (MPa)	
			7 (dias)	28 (dias)
20%AMR-N1	3,5	0,41	31,1 \pm 0,9(2,9)	41,3 \pm 1,3(3,2)
	5,0	0,50	26,9 \pm 0,2(0,7)	32,1 \pm 0,8(2,4)
	6,5	0,65	18,3 \pm 0,7(3,8)	22,2 \pm 0,4(1,6)
20%AMR-N2	3,5	0,44	29,1 \pm 1,3(4,6)	35,5 \pm 0,2(0,5)
	5,0	0,54	21,5 \pm 0,1(0,2)	26,7 \pm 0,6(2,4)
	6,5	0,69	11,9 \pm 0,3(2,9)	16,1 \pm 0,4(2,3)
40%AMR-N1	3,5	0,42	26,6 \pm 0,3(1,3)	39,5 \pm 0,1(0,1)
	5,0	0,55	22,1 \pm 0,6(2,6)	29,6 \pm 0,3(1,1)
	6,5	0,69	14,3 \pm 0,1(0,4)	21,4 \pm 0,5(2,4)
40%AMR-N2	3,5	0,46	25,5 \pm 0,4(1,5)	34,6 \pm 0,9(2,7)
	5,0	0,58	19,5 \pm 0,1(0,7)	27,0 \pm 0,5(2,0)
	6,5	0,74	11,0 \pm 0,2(2,1)	17,8 \pm 0,1(0,8)

Fonte: Os autores

Tabela 2 Teor de argamassa, traços, teor de agregados secos, consumo de materiais e resultados de espalhamento das misturas produzidas

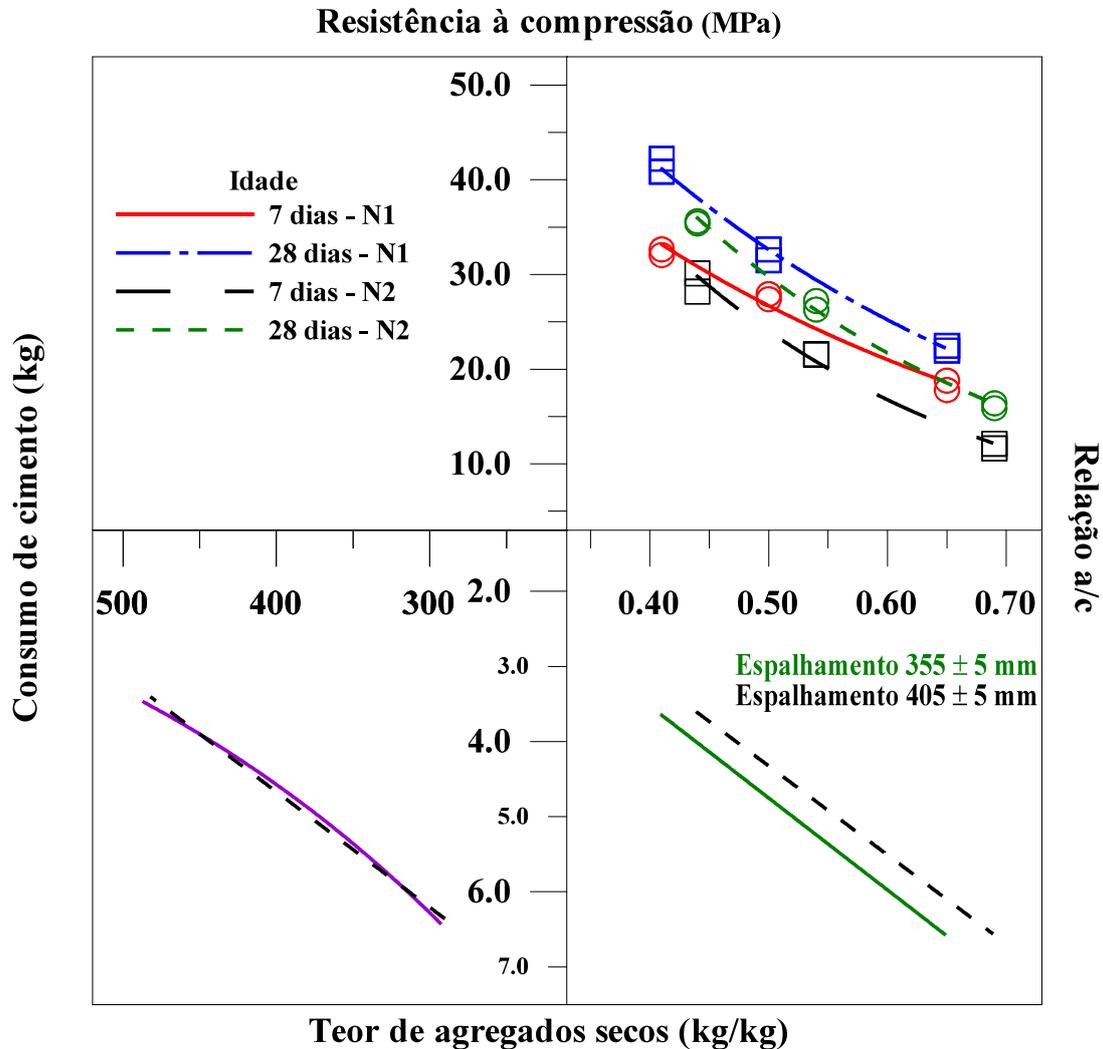
Misturas	Alfa (%)	Traço unitário, em massa						M	Consumo de materiais para 1m ³ de concreto						Espalhamento (mm)
		c	a1	a2	a3	p	q/c		Cimento	AF	AM	AMR	AGN	Água	
20%AMR-N1	51	1,00	0,57	0,47	0,26	2,21	0,41	3,5	488	278	223	127	1079	200	350
	51	1,00	0,91	0,74	0,41	2,94	0,50	5,0	371	338	274	152	1090	185	355
	51	1,00	1,24	1,02	0,57	3,68	0,65	6,5	293	363	299	167	1078	190	360
20%AMR-N2	52	1,00	0,59	0,48	0,27	2,16	0,44	3,5	482	284	231	130	1041	212	405
	52	1,00	0,94	0,76	0,42	2,88	0,54	5,0	365	343	278	153	1052	197	410
	52	1,00	1,28	1,04	0,58	3,6	0,69	6,5	290	371	301	168	1043	200	410
40%AMR-N1	52	1,00	0,44	0,36	0,54	2,16	0,42	3,5	486	214	175	263	1050	204	355
	52	1,00	0,70	0,57	0,85	2,88	0,55	5,0	363	254	207	309	1047	200	360
	52	1,00	0,96	0,78	1,16	3,6	0,69	6,5	289	278	226	336	1041	201	350
40%AMR-N2	53	1,00	0,46	0,37	0,56	2,12	0,46	3,5	477	219	176	267	1005	219	410
	53	1,00	0,72	0,59	0,87	2,82	0,58	5,0	359	259	212	313	1013	208	405
	53	1,00	0,98	0,81	1,19	3,53	0,74	6,5	285	279	231	339	1003	211	410

Nota: Alfa – teor de argamassa seca; c- cimento; a1 - AF; a2- AM; a3 – AMR; p – agregado graúdo natural; q/c – relação água/cimento; m – teor de agregados secos

Fonte: Os autores

Em função dos resultados da dosagem e dos resultados de resistência à compressão dos concretos produzidos foram traçados os diagramas de dosagem (Figura 2 e 3).

Figura 2 Diagrama de dosagem das misturas 20% AMR

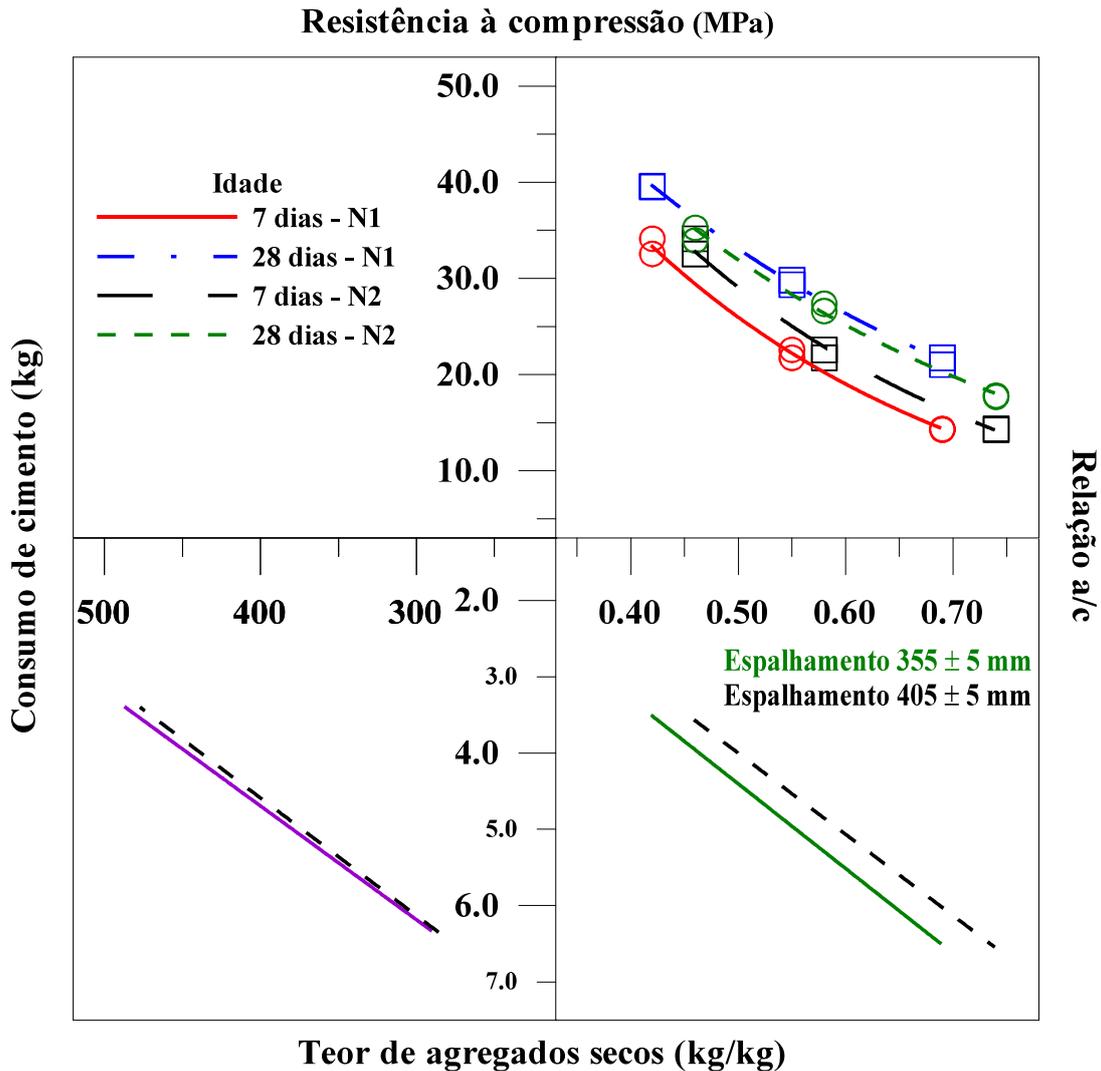


Fonte: Os autores

Verifica-se que a resistência à compressão dos concretos para ambos teores de AMR (20 e 40%), aos 28 dias, variaram em uma faixa de aproximadamente 25 a 42 MPa. Para uma resistência fixada aos 28 dias, observa-se que o aumento da consistência resulta no aumento do consumo cimento por m^3 de concreto, para ambos os teores de AMR (20 e 40%). Quando comparada a mistura plástica (N1), a mistura fluida (N2) com 20% de AMR necessita de um aumento de cerca de 13% no consumo de cimento para uma resistência de 35 MPa. Já a mistura 40%AMR-N2 necessita do acréscimo cerca de 10% no consumo de cimento para alcançar a mesma resistência. Assim, é possível perceber que, para uma resistência fixada o aumento do nível de espalhamento pode implicar no aumento do consumo de cimento das misturas. Rodrigues e Fucale (2014) e Angulo (2005) também perceberam este

comportamento ao realizarem estudos com concretos reciclados. De acordo os autores, os concretos reciclados apresentaram perda de trabalhabilidade e aumento do consumo de cimento devido a elevada absorção de água do agregado reciclado. O elevado consumo de cimento em misturas de concreto pode causar fissuração de origem térmica, devido ao calor liberado na reação de hidratação e fissuração devido a retração por secagem, além de aumentar o custo final do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Figura 3 Diagrama de dosagem das misturas 40%AMR



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados nesse estudo foi possível concluir que:

- o método de dosagem do IPT/EPUSP adaptado pode ser utilizado na dosagem de concretos com agregado miúdo reciclado (AMR), sem prejuízo, por ser um método de dosagem experimental que considera as características físicas dos agregados durante o processo de dosagem;

- o ensaio de espalhamento na mesa de Graff é indicado para avaliar trabalhabilidade do concreto reciclado, uma vez que, todas as misturas atingiram o espalhamento fixado sem a necessidade de grandes aumentos da relação a/c das misturas;
- o uso do método de mistura em duas etapas para produção de concretos reciclados favoreceu tanto a trabalhabilidade, quanto a resistência à compressão dos concretos;
- com relação ao teor de AMR, os resultados indicam que é possível substituir até 40% do agregado miúdo natural pelo AMR para produção de concretos reciclados, e ainda assim alcançar resistências de até 42 MPa.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

AMARIO, M. **Dosagem científica de concretos estruturais contendo agregado de resíduo de concreto (ARC)**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ANGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de Suas Características no Comportamento Mecânico de Concretos**. 2005. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578** Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 68**: Concreto - Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff. Rio de Janeiro, 1998.

CABRAL A. E. B.; SCHALCHB, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D. Mechanical properties modeling of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 24, p. 421–30, 2010.

CARNEIRO, J. A. **Uso de agregado reciclado e fibras de aço em concreto simples e concreto armado sob flexão**. 2011. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

CHEN, H.; YEN, T.; CHEN, K. Use of building rubbles as recycled aggregates. **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 125-132, 2003.

EVANGELISTA; L.; BRITO, J. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement and concrete composites**, v. 32, p. 9-14, 2010.

FAN, C. C; HUANG, R.; HWANG, H.; CHAO, S. J. Properties of concrete incorporating fine recycled aggregates from crushed concrete wastes. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 708–715, 2016.

FIGUEIRÊDO FILHO, J.G.L. **Avaliação da Trabalhabilidade de Concreto Contendo Agregado Reciclado de Argamassa**. 2011. 89f . Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. 1.ed. São Paulo: PINI, 1992. 349p.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia da Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MALTA, J. O. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2012.

MOITINHO, B.L.R; LEITE, M. B. Estudo da produção de concretos reciclados utilizando agregados de argamassa. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2015. p.1-15.

RODRIGUES, C. R. S.; FUCALE, S. Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 99-111, 2014.

SANTOS, A. A. M. **Concreto com agregado graúdo reciclado de concreto: dosagem e produção**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, 2016.

TAM, V.W.Y.; GAO, X. F.; TAM, C. M. Micro-structural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. **Cement and Concrete Research**. v.35, p. 1195-1203, 2005.