

CAPÍTULO 32

ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DO USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS PARA PAVIMENTOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081132

REUPS; JOSÉ EDUARDO ANGELI[1]; NIEMCZEWSKI; JULIANA ALVES LIMA SENISSE[1]
[1]UNIVERSIDADE FEEVALE.
EDUARDOREUPS@HOTMAIL.COM

RESUMO: O estudo objetiva analisar a viabilidade da utilização do resíduo de construção e demolição gerado pelo laboratório de técnicas construtivas (Labtec) da Universidade Feevale, como substituto ao agregado graúdo para produção de blocos intertravados de concreto. Após beneficiamento e caracterização conforme NBR 7211 (ABNT, 2009), foram realizados traços experimentais com substituição nos teores de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, secos e umedecidos. Ensaios laboratoriais de inspeção visual, avaliação dimensional, resistência à compressão e absorção de água foram realizados. Concluiu-se que a substituição no teor de 40%, na condição seca, foi a mais adequada no sentido de atender aos requisitos da NBR 9781 (ABNT, 2013).

PALAVRAS-CHAVES: Construção civil; Concreto; *Pavers*; Resíduo; Reciclagem.

ABSTRACT: The study aims to analyze the feasibility of using construction and demolition waste generated by the Construction Techniques Laboratory at Feevale University, as a substitute for coarse aggregate to produce interlocking concrete blocks. After processing and characterization according to NBR 7211 (ABNT, 2009), experimental mixes were carried out with replacement in the contents of 10%, 20%, 30%, 40% and 50%, dry and moist. Laboratory tests for visual inspection, dimensional evaluation, compressive strength and water absorption were performed. It was concluded that the replacement of 40% content, in the dry condition, was the most adequate in order to meet the requirements of NBR 9781 (ABNT, 2013).

KEYWORDS: Construction; Concrete; Pavers; Residue; Recycling.

1 | INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável pelo consumo de 40%-75% de toda a matéria-prima produzida no planeta; gasta-se até 8% a mais em material devido a perdas. Para cada ser humano, são produzidos 500Kg de entulho, o que equivale a 3,5 milhões de toneladas/ano. Esses dados fazem da construção civil a indústria mais poluente do planeta(1).

Além disso, entre 40% a 75% de toda extração é destinada ao setor, além desta ser a maior produtora de resíduos sólidos urbanos (RSU), gerando a parcela predominante da massa total(15). O potencial de reaproveitamento/reciclagem permeia 30% a 40% do volume total de RSU(11), já a estimativa é de que apenas 13% desses resíduos sejam reciclados(17). Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

ou SNIS[18], o índice de reaproveitamento de resíduos em relação ao total de RSU, em 2012, foi de 1,91%. No mesmo ano, apenas 91% do lixo produzido foi coletado[10].

Conforme a NBR 9781[6], o concreto utilizado em blocos intertravados deve ser constituído de cimento Portland, agregados e água, podendo empregar aditivos químicos e pigmentos. A NBR 15116[7], permite realizar a substituição parcial do agregado graúdo natural por reciclado para concretos. Neste sentido, o presente estudo foi realizado buscando analisar a influência da adição de diferentes teores de RCD, como agregado graúdo na composição de blocos intertravados de concreto, em substituição parcial ao agregado graúdo natural. Para tanto, serão avaliadas as propriedades visuais, geométricas, física e mecânica do referido componente de concreto.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O cimento Portland utilizado foi do tipo CP V ARI-RS, conforme NBR 16697[8]; a água utilizada é proveniente de poço artesiano localizado na Universidade Feevale, o aditivo químico foi do tipo redutor de água (plastificante); o agregado miúdo empregado foi uma areia média de origem natural, conforme NBR 7211[5]; o Agregado Graúdo Natural, ou AGN, foi uma brita 1, de origem basáltica, enquanto o Agregado Graúdo Reciclado, ou AGR, obtido a partir do beneficiamento de RCD, obtidos do LBTEC da Universidade Feevale, ambas com diâmetro máximo de 19mm.

O resíduo empregado para a produção do AGR foi composto por tijolos/blocos cerâmicos e argamassa. A britagem do AGR, em virtude de limitações laboratoriais, se deu de forma manual, onde foram empregadas ferramentas adequadas, a fim de se obter um agregado cuja distribuição granulométrica assemelhava-se com o AGN.

2.2 Produção dos concretos

Para a produção do concreto, foi utilizado um traço fixo adaptado[2], sendo esse de 1:1,44:2,00:0,40 (cimento:agregado miúdo:agregado graúdo:fator água/cimento); e quando necessário, aditivo redutor de água (plastificante). Os traços estudados tiveram substituição do AGN pelo AGR, em massa, em teores de 0% (referência), 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. Os AGR's foram substituídos na condição seca e umedecida (saturada).

O processo de saturação do AGR ocorreu com a realização de molhamento do mesmo com água potável, pelo período de 10 minutos, com consequente secagem de sua superfície com pano, visando não ter água livre e assim, aumentar a quantidade da água de amassamento.

Os concretos foram produzidos em betoneira de eixo inclinado, seguindo a ordem tradicional de mistura dos materiais, quando necessário empregado aditivo químico.

Finalizada a mistura, realizou-se o ensaio de abatimento de tronco de cone, conforme NBR NM 67[3], este fixado em 4 ± 1cm para todos os traços. Este ensaio foi realizado com o intuito de avaliar a qualidade dos concretos produzidos. Os resultados obtidos estão na Tabela 1.

Dim.	Traços										
	PSEC-REF	PSEC-10%	PSEC-20%	PSEC-30%	PSEC-40%	PSEC-50%	PSAT-10%	PSAT-20%	PSAT-30%	PSAT-40%	PSAT-50%
Abatim. (mm)	4,00	3,50	3,50	3,00	2,50	2,00	4,00	4,00	5,00	6,00	5,00
Aditivo (%)	0,00	0,40	0,85	1,20	1,50	1,50	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00

Tabela 1: Abatimento dos diferentes traços de concreto

Os corpos de prova foram moldados com o procedimento de preenchimento em duas camadas com adensamento manual (25 golpes/camada), conforme adaptação da NBR 5738[4]. Após o adensamento manual, realizou-se adensamento mecânico (1 min), em agitador de peneiras. Para cada um dos traços estudados foram produzidos 9 corpos de prova.

2.3 Métodos de ensaio

Para análise visual e dimensional empregaram-se 6 corpos de provas/traços. Na análise dimensional, as medidas máximas adotadas foram de 250mm (comprimento), mínima de 97mm (largura) e de 60mm (altura). Antes do ensaio de resistência à compressão, este realizado aos 35 dias completos de cura, os blocos intertravados foram capeados (pasta). Realizou-se a imersão em água (23 ± 5°C) com 24h de antecedência ao ensaio, conforme preconiza NBR 9781[6]. Para o ensaio de absorção de água, realizado aos 28 dias completos de cura, 3 blocos/traços foram imersos e mantidos em água (23 ± 5°C), por cerca de 24h. A secagem foi realizada em estufa (110 ± 5°C), durante 24h, até obtenção de constância de massa.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram analisados conforme NBR 9781[6]. Para os resultados de resistência à compressão e de absorção de água foi realizada análise estatística de variância (ANOVA), através do uso do software Statistica 7.0, com um nível de confiança de 95%.

3.1 Ensaio de inspeção visual

A utilização de formas padronizadas proporcionou a produção de blocos com faces em 90° e arestas vivas (Figura 2), tal qual solicita a norma. O uso de resíduo cerâmico (coloração vermelha), gerou variação na coloração dos blocos, aceita pela norma (Figura 3).



Figura 2 – Ângulos, arestas e rebarbas dos blocos



Figura 3 – Variação na coloração dos blocos

Fonte: Autor (2019)

Os resultados individuais e médios obtidos na avaliação das propriedades geométricas são semelhantes e satisfatórios, conforme demonstra Tabela 2.

Dim.	Traços										
	PSEC-REF	PSEC-10%	PSEC-20%	PSEC-30%	PSEC-40%	PSEC-50%	PSAT-10%	PSAT-20%	PSAT-30%	PSAT-40%	PSAT-50%
L (mm)	198,2	197,65	198,13	197,57	197,88	197,77	199,06	198,42	197,82	197,73	197,63
b (mm)	99,37	99,61	99,77	99,86	99,88	99,56	99,55	99,53	99,76	100,36	100,08
h (mm)	79,14	79,38	81,76	80,03	80,39	80,33	79,98	79,15	79,81	79,98	79,42

Tabela 2: Valores médios das dimensões dos blocos

3.2 Ensaio de resistência à compressão

Na Tabela 3 são expressos os resultados de resistência à compressão individual obtidos para cada um dos blocos intertravados.

Traço	Resistência individual das peças						fp	S	fpk, est
	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6			
	fpi (MPa)	fpi (MPa)	fpi (MPa)	fpi (MPa)	fpi (MPa)	fpi (MPa)			
P-sec-ref	41,00	46,10	39,60	40,70	32,70	33,70	38,97	5,01	34,36
P-sec-10%	47,20	45,80	44,70	52,10	45,60	54,80	48,37	4,11	44,59
P-sec-20%	45,10	45,20	42,80	41,00	46,80	39,90	43,47	2,68	41,00
P-sec-30%	41,70	35,50	41,60	37,40	38,40	48,60	40,53	4,63	36,27
P-sec-40%	34,40	40,60	40,80	35,60	38,80	38,50	38,12	2,61	35,71
P-sec-50%	32,40	24,90	30,50	34,30	28,00	25,80	29,32	3,72	25,89
P-sat-10%	44,70	42,40	41,90	42,60	45,10	41,30	43,00	1,54	41,58

P-sat-20%	43,90	45,00	46,90	46,10	43,30	37,50	43,78	3,36	40,70
P-sat-30%	39,90	35,20	43,10	43,40	42,50	37,20	40,22	3,41	37,08
P-sat-40%	38,40	27,80	40,40	36,60	37,20	38,70	36,52	4,47	32,41
P-sat-50%	36,00	31,30	36,30	33,60	36,90	31,70	34,30	2,45	32,05

Tabela 3: Resistência característica à compressão estimada dos blocos

Com a análise dos resultados é possível observar que para o concreto referência, os resultados obtidos de resistência à compressão foram inferiores aos traços com substituições de 10% e 20%. Tal comportamento ratifica o indicado na bibliografia[13,9,12], a qual aponta que tais resíduos podem agir como pozolanas artificiais, favorecendo o aumento da resistência à compressão dos concretos.

Com a realização da análise de variância (ANOVA) foi possível observar que somente o teor de substituição gerou efeito significativo nos resultados obtidos, Tabela 4.

Variáveis	F	GDL	p	S
Saturação	3,30	2	0,042	NS
Teor de subst. (%)	11,47	10	0,000	S
Sat.*Teor de subst. (%)	--	--	--	--

Onde: F – valor calculado; GDL – graus de liberdade; p – nível de significância; S - significativo; NS –não significativo
OBS.: Por alguma inconformidade com o programa, a resultante de Saturação*Teor de substituição (%) não ficou explicitada.

Tabela 4: ANOVA – Resistência à compressão

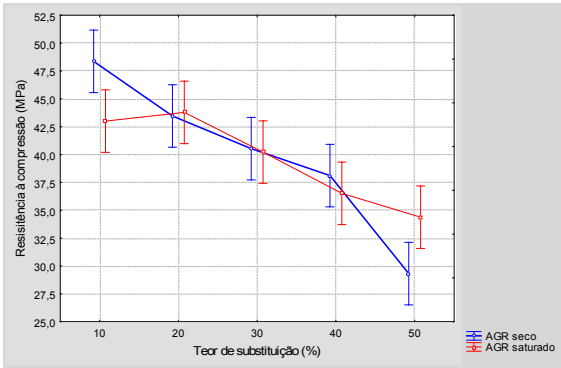


Gráfico 1: Teor de substituição x condição do agregado

Fonte: Autor (2019)

A saturação do AGR não apresentou influência significativa nos resultados analisados. No Gráfico 1 é apresentada uma análise de 2ª ordem entre o teor de substituição e a condição do agregado. Conjuntamente, analisando o Gráfico 1, é possível concluir que os concretos com teores de substituição de até 40% atenderam aos requisitos de norma com relação a propriedade avaliada. Tal comportamento também foi observado na literatura[16,14]. Somente os traços com substituição de 50% não atenderam a resistência à compressão mínima de 35 MPa.

3.3 Absorção de água

Os resultados, individuais e médios, obtidos no ensaio de absorção de água

mostraram-se satisfatórios às solicitações da norma brasileira[7], conforme demonstrado na Tabela 5.

Abs. (%)	Traços										
	PSEC-REF	PSEC-10%	PSEC-20%	PSEC-30%	PSEC-40%	PSEC-50%	PSAT-10%	PSAT-20%	PSAT-30%	PSAT-40%	PSAT-50%
1	1,78	2,01	1,85	1,88	2,35	2,14	2,73	2,40	1,99	2,69	2,88
2	2,07	1,43	1,93	2,17	2,58	2,59	1,88	2,35	2,44	2,90	2,63
3	1,89	1,70	2,24	2,33	1,89	3,46	1,83	2,70	2,61	3,03	2,88
Média	1,91	1,72	2,01	2,13	2,27	2,73	2,15	2,48	2,35	2,88	2,80

Tabela 5: Absorção individual e média dos blocos

Realizando a análise estatística, observa-se que para esta variável de resposta, a condição do agregado e o teor de substituição apresentaram influência significativa (Tabela 6).

No Gráfico 2 é apresentada uma análise de 2ª ordem entre as duas variáveis, pode-se observar que independente da condição de saturação do agregado (seco ou saturado), o aumento do teor de substituição do AGN pelo AGR gerou um aumento na taxa de absorção de água.

Variáveis	F	GDL	p	S
Saturação	1544	2	0,00	S
Teor de subst. (%)	120	5	0,00	S
Sat.* Teor de subst. (%)	1	10	0,687	NS

Onde: F – valor calculado de F; GDL – graus de liberdade; p – nível de significância; S - significativo; NS – não significativo

Tabela 6: ANOVA – Teor de absorção de água

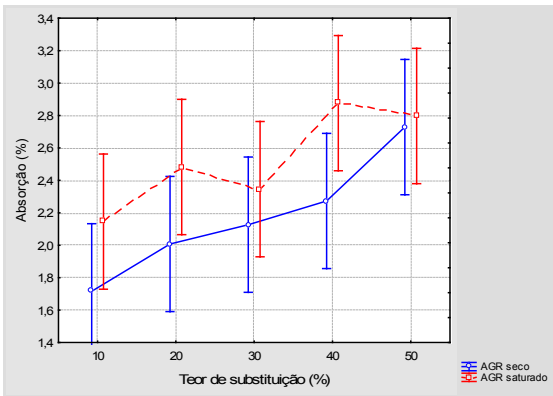


Gráfico 2: Teores de absorção médios obtidos pelas diferentes saturações do agregado

Fonte: Autor (2019)

Tal comportamento era esperado, uma vez que o AGR tem uma taxa de absorção de água três vezes maior que o AGN, assim causando uma maior absorção de água no bloco intertravado avaliado.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, é possível concluir que a utilização do agregado reciclado em substituição ao agregado natural, influencia nas características do bloco intertravado de concreto. O umedecimento do agregado não proporcionou aumento considerável de resistência à compressão, apenas favoreceu a consistência do concreto, facilitando o amassamento e a moldagem.

Para trabalhos futuros, sabido que o umedecimento do agregado reciclado não apresentou grande significância no resultado, sugere-se a adoção da saturação do produto por completo, sendo mantida por determinado período imerso na água e somente depois do tempo previsto, disposto sob a peneira para escoamento da água. Além do exposto, sugere-se a substituição da utilização de aditivo plastificante por super plastificante de concreto, a fim de que se atinja o abatimento mínimo previsto e o processo de moldagem seja facilitado.

REFERÊNCIAS

1. AGOPYAN, V.; **Construção Civil consome até 75% da matéria-prima do planeta**. Disponível em <http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/07/construcao-civil-consome-ate-75-da-materia-prima-do-planeta.html>. Acesso em: 07 nov. 2019.

2. ARAÚJO, D. de L.; FELIX, L. P.; SILVA, L. C.; SANTOS, T. M**.; Influência de agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil – REEC. v.11 n.01. Goiânia/GO, 2015.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 2003.

4. _____. NBR 5738. **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de janeiro, 2015.

5. _____. NBR 7211. **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de janeiro, 2009.

6. _____. NBR 9781 - **Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2013.

7. _____. NBR 15116. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.** Rio de janeiro, 2004.

8. _____. NBR 16997. **Cimento Portland – Requisitos.** Rio de janeiro, 2018.

9. COUTINHO, A. S. **Fabrico e Propriedades do Betão.** vol1. ed. LNEC. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 610p. 1997.

10. GRISA, D. C.; CAPANEMA, L. X. de L. **Resíduos sólidos** = Municipal solid waste. In: PUGA, F. P.; CASTRO, L. B.(Org.). Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta. Rio de Janeiro : BNDES, 2018. p. 415-438.

11. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos de Logística Reversa Obrigatória.** Brasília, 2012. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/ agencia/ images/stories/ PDFs/relatoriopesquisa/120807_ relatorio_residuos_solidos_reversa.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2019.

12. LEITE, M. B.; DAL MOLIN, D. **Avaliação da atividade pozolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado de resíduo de C&D.** Sitientibus, Feira de Santana/BA, n.26, p.111-130, jan./ jun. 2002.

13. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais**. São Paulo, 1994.

14. MIZUMOTO, C.; SIMIELI, D.; SALLES, F.M. **Uilização de Agregados Reciclados em Pavimentos Intertravados.** Revista Exacta, São Paulo, v.5, n.2, p.231-241, jul-dez. 2007.

15. PASCHOALIN FILHO, J. A.; DUARTE, E. B. L. **Caracterização e destinação dos resíduos de construção gerados a construção de um edifício comercial localizado na cidade de São Paulo**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v.3, n.2, p.223-246, 2015.

16. POON. C. S.; KOU, S. C.; LAM, L. (2002) **Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks**. Constuction and Building Materials, vol. 16, p. 281-289.

17. SILVA, S. P. **A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária.**. Rio de Janeiro: Ipea, jan. 2017. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_ content&view=article&id=29271>. Acesso em: 26 fev. 2019.

18. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **O Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos divulga anualmente a base de dados do Snis, em seu componente "resíduos sólidos".** Disponível em <http://www.snis.gov.br/ diagnostico-residuos-solidos/ diagnostico-rs-2016>. Aceso em: 04 mar. 2019.