

Área: Sustentabilidade | **Tema:** Temas Emergentes em Sustentabilidade

Uso de agregados miúdos de origem cerâmica reciclados e sua atuação na substituição parcial de agregados miúdos naturais relacionados a trabalhabilidade, absorção e resistência do concreto

Use of recycled ceramic aggregates and their role in the partial replacement of natural aggregates related to concrete workability, absorption and strength

Leonardo Machado De Machado, Rodrigo Teixeira Schossler, Tobias Pigatto Ottoni e André Lübeck

RESUMO

A Construção civil é capaz de gerar uma enorme quantidade de resíduos e é por esse motivo que nos últimos anos, é crescente a preocupação em procurar e desenvolver maneiras de diminuir o desperdício de materiais para ajudar o meio ambiente. Com isso, um fator importante é a reciclagem dos resíduos da construção civil (RCC), pois eles criam a possibilidade de reutilização de materiais na própria área. Esta pesquisa tem por objetivo contribuir com estudos nessa área apresentando uma investigação e caracterização de concretos que são produzidos a partir da substituição parcial de agregados miúdos naturais por agregados miúdos de RCC classe vermelho (agregados miúdos reciclados), de origem cerâmica, provenientes de restos de pesquisas anteriores do LMCC (Laboratório de Materiais de Construção Civil), da universidade Federal de Santa Maria. Para o método de dosagem experimental utilizado para essa pesquisa tem-se o método IPT-EPUSP, conhecido como método IBRACON. O estudo foi feito comparando duas misturas de concreto, uma considerada de referência (CRef) constituída com agregado miúdo natural e outra com um concreto com substituição de 50% do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado (CRcc). Foi possível constatar que o concreto com presença de agregados reciclados, tinha menor trabalhabilidade e coesão para a mesma relação água/cimento (a/c), o que está conectado ao maior valor de absorção por parte dos agregados do CRcc se comparado ao concreto utilizado como referência. Referente a resistência mecânica, valores com presença de resíduo em sua composição foram mais significativos aos 28 dias de idade, fato que pode ser explicado pela não retirada dos finos do agregado de RCC, levando a crer em um possível efeito pozzolânico que os finos de origem cerâmica possam ter gerado no concreto.

Palavras-Chave: Agregado miúdo reciclado; Concreto; Resíduo da construção civil; Resistência mecânica.

ABSTRACT

Civil Construction is capable of generating a huge amount of waste and that is why in recent years, there has been a growing concern to look for and develop ways to reduce waste of materials to help the environment. Thus, an important factor is the recycling of construction waste (RCC), as they create the possibility of reuse of materials in the area itself. This research aims to contribute to studies in this area, it presents an investigation and characterization of concretes that are produced from the partial replacement of natural fine aggregates by red class RCC (recycled fine aggregates). They are aggregate from ceramic remains from previous research from the LMCC (Laboratory of Building Materials), Federal University of Santa Maria. For the experimental dosage method used for this research we have the IPT-EPUSP method, known as the IBRACON method. The study was made by comparing two concrete mixtures, one considered as reference (CRef) consisting of natural fine aggregate and another with a concrete with substitution of 50% of the natural fine aggregate for the recycled fine aggregate (CRcc). It was found that the concrete with the presence of recycled aggregates, had lower workability and cohesion for the same ratio water/cement (a/c), which is connected to the higher absorption value of the aggregates of CRcc compared to the concrete used as reference. Regarding mechanical resistance, values with residue in its composition were more significant at 28 days of age, a fact that can be explained by the non-removal of fines from the RCC aggregate, leading to believe in a possible pozzolanic effect that the fines that have ceramic origin may have generated in the concrete.

Keywords: Fine recycled aggregate; Concrete; Construction waste; Mechanical resistance.

USO DE AGREGADOS MIÚDOS RECICLADOS DE ORIGEM CERÂMICA E SUA ATUAÇÃO NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADOS MIÚDOS NATURAIS RELACIONADOS A TRABALHABILIDADE, ABSORÇÃO E RESISTÊNCIA DO CONCRETO

1 INTRODUÇÃO

A construção civil, apesar da constante queda de sua participação em relação ao produto interno bruto (PIB) nacional nos últimos anos (IBGE, 2017), ainda é um setor fundamental da economia brasileira. De acordo com Silva et. al (2015) a indústria da construção civil é considerada uma das atividades socioeconômicas mais importantes no Brasil, e isso porque gera milhões de empregos, além de também englobar desde a retirada de insumos, até a construção já dita. Além disso, ainda pode criar uma mobilização no setor relacionado com a atividade de reciclagem e reutilização de resíduos, atividade esta que continua crescendo ininterruptamente.

De acordo com Frigo e Silveira (2012) o aumento na geração de resíduos sólidos resultantes de construções, demolições e reformas na construção civil acarreta uma demanda por novas soluções buscando diminuir o excesso de materiais que são descartados e encaminhados para os aterros sanitários, bem como, fortalecer o uso dos mesmos na geração de matérias-primas secundárias, objetivando reduzir a exploração de recursos naturais não-renováveis de maneira que contribuam nas condições ambientais dos espaços urbanos.

Segundo Moura et. al (2018) vários argumentos positivos impulsionam a utilização de resíduos da construção civil (RCC) para a produção de novos materiais por meio de processos de reciclagem, entre eles a abundância desses resíduos e o impacto ambiental que podem causar quando colocados de forma inadequada.

Diversos pesquisadores têm estudado a incorporação de resíduos como materiais suplementares na produção de concreto com o propósito de reduzir o uso de recursos naturais. Estes materiais incluem cinza volante, sílica ativa (Leung et al., 2016), cal virgem (Noor-ul-Amin, 2012) ou resíduos de diferentes processos, como cerâmica (Awoyera et al., 2016), resíduos de óleo de palma (Ul Islam et al., 2016), resíduos de borracha de pneus (Thomas et al., 2016), argila e agregados reciclados (Muñoz-Ruiperez et al., 2016). A incorporação desses materiais produz alterações nas propriedades do concreto, no entanto, sua adição contribui para reduzir a quantidade de resíduos produzidos, além de reduzir o custo de manuseio e descarte para esses materiais.

Diversas pesquisas demonstram a atividade pozolânica em materiais cerâmicos. De acordo com Vieira (2005), investigações dão indícios que os resíduos da indústria cerâmica, quando triturados, dispõem de alguma atividade pozolânica com potencial para a produção de concretos com menor impacto ambiental.

Segundo Leite (2002), os resíduos de cerâmica vermelha, incluindo telhas, tijolos e blocos cerâmicos podem apresentar características pozolânicas, com isso, elevando a resistência mecânica do concreto em idades posteriores, quando utilizados como agregados.

Tendo base nisso, esta pesquisa busca desenvolver concretos utilizando agregados miúdos de RCC, de origem cerâmica, que possam ser empregados, tanto para fins não estruturais, como também em elementos estruturais, tais como; lajes, vigas ou pilares.

O objetivo do estudo foi realizar a dosagem de concretos desenvolvidos com agregados reciclados utilizando resíduos da construção civil, buscando avaliar a influência da substituição parcial de agregados miúdos naturais por agregados miúdos de resíduos da construção civil, de origem cerâmica, nas propriedades de trabalhabilidade, absorção de água e resistência à compressão.

1.1 EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS COM MATERIAIS RECICLADOS

Diversas pesquisas foram realizadas com a substituição de materiais agregados reciclados. Kang et. al (2014) verificaram que com a substituição dos agregados naturais pelos agregados reciclados variando de 15% a 50% sua taxa de substituição, houve uma redução de até 25% na resistência à compressão do concreto e de 19% na resistência à tração indireta com a substituição de 30% a 50% dos agregados naturais pelos reciclados.

Domenico et. al (2018) também estudaram variações dos teores de RCC com diferentes faixas granulométricas analisando os valores de resistência à compressão. Foi realizada a produção de agregados reciclados a partir de resíduos de construção. Os autores chegaram à conclusão que a resistência do concreto de referência se sobressai em relação a quase todos os demais tratamentos, que consideram substituição de 15% e 25% de agregado por RCC.

Já um resultado contrário, Leite (2001) ao substituir o agregado graúdo e miúdo pelos respectivos agregados reciclados constatou que o melhor desempenho relacionado à resistência à compressão ocorreu no concreto que apresentou 100% de agregado miúdo reciclado (AMR) e 0% de agregado graúdo reciclado (AGR).

De outro modo, Campos et. al (2018) investigaram a influência dos agregados reciclados nas propriedades reológicas e mecânicas de concretos auto adensáveis (CAA). Para isso, foram analisadas quatro composições diferentes de CAA, sendo uma delas produzida apenas com agregados naturais. As outras misturas utilizaram agregados miúdos e/ou graúdos reciclados em substituição aos agregados naturais, no teor de 20%, em massa. O autor chegou à conclusão que apesar da diminuição nas propriedades mecânicas dos concretos que tiveram agregados reciclados, não foram detectadas mudanças estatisticamente significativas na resistência à compressão, à tração e no módulo de elasticidade, aos 28 dias, nos concretos produzidos com substituição de 20% do agregado miúdo ou graúdo natural pela respectiva fração de agregado reciclado.

A alta taxa de absorção influencia a trabalhabilidade do concreto e ocasiona redução na sua resistência e desgaste por abrasão (Oliveira et al. 2016). Além disso, a elevada porosidade dos agregados reciclados faz com que estes possuam menor massa específica (Lima, 1999). Dessa forma, para um mesmo traço em massa, é necessário maior volume de agregados reciclados em relação aos naturais, ocasionando maior consumo de materiais (Tenório, 2007).

As diferenças de resultados obtidos com as pesquisas, podem ser relacionadas pela origem do material reciclado pois de acordo com Lovato (2007) os RCC possuem uma composição bastante variada, e que pode interferir no comportamento dos concretos produzidos com agregados reciclados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 AGREGADOS MIÚDO RECICLADO E NATURAL E AGREGADO GRAÚDO

Os materiais que foram utilizados para a produção dos RCC, foram resíduos de pesquisas dos laboratórios do LMCC (Laboratório de Materiais de Construção Civil), da Universidade Federal de Santa Maria. Foram coletados resíduos de construção civil classe vermelho, ou seja, resíduos que possuem origem cerâmica, como restos de blocos de alvenaria não aproveitados. Também foram utilizadas areia natural como agregado miúdo e brita 1 como agregado graúdo.

2.1.1 Redução de Material

Com relação a coleta e separação do material cerâmico, foi realizada a diminuição do tamanho do material por meio de um britador de mandíbulas de escala laboratorial transformando os resíduos coletados em agregados miúdos. Após esse procedimento, foi feito o peneiramento do material e retirou-se toda a fração superior a peneira de malha #4,8mm.

Com o RCC transformado em agregado miúdo, devidamente peneirado, a amostra foi reduzida conforme o “método A” da NBR NM 27 (ABNT, 2001), por meio de um separador mecânico.

2.1.2 Teor de Material Pulverulento

Determinou-se o teor de material pulverulento do agregado miúdo de RCC, seguindo-se a NBR NM 46 (ABNT, 2003). O resultado do ensaio mostrou que o agregado reciclado utilizado na pesquisa, possui um teor de material pulverulento dentro dos limites estabelecidos por norma, chegando a um valor próximo aos 20% permitidos pela mesma, porém não ultrapassando esse limite.

Em relação ao agregado miúdo natural e agregado graúdo, realizou-se o processo de lavagem do material, antes da análise granulométrica e da produção dos concretos, visando retirar qualquer tipo de material indesejado dos agregados.

2.1.3 Granulometria

A composição granulométrica dos agregados utilizados para a produção dos concretos da pesquisa foi feita conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com as peneiras da série normal. A Tabela 1 apresenta os resultados do diâmetro máximo característico de cada agregado, seus respectivos módulos de finura, bem como suas classificações.

Tabela 1 - Classificação dos agregados

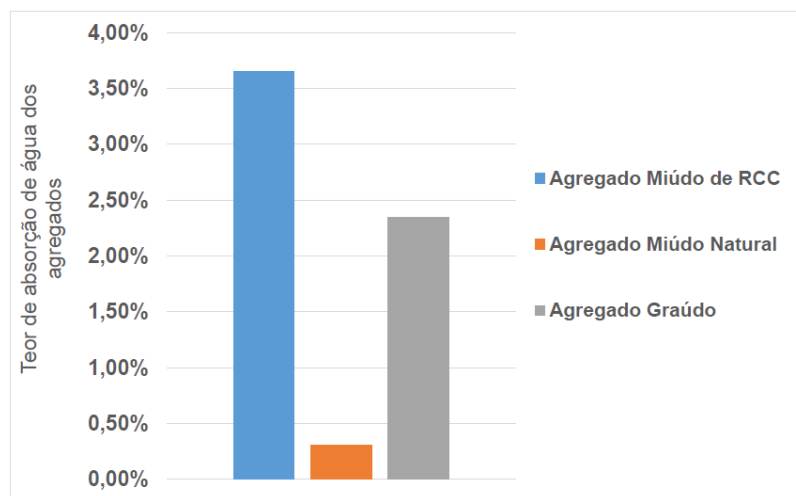
	D _{máx}	Módulo de Finura	Classificação
Agregado Miúdo de RCC	4,8mm	2,6	Areia Média
Agregado Miúdo Natural	1,2mm	1,56	Areia Fina
Agregado Graúdo	19mm	6,99	Brita 1

Fonte: autores

2.1.4 Teor de Absorção de Água

Utilizou-se a NBR NM 30 (ABNT, 2001) para a análise do teor de absorção dos agregados miúdos e a NBR NM 53 (ABNT, 2003) para a determinação do teor de absorção do agregado graúdo. Os resultados do teor de absorção dos agregados são mostrados na Figura 1.

Figura 1 - Teor de absorção dos agregados



Fonte: autores

2.1.5 Massa específica dos materiais

A massa específica dos agregados miúdos foi determinada através da NBR 9776 (ABNT, 1987), por meio do frasco Chapman. Já as massas específicas do agregado graúdo seco, na condição saturado, superfície seca e aparente, foram obtidas pela NBR NM 53 (ABNT, 2003). Os resultados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Massa específica dos agregados

	Y (g/cm ³)	Ys (g/cm ³)	Ya (g/cm ³)
Agregado Miúdo de RCC	2,39	-	-
Agregado Miúdo Natural	2,63	-	-
Agregado Graúdo	2,49	2,55	2,55

Onde: Y = Massa específica do agregado seco (g/cm³);

Ys = Massa específica do agregado graúdo saturado sup. Seca (g/cm³);

Ya = Massa específica aparente do agregado graúdo (g/cm³).

Fonte: autores

Foi feita a determinação da massa específica do cimento CP V-ARI 40 da empresa Votorantim, conforme parâmetros estabelecidos na NBR NM 23 (ABNT, 2001). O resultado obtido da massa específica do cimento utilizado na presente pesquisa foi de 3,09 g/cm³.

2.1.6 Massa unitária e volume de vazios

Os ensaios de massa unitária e do volume de vazios dos agregados da presente pesquisa, foram realizados de acordo com o “método C” descrito na NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os resultados estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Massa unitária e volume de vazios dos agregados

	Massa Unitária (g/cm ³)	Volume de Vazios (%)
Agregado Miúdo de RCC	1,28	46,44
Agregado Miúdo Natural	1,55	41,06
Agregado Graúdo	1,42	42,97

Fonte: autores

2.2 CONCRETO

O método de dosagem utilizado para a produção dos concretos desta pesquisa foi o método IBRACON, também conhecido como IPT-EPUSP (HELENE, 2005).

2.2.1 Ensaio de abatimento do tronco de cone

Para o ensaio foi fixado o abatimento do tronco de cone em 70 mm $\pm$ 10 em função do tipo de elemento estrutural. Após, seguiu-se as recomendações da NBR NM 67 (ABNT, 1998) para se obter o traço ideal para esse abatimento. Foi escolhido um traço intermediário em 1:5,0 (cimento: agregados secos, em massa e o teor ideal de argamassa encontrado no traço intermediário foi $\alpha=51\%$; esse teor foi fixado para todos os traços, tanto do concreto utilizado como referência, como do concreto com presença de agregados de RCC.

2.2.2 Traços definitivos

As tabelas 4 e 5, mostram os traços obtidos, do concreto de referência (CRef) e do concreto com presença de RCC (CRcc).

Tabela 4 - Traços calculados a partir do estudo de dosagem – CRef

Traço em massa Cref [1 : a : b]	Teor de Argamassa ($\alpha=51\%$)		
	Rico [1:3,5]	Intermediário [1:5,0]	Pobre [1:6,5]
	1 : 1,30 : 2,20	1 : 2,06 : 2,94	1 : 2,83 : 3,67
Relação a/c	0,44	0,49	0,58
Relação água/materiais secos	9,70%	8,16%	7,73%

Fonte: autores

Tabela 5 - Traços calculados a partir do estudo de dosagem – CRcc

Traço em massa Cref [1 : a : rcc : b]	Teor de Argamassa ($\alpha=51\%$)		
	Rico [1:3,5]	Intermediário [1:5,0]	Pobre [1:6,5]
	1 : 0,65 : 0,65 : 2,20	1 : 1,03 : 1,03 : 2,94	1 : 1,42 : 1,42 : 3,67
Relação a/c	0,6	0,65	0,77
Relação água/materiais secos	13,33%	10,83%	10,27%

Fonte: autores

2.2.3 Preparo, moldagem e cura dos corpos de prova

Para o preparo, moldagem e cura dos corpos de prova de concreto seguiu-se os procedimentos da NBR 5738 (ABNT, 2009). Neste estudo, produziu-se 6 traços, sendo 3 deles correspondentes ao concreto de referência, em que não há presença de RCC, e os outros 3 traços correspondentes ao concreto com presença de agregado miúdo de RCC. Para cada traço, foram moldados 11 corpos de prova, cilíndricos de 10cm de diâmetro e 20cm de altura, sendo adotado o processo de adensamento mecânico, através de vibração externa.

2.2.4 Equações de Dosagem

A Tabela 6 mostra a resistência à compressão dos concretos produzidos em função da relação a/c (Lei de Abrams), já a Tabela 7 mostra o consumo de cimento para cada traço desta pesquisa, pois estes dados são necessários para que seja possível obter as equações da Lei de Molinari. Por fim, na Tabela 8, estão presentes as equações que representam o teor de agregados secos em função da relação a/c (Lei de Lyse) e o consumo de cimento em relação ao teor de agregados secos (Lei de Molinari).

Tabela 6 – Resistência à compressão em função da relação a/c

Concreto	Equações para Lei de Abrams	
	7 dias	28 dias
CRef	$Fc7 = \frac{223,85}{43,78^{a/c}}$	$Fc28 = \frac{196,20}{27,58^{a/c}}$
CRCC	$Fc7 = \frac{93,88}{7,73^{a/c}}$	$Fc28 = \frac{42,93}{1,28^{a/c}}$

Fonte: autores

Tabela 7 – Consumo de cimento para cada traço produzido

Concreto	Traço	C (kg/m³)
CRef	[1: 3,5]	504,05
	[1: 5,0]	371,34
	[1: 6,5]	295,79
CRCC	[1: 3,5]	456,86
	[1: 5,0]	357,89
	[1: 6,5]	295,04

Fonte: autores

Tabela 8 – Teor de agregados secos em função da relação a/c e consumo de cimento em relação ao teor de agregados secos

Concreto	Equação para Lei de Lyse	Equações para Lei de Molinari
C _{REF}	$m = -5,50 + 20,86.a/c$	$C = \frac{1000}{0,36+0,47.m}$
CRCC	$m = -6,25 + 16,70.a/c$	$C = \frac{1000}{0,79+0,4.m}$

Fonte: autores

3 RESULTADOS

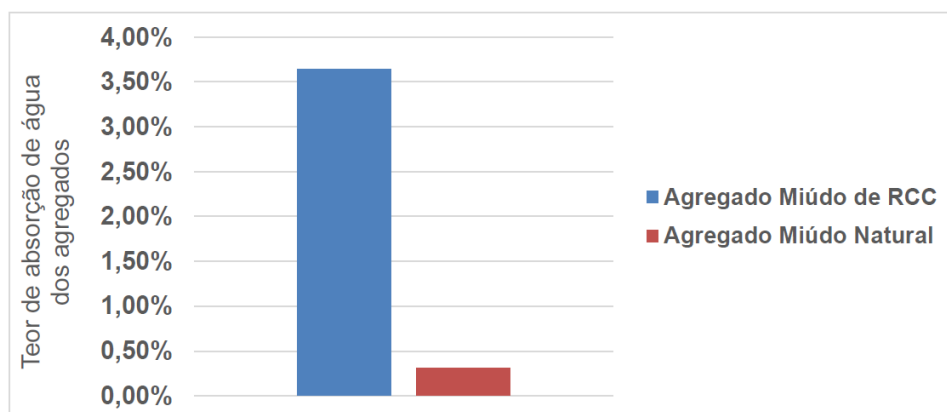
3.1 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Os resultados das propriedades analisadas para o estado fresco estão apresentados na sequência.

3.1.1 Trabalhabilidade

Observou-se no concreto contendo agregados miúdos de RCC, uma perda de trabalhabilidade e coesão, durante o processo de dosagem se comparado ao concreto comum (C_{Ref}), quando utilizada a mesma relação a/c. Logo, foi observado a necessidade de adição de água no concreto com agregado reciclado para a manutenção de uma melhor trabalhabilidade. Através da NBR NM 30 (ABNT, 2001) foi possível obter a absorção de água e com isso foi possível verificar a alta absorção que o agregado miúdo reciclado tem em relação ao natural, conforme Figura 2, explicando o acréscimo de água necessário no concreto. Não foi utilizado nenhum tipo de aditivo.

Figura 2 - Teor de absorção dos agregados



Fonte: autores

3.1.2 Massa Específica

Seguindo as determinações da NBR 9833 (ABNT, 2008) foram determinadas a massa específica do concreto no estado fresco. A massa específica média no estado fresco obtida para o concreto utilizado como referência foi de 2,43 kg/dm³, já no concreto com presença de agregado reciclado foi encontrada uma massa específica média no valor de 2,38 kg/dm³. Logo, foi possível observar a diminuição da massa específica do concreto no estado fresco com a substituição parcial de agregado miúdo natural por agregado miúdo de RCC. Isso pode ser explicado devido ao concreto com presença de RCC possuir uma maior porosidade, acarretando, não só um maior consumo de água em sua produção como também diminui a massa específica. Além disso, a massa específica do concreto é diretamente conectada à massa específica dos agregados utilizados em sua produção.

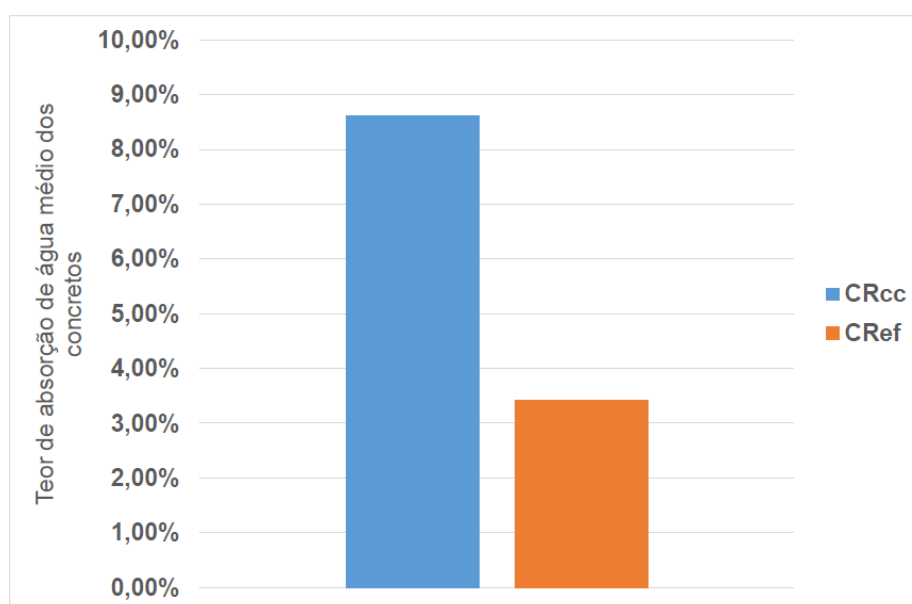
3.2 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Na sequência situam-se os resultados das propriedades analisadas para o estado endurecido.

3.2.1 Absorção de água por imersão

Para a determinação da absorção de água dos concretos produzidos, utilizou-se a norma NBR 9778 (ABNT, 2005). Conforme demonstrado na Figura 3, a absorção média de água do concreto de referência no estado endurecido teve um valor de 3,42%, já o concreto com presença de agregado miúdo de RCC teve absorção média de água no valor 8,61%. Pela análise do resultado, observa-se que com a substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado miúdo de RCC, obteve-se um aumento da relação a/c, ocasionando consequentemente maior número de vazios, ocasionando assim, diminuição da massa específica e aumento da absorção de água.

Figura 3 - Absorção de água dos concretos depois de 28 dias de cura



Fonte: autores

3.2.2 Resistência Mecânica

A resistência à compressão simples dos concretos produzidos foi obtida seguindo os procedimentos da NBR 5738 (ABNT, 2007). Os resultados encontrados para resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias de idade dos concretos produzidos neste ensaio, bem como o desvio padrão e o coeficiente de variação correspondentes são mostrados na Tabela 9, que inclui também a taxa de crescimento de resistência à compressão que os concretos produzidos atingiram aos 28 dias de idade com relação aos 7 dias de idade.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial

Concreto REF	Relação a/c	Fc 7 dias (MPa)	Desvio Padrão 7 dias	Coef. De Var. 7 dias	Fc 28 dias (MPa)	Desvio Padrão 28 dias	Coef. De Var. 28 dias	Taxa de Cresc.	Taxa de Cresc. (Média)
Traço 1:3,5	0,44	45,09	2,24	4,97%	50,59	0,88	1,74%	12,20%	10,77%
traço 1:5,0	0,49	31,98	1,55	4,85%	32,85	2,64	8,04%	2,72%	
traço 1:6,5	0,58	25,86	1,59	6,15%	30,36	0,53	1,75%	17,40%	
Concreto RCC	Relação a/c	Fc 7 dias (MPa)	Desvio Padrão 7 dias	Coef. De Var. 7 dias	Fc 28 dias (MPa)	Desvio Padrão 28 dias	Coef. De Var. 28 dias	Taxa de Cresc.	Taxa de Cresc. (Média)
Traço 1:3,5	0,6	31,19	0,48	1,54%	37,35	0,71	1,90%	19,75%	55,81%
traço 1:5,0	0,65	20,81	0,29	1,39%	36,14	1,89	5,23%	73,67%	
traço 1:6,5	0,77	20,48	0,05	0,24%	35,64	0,72	2,02%	74,02%	

Fonte: autores

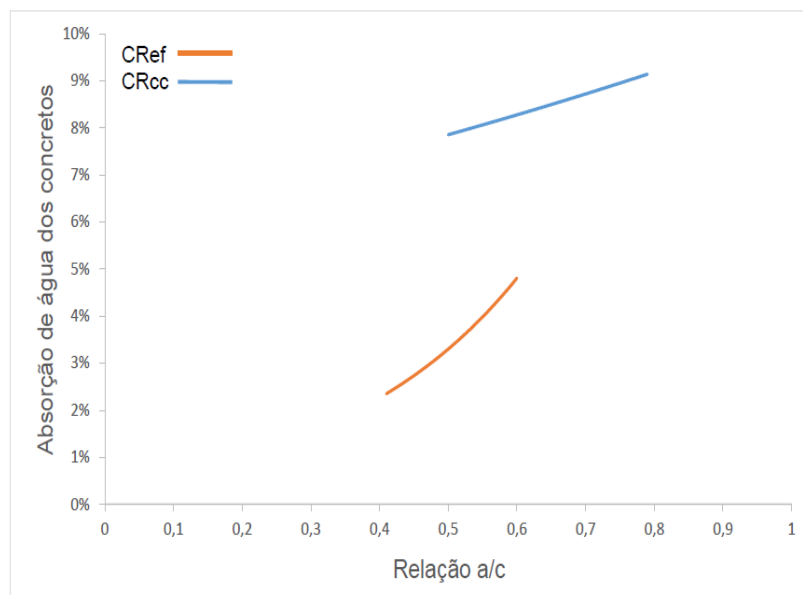
Observou-se que aos 7 dias de idade o concreto com presença de agregados de RCC obteve uma resistência à compressão menor que o concreto utilizado como referência, em todos os traços. Entretanto, aos 28 dias de idade do concreto foi visto um aumento mais significativo da resistência à compressão, do concreto com RCC em sua composição. Este dado foi visualizado através da taxa de crescimento média da resistência à compressão, onde se observou que o CRcc teve taxa de crescimento média de aproximadamente 5 vezes mais que o CRef. Isso pode ser explicado por uma possível reação pozolânica que os finos do agregado miúdo de origem cerâmica podem ter ocasionado ao serem utilizados para a produção desse concreto.

Existe ainda a possibilidade de que a alta taxa de absorção de água dos agregados provenientes de RCC, possam ter originado um concreto com menor relação a/c final e com isso, maior resistência à compressão. Isso pode ser notado principalmente nos concretos com maior presença de agregados em sua composição, que são aqueles concretos com maior teor de materiais secos, tais como o CRcc (Traço 1:5,0) e CRcc (Traço 1:6,5), especialmente aos 28 dias de idade desses concretos.

3.2.3 Curvas de absorção

A Figura 5 sugere uma curva relacionando a absorção de água dos concretos com a relação a/c.

Figura 5 - Curva absorção de água do concreto com 28 dias de cura x relação a/c

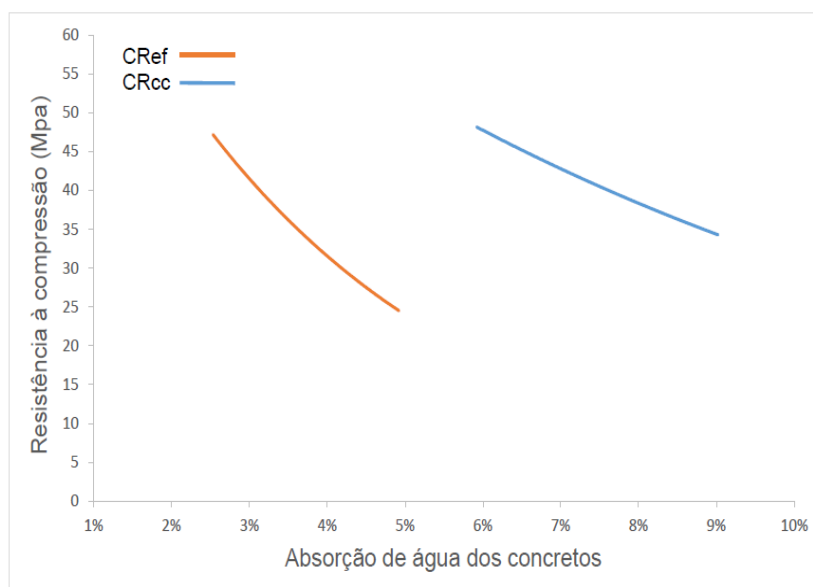


Fonte: autores

Verifica-se que devido à maior porosidade, que presumivelmente está presente no concreto com resíduos da construção civil, permite uma taxa maior de absorção de água devido aos vasos capilares internos da estrutura, ocasionando uma maior permeabilidade. Sendo assim o estudo da absorção de água do concreto, pode ser utilizado como uma medida indireta da própria durabilidade, tendo em vista que a permeabilidade do concreto está conectada à sua durabilidade. Logo, nota-se que o CRcc tende a ser mais suscetível aos ataques de agentes agressivos por ter uma maior taxa de absorção.

Já a Figura 6, propõe outra curva em que a absorção de água dos concretos é relacionada com a resistência à compressão, aos 28 dias de idade, dos mesmos.

Figura 6 – Curva de absorção de água do concreto com 28 dias de cura x resistência à compressão axial



Fonte: autores

Observa-se que o concreto com presença de RCC em sua composição tende a alcançar valores semelhantes de resistência mecânica aos 28 dias de idade com relação ao concreto comum (CRef), apesar da maior taxa de absorção de água que o mesmo possui. Isso ocorre, provavelmente, pelas propriedades pozolânicas que a cerâmica possui, o que aumenta a resistência à compressão do concreto em idades avançadas.

3 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste estudo é possível fazer algumas considerações:

Há um aumento da relação a/c quando se substitui parcialmente agregado miúdo natural por agregado miúdo de origem cerâmica; pois quando é utilizada a mesma relação a/c, há perda de trabalhabilidade e coesão do CRcc em comparação ao CRef, fazendo com que o primeiro necessite de maior quantidade de água em sua produção.

A absorção média de água do concreto utilizado como referência foi de 3,42 enquanto a absorção do concreto com agregado reciclado foi de 8,61%. Esse fato pode ser explicado em decorrência de maior porosidade do CRcc em razão da maior porosidade dos agregados utilizados em sua produção.

Já com relação a resistência à compressão aos 7 dias de idade do concreto, o CRef mostrou maior valor do que o CRcc, fato que não se repetiu aos 28 dias, levando em consideração que houve um aumento significativo da resistência mecânica do concreto com RCC em sua composição, o que pode ser explicado por um possível efeito pozolânico que os finos do agregado miúdo de origem cerâmica utilizados na produção desse concreto possam ter causado.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2009.

_____.**NBR 9776**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____.**NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____.**NBR 9833**: Concreto fresco – Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008.

_____.**NBR NM 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaio de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

_____.**NBR NM 30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

_____.**NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____.**NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____.**NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

_____.**NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____.**NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

AWOYERA, P.O., AKINMUSURU, J.O., NDAMBUKI, J.M., 2016. Green concrete production with ceramic wastes and laterite. **Constr. Build. Mater.** 117, 29–36.

CAMPOS, R. S.; BARBOSA, M.P.; et al. Influência dos agregados reciclados nas propriedades reológicas e mecânicas do concreto autoadensável. **Revista Matéria**, v.23, n.1, 2018

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. **Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção civil**. Brasília 2002. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 nov, 2002. Atualizada pela Resolução nº 469 em 2015.

DOMENICO, P.DI; LIMA, T.T.; et al. Influência do agregado miúdo reciclado na resistência à compressão e porosidade do concreto. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 08, n. 01, p. 129 - 147, jan-jun 2018.

FRIGO J. P., SILVEIRA D. S. **Educação ambiental e construção civil: práticas de gestão de resíduos em Foz do Iguaçu-PR**. Monografias Ambientais. 2012; 9(9): 1938-1952

HELENE, Paulo. **Dosagem dos concretos de cimento Portland. Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON (2005), v.2, p. 439-471.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2017 Disponível em <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Contas_Nacionais_Trimestrais/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2017/pib-vol-val_201704caderno.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2019.

KANG, T. H. K.; KIM, W.; KWAK, Y. K.; HONG, S. G. Flexural Testing of Reinforced Concrete Beams with Recycled Concrete Aggregates. **ACI Structural Journal**, Vol. 111, No. 3, p. 607-616, 2014.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LEITE, M. B.; DAL MOLIN, Denise. **Avaliação da atividade pozzolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado de resíduo de construção e demolição**. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu, Paraná, 2002.

LEUNG, H.Y., KIM, J., NADEEM, A., JAGANATHAN, J., ANWAR, M.P., 2016. Sorptivity of self-compacting concrete containing fly ash and silica fume. **Constr. Build. Mater.** 113, 369–375.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 240f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1999.

LOVATO, P. S. **Verificação dos Parâmetros de Controle de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição para Utilização em Concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

MOURA, C. A. M. DE; SILVA, R.B.DA; et al. Caracterização de resíduos telha cerâmica vermelha de fontes distintas visando proposta coprocessamento como matéria-prima para clínquer Portland. **SCIENTIA CUM INDUSTRIA**, V. 6, N. 3, PP. 31 — 37, 2018.

Muñoz-Ruiperez, C., Rodríguez, A., Gutiérrez-González, S., Calderón, V., 2016. Lightweight masonry mortars made with expanded clay and recycled aggregates. **Constr. Build. Mater.** 118, 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.065>

NOOR-UL-AMIN, 2012. Use of clay as a cement replacement in mortar and its chemical activation to reduce the cost and emission of greenhouse gases. **Constr. Build. Mater.** 34, 381–384.

OLIVEIRA, D. D.; SOARES, F. D. N.; BATISTA, G. S.; MAGNI, J. R.; KRUG, L. F. **Produção de concreto com uso de agregados reciclados oriundos de resíduos da construção civil.** In: Seminário de Iniciação Científica, 24., 2016, Panambi. Anais... Panambi. 2016.

SILVA, O. H. DA; UMADA, M. K.. POLASTRI, P. Etapas do Gerenciamento de resíduos da Construção Civil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental.** Ed. Especial GIAU-UEM, Maringá-PR. Santa Maria, v. 19, 2015, p.39 -48. UFSM.

Thomas, B.S., Kumar, S., Mehra, P., Gupta, R.C., Joseph, M., Csetenyi, L.J., 2016. Abrasion resistance of sustainable green concrete containing waste tire rubber particles, **Construction and Building Materials.** <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.110>

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação das propriedades do concreto com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição visando aplicações estruturais.** 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2007.

VIEIRA, A. A. P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos.** 2005. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba, 2005.

Ul Islam, M.M., Mo, K.H., Alengaram, U.J., Jumaat, M.Z., 2016. Durability properties of sustainable concrete containing high volume palm oil waste materials. **J. Clean. Prod.** 137, 167–177.