

**Análise experimental da aplicabilidade do RCD de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo natural em concreto massa**

*Experimental analysis of applicability of red ceramics CDW in substitution to the natural fine aggregate in concrete paste*

*Análisis experimental de la aplicabilidad del RCD de cerámica roja en sustitución del agregado fino natural en la pasta de concreto*

**Rodrigo Andraus Bispo**

Mestrando, UNESP, Brasil  
rodrigoandrausbispo@gmail.com

**Vinícius Keithy Higa Saito**

Engenheiro Civil, UniSALESIANO, Brasil  
viniciuskeithyhigasaito@gmail.com

**André Luís Gamino**

Professor Doutor, UniSALESIANO, Brasil  
andre.gamino@gmail.com

## RESUMO

A necessidade por materiais de construção civil devido ao alto ritmo construtivo implica em uma elevação da demanda da exploração mineral a fim de suprir tais condições. Junto a isto estão as formas irregulares de descarte do Resíduo de Construção e Demolição (RCD) em locais inapropriados, causando danos irreversíveis ao meio. Faz-se necessária a implementação de métodos alternativos para reduzir o descarte e a exploração mineral de bens finitos. O emprego de RCD em concretos massa apresenta-se como solução, no entanto, depende do estudo de formas de implementação, visando um maior índice de aproveitamento dos materiais descartados e uma alta performance do produto de origem reciclada. Este projeto teve por finalidade a reciclagem de RCD de cerâmica vermelha, realizando-se sua caracterização e substituição gradual em forma de agregado miúdo em traços de concreto. Foram realizadas as etapas de coleta, seleção prévia e limpeza dos resíduos coletados em obras na cidade de Araçatuba-SP e posteriormente ensaios de granulometria, massa específica ( $2,26 \text{ g/cm}^3$ ), absorção de água (7,29%) e teor de umidade (2,67%) que apontaram para índices próximos aos dos agregados naturais, viabilizando a substituição gradual em traços de concreto com diferentes classes de resistência. Os resultados apontaram para um ganho de resistência sucessiva conforme o aumento no percentual de inclusão. Notou-se que o ganho absoluto de resistência se deu nos dois traços, no entanto o efeito do ganho relativo é de maior representatividade nos traços de 5 MPa atingindo índices de 11,57 MPa quando substituído 15% de agregado natural pelo reciclado proposto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo de construção e demolição. Cerâmica vermelha. Agregado miúdo reciclado.

## ABSTRACT

*The need for construction materials due to the high constructive rate implies in a rise on demands for mineral exploration in order to meet such conditions. Along it are irregular forms for Construction and Demolition Waste (CDW) disposal in inappropriate locals, causing irreversible damage to the environment. It is necessary to implement alternative ways to reduce the disposal and mineral exploitation of finite goods. The use of CDW on concrete paste is presented as a solution, however, it depends on the study on the ways of implementing, aiming a higher utilization rate of discarded materials and a higher performance from products of recycled origin. This paper aims to recycle red ceramic CDW, performing its characterization and gradual replacement as fine aggregate in concrete mixtures. The stages of collection, previous selection and cleaning of the collected waste from constructions in the city of Araçatuba-SP were carried out, followed by tests for granulometry, specific gravity ( $2,26 \text{ g/cm}^3$ ), water absorption (7,29%) and moisture content (2,67%), which indicated levels close to the natural aggregates, enabling the gradual substitution in concrete mixtures with different resistance classes. The results indicated a successive resistance gain according to the increase in the percentage of inclusion. It was noted that the absolute gain occurred in the two mixtures, however the effect of the relative gain is of greater representativeness in the 5 MPa mixtures reaching levels of 11,57 MPa when substituted 15% of natural aggregate was replaced by the proposed recycled one.*

**Key-words:** construction and demolition waste of red ceramic; fine recycled aggregate; specific gravity; saturated surface-dry aggregate; concrete paste.

## RESUMEN

*La necesidad de materiales de construcción civil debido al alto ritmo constructivo implica una elevación de la demanda de la explotación mineral a fin de suplir tales condiciones. Junto a esto están las formas irregulares de descarte del Residuo de Construcción y Demolición (RCD) en lugares inapropiados, causando daños irreversibles al medio. Se hace necesaria la implementación de métodos alternativos para reducir el descarte y la explotación minera de bienes finitos. El empleo de RCD en pastas de concreto se presenta como solución, sin embargo, depende del estudio de formas de implementación, buscando un mayor índice de aprovechamiento de los materiales descartados y un alto desempeño del producto de origen reciclado. Este trabajo tuvo por finalidad el reciclaje de RCD de cerámica roja, realizándose su caracterización y sustitución gradual en forma de agregado fino en trazos de concreto. Se realizaron las etapas de recolección, selección previa y limpieza de los residuos recogidos en obras en la ciudad de Araçatuba-SP y posteriormente ensayos de granulometría, masa específica ( $2,26 \text{ g/cm}^3$ ), absorción de agua (7,29%) y contenido de humedad (2,67%) que apunta a índices cercanos a los de los agregados naturales, permitiendo la sustitución gradual en trazos de concreto con diferentes clases de resistencia. Los resultados apuntaron a una ganancia de resistencia sucesiva conforme el aumento en el porcentaje de inclusión. Se observó que la ganancia absoluta de resistencia se dio en las dos muestras, sin embargo el efecto de la ganancia relativa es de mayor representatividad en los trazos de 5 MPa alcanzando índices de 11,57 MPa cuando sustituido el 15% de agregado natural por el reciclado propuesto.*

**PALABRAS CLAVE:** Residuo de construcción y demolición. Cerámica roja. Agregado fino reciclado

## 1 INTRODUÇÃO

Ao decorrer da história, a população mundial veio a sofrer um grande aumento seguido de um maior consumo de bens materiais por conta da demanda, e por tal razão, a exploração de recursos fornecidos pelo meio ambiente tornou-se excessiva, assim como a quantidade de resíduos e de entulhos que degradam o meio ambiente (DIAS apud LIRA *et al.*, 2013). Notadas as consequências danosas provocadas por uma extração abusiva dos recursos naturais e de descartes inadequados, houve a necessidade de se criar métodos de reaproveitamento dos bens já descartados, de modo a reduzir o impacto do ser humano sobre o meio ambiente.

No setor da construção civil, materiais provenientes de extração mineral são utilizados em larga escala, considerando que boa parte das atividades praticadas pelo setor faz-se necessário o uso destes. Dentre os materiais encontrados com maior frequência em um canteiro de obras, estão os agregados, classificação dada a materiais minerais na forma de partículas, cuja ação química é considerada praticamente inexistente, e que pode ser encontrada em diversas proporções (BAUER, 2015a).

Além dos agregados, outros materiais de construção largamente utilizados são as cerâmicas, ou seja, aqueles que possuem argila em sua composição. Os materiais cerâmicos podem ser classificados conforme o seu uso, como também a partir da matéria-prima a ser usada em sua fabricação (cerâmica vermelha, cerâmica branca, entre outros) (BAUER, 2015b; ABCERAM, 2018).

O crescimento da indústria da construção civil no perfil econômico de uma nação é a indicação de desenvolvimento, porém também indica a degradação do meio ambiente (RODRIGUES *et al.*, 2014).

A quantidade de RCD produzido é correspondente a 50% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados (ANGULO, 2005). Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE), em 2016, a quantidade de RCD coletado em todo Brasil era de aproximadamente 120 mil toneladas por dia, evidenciando assim, um grande aumento quando comparado ao ano de 2007, no qual a coleta era de aproximadamente 72 mil toneladas por dia. Os dados apresentados pela ABRELPE não incluem os RCD descartados irregularmente, dessa forma, a quantidade gerada torna-se ainda maior.

Dentre os RCD produzidos, grande parte é correspondente aos materiais cerâmicos. Segundo Battistele *et al.* (2006), na cidade de Bauru-SP os materiais cerâmicos são o segundo produto mais descartado, correspondente a 31% do total de RCD gerados na cidade. Em São Carlos-SP, estes também se constataram como segundo produto com maior número de descartes, correspondente a 19% do valor total (NETO *et al.*, 2010).

A reciclagem de RCD tem se mostrado viável e de grande importância, isso pelo fato de ainda existir dificuldade no descarte adequado (RODRIGUES *et al.*, 2014). A possibilidade de obtenção de novas alternativas de agregados para a manufatura de concreto também tem elevado o interesse pela reciclagem de RCD, isso por conta de que, segundo Cabral (2007), certas regiões têm apresentado escassez de materiais mineralógicos.

A obtenção de agregados miúdos reciclados (AMR) tem apresentado maior relevância do que a obtenção dos agregados graúdos reciclados (AGR), isso se deve ao fato de que a substituição do agregado miúdo aparentou variações favoráveis nas propriedades mecânicas do concreto, diferentemente da substituição pelo agregado graúdo, segundo pesquisas realizadas por Leite (2001).

Agregados reciclados formados por resíduos de cerâmicas apresentam um consumo superior de água à mistura em comparação aos agregados naturais, porém devidos a sua possível atividade pozolânica na mistura, mencionada por Leite (2001), o concreto produzido com a substituição de agregados miúdos naturais pelos reciclados, apresenta melhora em suas propriedades mecânicas, principalmente em concretos com maior idade (SCHULZ apud CABRAL, 2007).

## 2 OBJETIVOS

Contribuir com a redução dos impactos ambientais causados pela exploração mineral de agregados naturais. Apresentar meios de reciclagem e utilização que diminuam o descarte inadequado de RCD. Propor métodos de substituição parcial do agregado miúdo natural pelo reciclado de cerâmica vermelha na confecção de traços de concreto e estudar seus efeitos.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho contou com ensaios físicos que foram realizados atendendo às respectivas exigências normativas da ABNT e cumprindo as normas de utilização do Laboratório Multidisciplinar de Engenharia e Arquitetura do Centro Universitário Católica UniSALESIANO de Araçatuba – SP.

O resíduo utilizado foi proveniente de suscetíveis coletas que buscaram captar a maior quantidade de RCD de diferentes origens, visando alcançar uma maior variabilidade do material, uma vez que o tipo de obra influi no tipo de resíduo gerado. Com toda a amostragem coletada, deu-se início ao processo de seleção para a identificação dos resíduos de construção e demolição com base cerâmica vermelha, tais como telhas e blocos cerâmicos.

Após coleta e seleção, o material passou por limpeza para eliminação de elementos alheios ao estudado. Esta limpeza se deu por imersão em água e posterior exposição solar.

Com isto, se iniciou o processo de britagem, com auxílio de um reciclador de entulho, Modelo: Queixada 200, N. 282, FAB: 02/2014 da marca VEGEDRY. Tal britagem foi realizada com todo o material recolhido, a fim de aproximar o diâmetro das partículas britadas ao intervalo granulométrico de areia média especificado na NM 248 (2009).

Em seguida foi realizado o ensaio granulométrico do material britado (Figura 1) seguindo a NM ISO 2395 (1997). Foram utilizadas dez peneiras com seus valores de abertura de malhas em milímetros (Tabela 1). A vibração do conjunto de peneiras se deu com auxílio da mesa vibratória da marca ENGETEST 220V e o tempo do ensaio foi de 60 (sessenta) segundos para cada amostra de 1 (um) quilograma.

Figura 1 - Resíduo de construção e demolição de cerâmica vermelha britado



Fonte: Acervo do autor

Tabela 1 - Conjunto de peneiras utilizadas no ensaio granulométrico das amostras de RCD de cerâmica vermelha britado

Peneiras	ABNT/ASTM	Abertura (mm)	Tara(g)
1	8	2,36	358,2
2	16	1,18	396,4
3	20	0,85	407,6
4	30	0,6	341,5
5	40	0,425	368,6
6	50	0,3	337,6
7	70	0,212	349
8	100	0,15	346,7
9	140	0,106	312,3
10	200	0,075	340,2
Fundo	-	-	319,5

Fonte: Acervo do autor

Todo o resíduo coletado passou pelos processos de britagem e peneiramento acima especificados a fim de traçar a curva granulométrica da amostra estudada. O peneiramento contou, a partir de então, com apenas duas peneiras. A primeira delas, a de número 16 (ABNT/ASTM), logo abaixo a 50 (ABNT/ASTM) e por fim o fundo do jogo de peneiras. Com este processo foram obtidos três grupos de resíduos conforme o Quadro 1.



**Quadro 1 - Característica e critérios de aproveitamento dos grupos de resíduos encontrados após peneiramento**

Grupo de Resíduos	Características dos Grupos	Critérios de Aproveitamento	Diâmetro dos Grãos (mm)
1	Retidos na peneira 16	Segunda Britagem	$d > 1,2$
2	Retidos na peneira 50	Aproveitamento Imediato	$1,2 > d > 0,3$
3	Depositados no fundo	Descarte	$d < 0,3$

Fonte: Acervo do autor

Fez-se necessária uma segunda britagem para maior aproveitamento dos resíduos de granulometria elevada. Este procedimento foi repetido até que o material retido na peneira 16 (ABNT/ASTM) fosse de massa desprezível ao experimento.

Com todo o material britado e peneirado obteve-se o agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha no intervalo granulométrico de areia média. Este agregado reciclado foi, a partir de então, ensaiado quanto à massa específica do agregado na condição saturado superfície seca da maneira prescrita pela NM 52 (2009).

Para tanto, foi necessário levar em consideração a condição de estado de Agregado Saturado Superfície Seca (SSS). Tal condição se caracteriza por apresentar partículas do agregado sem possibilidade de absorver mais água, mantendo, no entanto, a superfície seca.

Fez-se necessária uma amostra de 1 (um) quilograma de agregado miúdo de RCD, obtida através de quarteamento, guardando as prescrições da NM 27 (2001) (Figura 2).

**Figura 2 - Quarteamento do agregado miúdo de RCD**

Fonte: Acervo do autor

Após o levantamento amostral, o ensaio de tronco de cone foi realizado a fim de apresentar a condição SSS do agregado reciclado. A adição do agregado umedecido no interior do tronco cônico antecedeu sua compactação com 25 golpes da haste de compactação, com  $(340 \pm 25)$  g de massa e superfície de  $(25 \pm 3)$  mm de diâmetro. Após este processo, o tronco foi retirado verticalmente para cima e o comportamento do agregado analisado.

O agregado, mantendo a forma do molde (Figura 3A), deve passar pelo processo de ventilação, diminuindo a umidade superficial, para realização de novos ensaios consecutivos, até que o cone de agregado desmorone com a retirada do molde (Figura 3B).

Figura 3 - A) Agregado de RCD ainda com umidade inadequada para condição Saturado Superfície Seca; B) Agregado de RCD após secagem superficial e com umidade adequada



Fonte: Acervo do autor

Neste instante, obteve-se o agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha na condição Saturada Superfície Seca.

A este material foram aplicados os procedimentos de dosagem e formulação contidos na NM 52 (2009) para caracterização da massa específica do agregado Saturado Superfície Seca de origem reciclável, possibilitando a comparação com o valor correspondente do agregado natural.

Este material serviu também como parâmetro para o ensaio de determinação de absorção de água de uma amostra de agregado miúdo através do método estabelecido pela NM 30 (2001) e aplicação da expressão fornecida pela norma que guarda o percentual de absorção de água do agregado reciclado na condição SSS em relação à sua condição seca, obtida através do processo de secagem em estufa a 105°C por 24 horas. Os ensaios revelaram seu percentual de absorção de água, índice que também foi comparado com o de seu correspondente natural.

Ao agregado reciclado proposto neste trabalho, foi ainda realizado o ensaio de determinação de umidade superficial por meio do frasco de Chapman, seguindo as orientações da NBR 9775 (2011).

Assim, obteve-se um novo parâmetro caracterizador do material estudado, com o intuito da substituição da areia por este; o novo parâmetro serviu também como índice comparativo entre os agregados.

Após estes ensaios e levantamentos, deu-se por encerrada a produção e caracterização do agregado reciclado de cerâmica vermelha em condição de substituir a areia em traços de concreto. A partir de então traços referência de concreto foram calculados pelo método INT (TARTUCE, 1989) e traços contendo a substituição parcial de agregados naturais propostos (Tabela 2).

Tabela 2 - Frações de substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado de cerâmica vermelha

Traço referência (MPa)	5			30		
Substituições de agregados (%)	5	10	15	5	10	15

Fonte: Acervo do autor

No entanto, para tal substituição, foi necessário que se fizesse uma compensação na dosagem dos agregados de origem reciclada, uma vez que existe divergência entre sua massa específica SSS do agregado miúdo natural e a do reciclado.

Para tanto se utilizou da formulação adotada por Cabral *et al.* (2008) (equação 1):

$$M_{AR} = M_{AN} \times \frac{\gamma_{AR}}{\gamma_{AN}} \quad (1)$$

Onde:

$M_{AR}$  : massa do agregado reciclado (kg);

$M_{AN}$  : massa do agregado natural (kg);

$\gamma_{AR}$  : massa específica SSS do agregado reciclado (kg/cm<sup>3</sup>);

$\gamma_{AN}$  : massa específica SSS do agregado natural (kg/cm<sup>3</sup>);

Este cálculo foi realizado para cada valor percentual proposto de  $MAN$  na Tabela 3, com a finalidade de convertê-lo em  $MAR$ . Com esta ponderação, um novo valor para massa de agregado miúdo passa a ser utilizado em cada amostra, respeitando a porcentagem que será substituída.

Foram moldados 12 corpos de prova (CP's) cilíndricos para cada traço conforme a NBR 5738 (2016), com dimensões de 20 cm por 10 cm.

A homogeneização dos componentes seguiu os procedimentos de mistura da NBR 12821 (2009).

Os elementos foram ensaiados quanto à compressão axial da maneira prescrita pela NBR 5739 (2018) após 28 dias de cura em um tambor submersos com água a temperatura ambiente. Para os ensaios se dispôs de uma prensa hidráulica para ensaios de caracterização à compressão axial de corpos de prova de concreto da marca EMIC, modelo: PCE100C, responsável pelo levantamento de resultados de resistência à compressão que auxiliaram no estudo do implemento de agregados recicláveis à traços convencionais de concreto.

Com a obtenção dos resultados, foi aplicada uma das equações fornecidas pela NBR 5739 (2018), para a conversão dos valores obtidos através do ensaio axial com prensa hidráulica.

Conforme a NBR 12655 (2015), o concreto preparado para o experimento seguiu a condição A, ou seja, o cimento, os agregados e a água foram medidos em massa. Por meio das equações, também fornecidas pela norma, calculou-se os desvios-padrões para os resultados das amostras ensaiadas, e seus valores foram verificadas quanto ao desvio-padrão tolerado para o concreto preparado conforme a condição A.

Através das equações e tabelas proporcionadas pela norma NBR 5739 (2018) foi possível avaliar a confiabilidade do ensaio realizado com base nos valores obtidos por meio da prensa hidráulica. Dessa forma, possibilitou-se a classificação da qualidade do ensaio em: excelente, muito bom, bom, razoável ou deficiente.

Os corpos de prova ensaiados passaram ainda por uma última análise, esta visual, quanto à forma de ruptura, uma vez que o ensaio de compressão axial tem caráter destrutivo e o



elemento se rompe de acordo com as apresentações do Anexo A (informativo) da NBR 5739 (2018).

#### 4 RESULTADOS

A partir dos procedimentos experimentais propostos para a uniformização granulométrica do RCD pôde-se, através dos resultados do ensaio granulométrico, apresentar a característica física do diâmetro dos grãos expressos na Tabela 3.

Este diâmetro diz respeito à menor dimensão da partícula ensaiada, uma vez que com a agitação mecânica da mesa vibratória o particulado movimentava-se no intervalo de tempo estipulado pelo ensaio até que uma de suas dimensões se adequasse à abertura da peneira em que está depositado. Os agregados reciclados de cerâmica vermelha, no entanto, não apresentaram formato lamelar devido a sua origem argilosa.

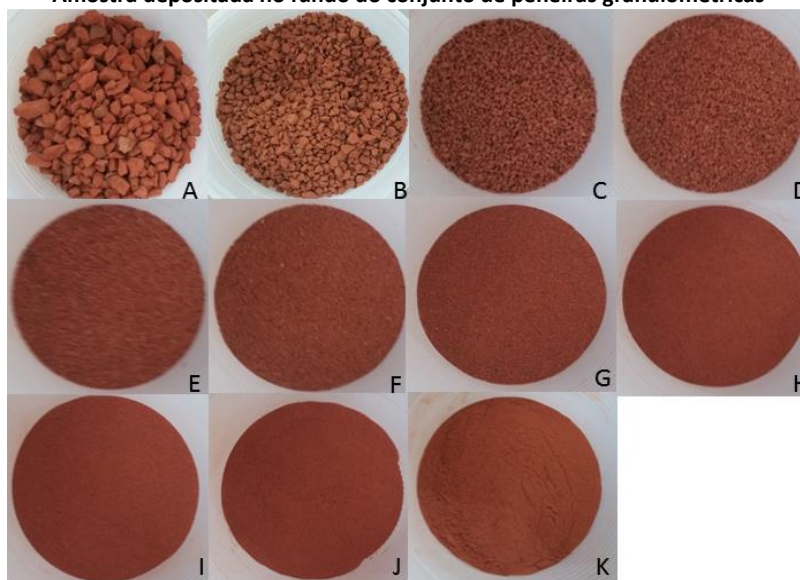
Tabela 3 - Caracterização do percentual de RCD de cerâmica vermelha britado e seco retido nas peneiras de granulometria

Peneiras	ABNT/ASTM	Abertura (mm)	Tara (g)	Massa retida (g)	(%) retida	(%) acumulada	(%) passante
1	8	2,36	358,2	51	5,1	5,1	94,9
2	16	1,18	396,4	228,8	22,9	28	72
3	20	0,85	407,6	117,7	11,8	39,8	60,2
4	30	0,6	341,5	92,7	9,3	49,1	50,9
5	40	0,425	368,6	123,1	12,3	61,3	38,6
6	50	0,3	337,6	202,2	20,2	81,6	18,4
7	70	0,212	349	116,2	11,6	93,2	6,8
8	100	0,15	346,7	46	4,6	97,8	2,2
9	140	0,106	312,3	15,1	1,5	99,3	0,7
10	200	0,075	340,2	4,9	0,5	99,8	0,2
fundo	-	-	319,5	2,1	0,2	100	-
total	-	-	-	999,8	100	-	-

Fonte: Acervo do autor

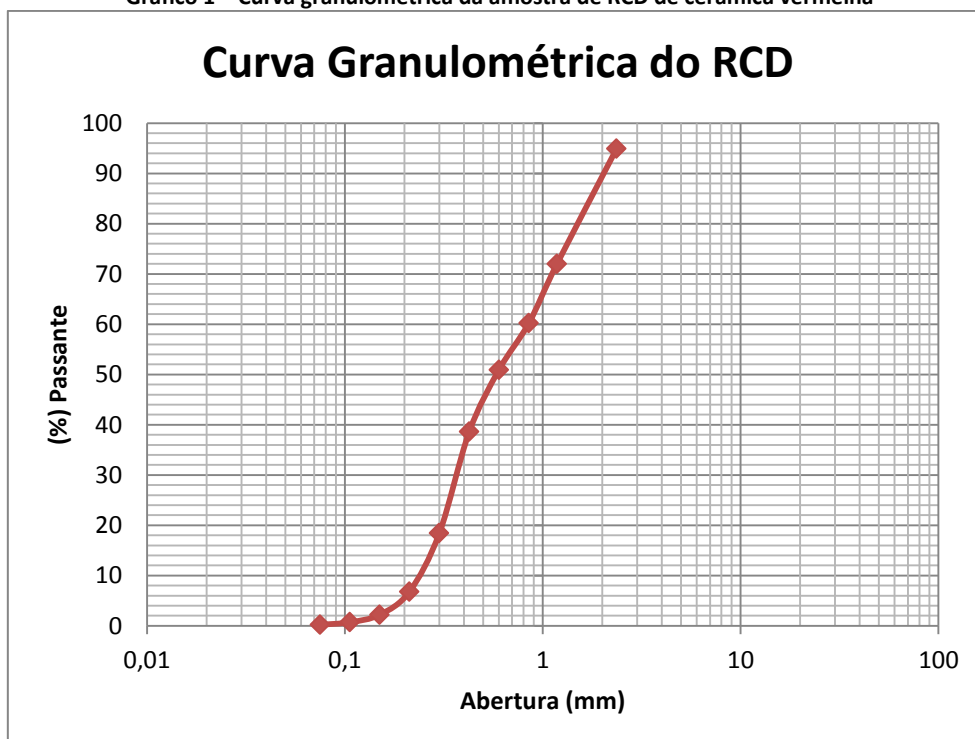
O material retido em cada uma das peneiras granulométricas distingue-se exclusivamente pelo diâmetro dos grãos. A Figura 4 expõe amostras de RCD de cerâmica vermelha retiradas das dez peneiras constituintes do ensaio granulométrico e do fundo do jogo. Por meio destes dados pode-se traçar o perfil granulométrico do material expresso no Gráfico 1.

Figura 4 - A) Amostra retida na peneira 1; B) Amostra retida na peneira 2; C) Amostra retida na peneira 3; D) Amostra retida na peneira 4; E) Amostra retida na peneira 5; F) Amostra retida na peneira 6; G) Amostra retida na peneira 7; H) Amostra retida na peneira 8; I) Amostra retida na peneira 9; J) Amostra retida na peneira 10; K) Amostra depositada no fundo do conjunto de peneiras granulométricas



Fonte: Acervo do autor

Gráfico 1 – Curva granulométrica da amostra de RCD de cerâmica vermelha



Fonte: Acervo do autor

O intervalo granulométrico aproveitado foi o  $1,2 > d > 0,3$  milímetros, intervalo de areia média, com isto foram somadas as (%) retidas nas peneiras 3, 4, 5 e 6 totalizando 53,6% (Tabela 4) de material imediatamente aproveitado, os que continham diâmetro dos grãos menores foram descartados do estudo e os com diâmetro dos grãos maiores foram novamente britados, secos e peneirados a fim de atingir então o diâmetro desejado, visando um aumento do aproveitamento de material e do grau de reciclagem.

Com o material selecionado foi realizado os ensaios de massa específica na condição saturado superfície seca, seguindo a NM 52 (2009), apresentando um valor de  $2,26 \text{ g/cm}^3$  idêntico ao da pesquisadora Etxeberria *et al.* (2015) e próximo ao obtido por Cabral *et al.* (2008). O valor também se aproximou aos índices de massa específica do agregado miúdo natural nas mesmas condições apontada por Cabral *et al.* (2008) de  $2,64 \text{ g/cm}^3$ .

Os valores de absorção de água das amostras de RCD ensaiadas foram calculados. Seus valores apontaram para um índice de 7,29%, atendendo à concordância de resultados, presente na NM 30 (2001), de variação máxima entre os ensaios de 0,05%. A amostra 3 variou excedendo o limite de 0,05% contido nas prescrições da norma, portanto não foi considerada para cálculo da absorção de água. As amostras 1 e 2 atenderam a variação máxima e a média aritmética simples entres elas foi calculada.

Cabral *et al.* (2008) chegaram a um resultado de 10,69% de absorção de água para agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha. Seu trabalho apontou para 0,42% de absorção para o agregado miúdo natural. O valor obtido neste trabalho apresenta semelhança ao de Cabral *et al.* (2008) e se aproxima mais ao percentual de absorção do agregado miúdo natural.

A determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman NBR 9775 (2011) apontou para um índice de 2,67%, levando em consideração a massa específica na condição saturado superfície seca calculada através da NM 52 (2009).

Tais resultados foram fundamentais na etapa de caracterização do material estudado e serviram de base para a análise da influência da utilização de agregados com origem reciclada em concretos massa. Com eles foram moldados os CP's referência para o controle dos resultados obtidos com substituição de agregados.

A resistência média a compressão dos CP's referência, seus valores foram de 5,58 MPa e 30,53 MPa. Estes valores atenderam ao desvio padrão contido nas normas. O desvio padrão para o traço de 5 MPa foi de 0,68 MPa, enquanto o de 30 MPa foi de 1,23 MPa. Ambos apresentaram como desvio padrão, valores inferiores à 4 MPa, como pede a NBR 12655 (2015).

As resistências à compressão característica dos traços de concreto foram de 4,45 MPa para o concreto referência utilizando traço de 5 MPa, e de 28,49 MPa para o de 30 MPa de acordo com a equação fornecida pela NBR 12655 (2015).

Com os traços referência calculados, deu-se início aos cálculos de substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha conforma a equação (1).

Com os cálculos de substituição é possível observar que a massa correspondente a fração substituída de agregado natural por reciclado diminui, isso se deve a massa específica dos materiais.

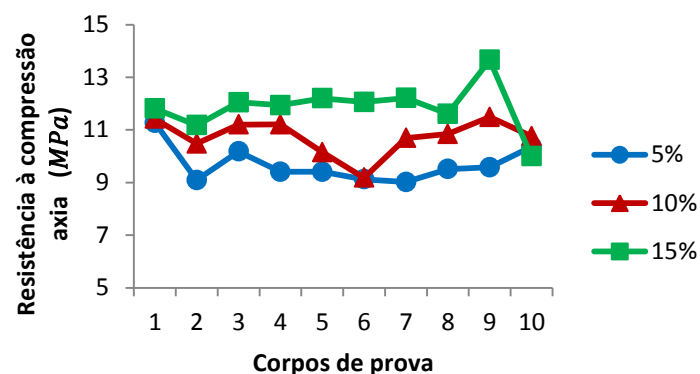
Assim como foi realizado para o concreto de referência, também foram calculados os valores de resistência média para os traços com substituição. Para o concreto de 5 MPa os resultados foram de 9,70 MPa, 10,74 MPa e 11,77 MPa, para as porcentagens de substituição de 5%, 10% e 15% respectivamente. O concreto de 30 MPa obteve como valores 30,99 MPa, 32,15 MPa e 34,27 MPa, também respectivos às substituições de 5%, 10% e 15%.

Os desvios-padrões foram de 0,71 MPa, 0,69 MPa e 0,97 MPa para o concreto de 5 MPa com substituição de 5%, 10% e 15% respectivamente. Já o concreto de 30 MPa obteve os valores de 1,16 MPa, 1,54 MPa e 1,42 MPa respectivamente para 5%, 10% e 15% de substituição. Todas as amostras obtiveram valores aceitáveis, isso por serem inferiores a 4 MPa.

As resistências características para as misturas de 5 MPa foram de 8,53 MPa, 9,60 MPa e 10,16 MPa respectivamente para as porcentagens de 5%, 10% e 15%. O traço de 30 MPa obteve como valores 29,07 MPa, 29,60 MPa e 31,93 MPa respectivamente para 5%, 10% e 15% de substituição.

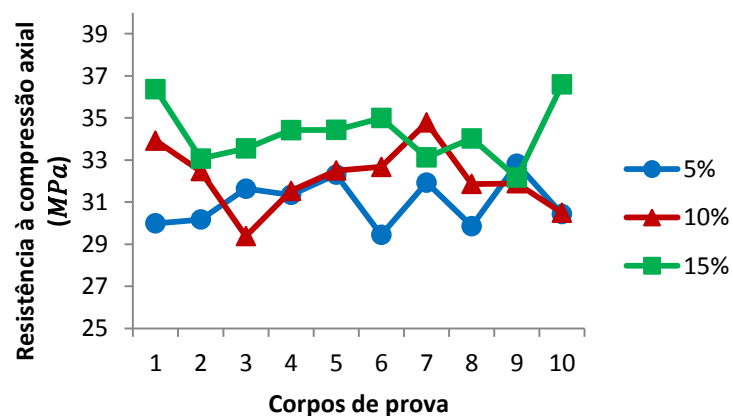
Com os valores de resistência à compressão axial dos corpos de prova ensaiados, pode-se expressar os gráficos que guardam a resistência de cada amostra.

Gráfico 2 - Resistência à compressão axial dos corpos de prova com resistência calculada de 5 MPa



Fonte: Acervo do autor

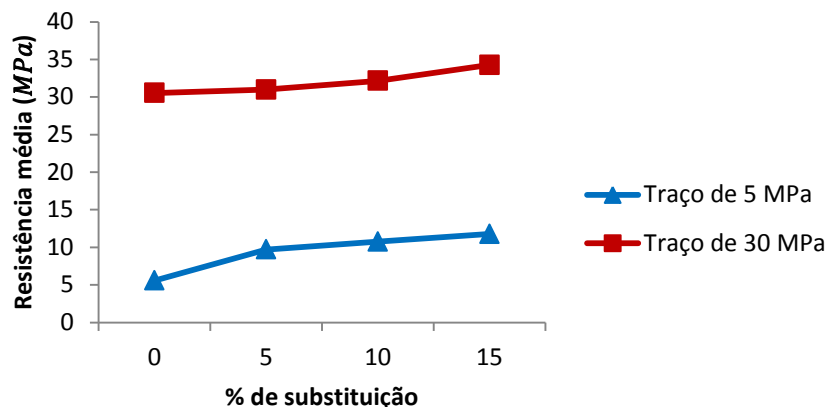
Gráfico 3 - Resistência à compressão axial dos corpos de prova com resistência calculada de 30 MPa



Fonte: Acervo do autor

Como pode ser visto nos Gráficos 2 e 3, as maiores resistências à compressão axial obtidas foram nos CP's onde houve maior índice de substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado, salvo por poucas amostras que variaram do padrão dos resultados.

Gráfico 4 – Resistência média à compressão dos corpos de prova com relação à % de substituição



Fonte: Acervo do autor

Por meio do Gráfico 4, onde se utilizou a resistência média para cada traço, o aumento com relação à porcentagem de substituição tornou-se mais evidente. A maior evolução ocorreu no traço de 5 MPa, apesar do traço de 30 MPa também ter apresentado resultados significantes. A diferença na amplitude dos valores pode estar relacionada à maior quantidade de areia substituída por agregado de RCD.

Por fim foi realizada a análise da forma de ruptura dos CP's, esta se deu de forma visual e em conformidade com a NBR 5739 (2018).

Após os ensaios destrutivos dos corpos de prova de diferentes traços e com variadas proporções de substituição de areia por agregado reciclado, pode-se analisar a forma de ruptura dos CP's, comparando-as com as prescrições do Anexo A (informativo): Tipos de Ruptura de Corpos e Prova da respectiva norma.

As formas de ruptura reveladas nos ensaios foram: Tipo A: Cônica, Tipo D: Cônica e Cisalhada e Tipo E: Cisalhada. Notou-se que não houve uma relação entre a origem do concreto com a forma de ruptura.

## 5 CONCLUSÕES

Por meio dos estudos realizados, pôde-se concluir que a utilização de um agregado miúdo reciclado em substituição a seu análogo natural contribui para a diminuição da exploração mineral, reduzindo, portanto, o impacto ambiental que esta atividade gera. Apresentou-se ainda, a utilização dos resíduos da construção civil na confecção do concreto como um meio alternativo ao descarte, possibilitando assim, reduções significativas na quantidade de resíduos sólidos que são tratados em aterros e em uma possível queda na quantidade de descartes irregulares.



O beneficiamento do RCD de cerâmica vermelha após a coleta nos processos de limpeza, britagem mecânica e avaliação granulométrica representaram vital influência na qualidade e quantidade de material reciclado. Sua caracterização física quanto à umidade, absorção de água e massa específica na condição Saturado Superfície Seca apontou para valores próximos aos da areia, o que viabiliza sua substituição gradual.

Por conta da massa específica encontrada do material estudado ser inferior ao do natural, foi possível concluir que com a substituição a massa de agregado reciclado é menor que a do natural que seria empregado originalmente no traço.

A resistência à compressão do concreto apresentou em ambos os traços, incremento para todas as taxas de substituição de agregado miúdo propostos neste trabalho com relação àquele onde não houve uso da cerâmica vermelha, aparentando-se o melhor resultado para o concreto cujo índice de substituição foi maior.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Centro Universtário Católico Salesiano Auxilium, Campus de Araçatuba-SP.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concreto**. São Paulo, 2005. 167p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama de resíduos sólidos no Brasil – 2007**. São Paulo. 151p. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama de resíduos sólidos no Brasil – 2016**. São Paulo. 60p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 5739: **Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. NBR 9775: **Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. NBR 12821: **Preparação do concreto em laboratório – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR NM 27: **Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro, 2001.

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

\_\_\_\_\_. NBR NM 52: **Agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

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

\_\_\_\_\_. NBR NM ISO 2395: **Peneira de ensaio e ensaio de peneiramento – Vocabulário**. Rio de Janeiro, 1997.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. 1. v. 471p. Inclui anexos. Rio de Janeiro: LTC, 2015a.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. 2. v. 523p. Inclui anexos. Rio de Janeiro: LTC, 2015b.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem em propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. São Carlos, 2007. 254p. Inclui anexos. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CABRAL, A. E. B, SCHALCH, V., DAL MOLIN, D. C. C., RIBEIRO, G. L. D. **Influence of the type of recycled aggregate from construction and demolition waste on the module of deformation of recycled aggregate concrete**. IBRACON, vol. 1, n. 2, p. 171-192, São Paulo, 2008.

ETXEBERRIA, M.; VEGAS, I. **Effect of fine ceramic recycled aggregate (RA) and mixed fine RA on hardened properties of concrete**. Magazine of Concrete Research, vol. 67, n. 12, p. 645-655, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1680/mac.14.00208>> Acesso em: 10 de agosto de 2018.

**INFORMAÇÕES TÉCNICAS – DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO**. Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM). Disponível em: <<https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>> acesso em: 15 de março de 2018.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2001. 270p. Inclui anexos. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LIRA, W. S., CÂNDIDO, G. A. **Gestão Sustentável dos Recursos Naturais: uma abordagem participativa**. Campina Grande: EDUEPB, 2013. p. 150.

RODRIGUES, C. R. DE SÁ; FUCALE, S. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil**. Ambiente Construído, vol. 14, n. 1, p.99-111, Porto Alegre, 2014.

TARTUCE, R., **Dosagem Experimental do Concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini: IBRACON, 1989. 25-7p.