colloquium exactarum

PROPRIEDADES MECÂNICAS E MORFOLÓGICAS DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA

MECHANICAL AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF CONCRETE WITH PARTIAL REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE BY RED CERAMIC RESIDUE

Lucas Neves Botosso[1], Juliana Aparecida Costa[1], Lara Montelato Mazda[1], Fábio Friol Guedes de Paiva[1], Filipe Bittencourt Figueiredo[2]

[1]**Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Curso de Engenharia Civil**
E-mail: lucasneves@outlook.com; jucostatre@hotmail.com; lara_mmazza@hotmail.com; fabio.vha@hotmail.com

[2]**Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Departamento de Engenharia Civil**
E-mail: filipefigueiredo@ufgd.edu.br

RESUMO – Os resíduos da construção civil (RCC) representam até 2/3 dos resíduos sólidos gerados, acarretando em alto custo de gerenciamento para a administração pública e poucas áreas de deposição. Dentre os RCC, grande parcela é composta da cerâmica vermelha de telhas e tijolos, que podem ser reutilizadas. Esta pesquisa tem como objetivo o reaproveitamento de cerâmica vermelha para a produção de concreto alternativo, com a substituição parcial da areia em concentrações de 10/90, 20/80 e 30/70 de resíduo/areia em peso. A caracterização do concreto foi realizada a partir do estado fresco, para a consistência (*Slump Test*), e no estado endurecido (7, 14 e 28 dias), para os ensaios de compressão. Os corpos de prova com 30% de resíduo apresentaram aumento nas propriedades mecânicas de compressão e tração por compressão diametral, com aumento de 44% e 28%, respectivamente, em relação ao concreto sem resíduo (traço piloto). Os ensaios morfológicos de Microscopia Óptica (MO) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) demonstraram que a cerâmica vermelha obteve boa dispersão e adesão nos componentes do concreto, além de que a composição argilosa do resíduo contribuiu com o preenchimento dos vazios. Conforme os resultados obtidos, a substituição parcial da areia por cerâmica vermelha apresentou propriedades satisfatórias, podendo ser aplicado para a produção de concreto alternativo.
Palavras-chave: cerâmica vermelha; concreto alternativo; reaproveitamento.

ABSTRACT – Construction waste accounts for up to 2/3 of the solid waste generated, resulting in high management costs for the public administration and few deposition areas. Among the construction waste, a large portion is composed of red tiles and bricks, which can be reused. This research aims to reuse red ceramics for the production of alternative concrete, with the partial replacement of the sand in concentrations of 10/90, 20/80 and 30/70 residue / sand. The concrete characterization was performed from the fresh state for consistency (Slump Test) and in the hardened state (7, 14 and 28 days) for the compression tests. The specimens with 30% of residues presented increase in

Recebido em: 20/10/2018
Revisado em: 09/04/2019
Aprovado em: 19/04/2019

the mechanical properties of compression and traction by diametral compression, with a 44% increase and 28%, respectively, in relation to concrete without residue. The morphological tests of Optical Microscopy (OM) and Scanning Electron Microscopy (SEM) demonstrated that the red ceramics obtained good dispersion and adhesion in the concrete components, besides that the clay composition of the residue contributed to fill the voids. Results indicate that the partial substitution of the sand by red ceramics presented satisfactory properties, being able to be applied for the production of alternative concrete.
Keywords: red ceramics; alternative concrete; reuse.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais segmentos da economia brasileira, por outro lado, constitui uma atividade geradora de diversos impactos ambientais, tal como de ordem estética através da disposição irregular dos resíduos nas cidades e de ordem pública e ambiental, devido ao grande volume que sobrecarrega os sistemas de limpeza público municipais e deposição em aterros sanitários. Estima-se que o Brasil seja gerador de 230 – 760 kg/habitantes anualmente, totalizando até 152 milhões de toneladas de resíduo, que correspondem a aproximadamente 2/3 dos resíduos sólidos gerados nos municípios (FERNANDEZ, 2012), (PINTO; GONZÁLES, 2005). Dentre os RCC, Cabral (2007) avalia que aproximadamente 60% é proveniente de argamassa, concreto e cerâmica vermelha.

Para a produção do concreto é necessário a mistura do cimento, água, pedra e areia. Dentre estes materiais, a areia é um agregado miúdo, com diâmetro de até 4,8 mm, mas que gera impactos ambientais através da extração da areia em várzeas e leitos de rios, resultando na retirada da cobertura vegetal próxima dos rios e, consequentemente, no assoreamento (REIS, 2005).

Vários autores têm estudado o uso de RCC como agregado miúdo ou graúdo para a produção de concreto estrutural alternativo. Huda e Alam (2014) conduziu experimentalmente a substituição de 100% de agregados finos por RCC, resultando na redução da densidade aparente em 26,3%, aumento do teor de água em 29,4%, todos os corpos de provas atingiram resistência acima de 32 MPa após 56 dias. Na pesquisa realizada por Pedro *et al.* (2014), foi discutido os resultados da substituição por 100% de resíduo de RCC, com a proposta de traços para alcançar 20 MPa, 45 MPa e 60 MPa. Constatou que a resistência a compressão reduziu 8% na força alvo de 45 e 60 MPa e 20% para 20 MPa. A incorporação de resíduo resultou no aumento da absorção de água entre 23% e 49%.

Neste contexto, será estudado a substituição parcial da areia pelo resíduo de cerâmica vermelha, com o objetivo de avaliar as propriedades mecânicas e morfológicas e, principalmente, a viabilidade dessa substituição para reduzir a utilização de materiais responsáveis por impactos ambientais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção dos corpos de prova, foi utilizado o cimento CPII – 32 Z, água, areia grossa, cerâmica vermelha triturada como agregado miúdo, e brita número 1, como agregado graúdo. A cerâmica vermelha foi obtida do descarte em olaria no município de Presidente Prudente – SP.

A escolha do traço para a produção dos corpos de prova está na Tabela 1, na qual

foi desenvolvida por Silva (1975), para atingir uma resistência à ruptura de 25 MPa aos 28 dias, sem nenhum aditivo e com aplicação de uso geral.

Tabela 1. Composição do concreto para 1 m³.

Material	Quantidade
Brita 1	1038 kg
Areia (seca)	744 kg
Cimento	355 kg
Água	212 kg
Fator A/C	0,60%

Fonte: (SILVA, 1975).

Foi produzido o concreto tradicional, nomeado como piloto, e três traços com a substituição parcial em peso de 10%, 20% e 30% da areia pela cerâmica vermelha triturada, conforme a Tabela 2.

Vale ressaltar que as análises mecânicas foram realizadas no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE) e as análises morfológicas no Laboratório da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Tabela 2. Composição dos traços.

Material	Piloto	10%	20%	30%
Brita 1	32,59 kg	32,59 kg	32,59 kg	32,59 kg
Areia (seca)	22,77 kg	20,49	18,21	15,94
Cerâmica	-	2,27 kg	4,56 kg	6,83 kg
Cimento	10,65 kg	10,65 kg	10,65 kg	10,65 kg
Água	6,12 kg	6,12 kg	6,12 kg	6,12 kg
Fator A/C	0,60%	0,60%	0,60%	0,60%

Fonte: (Autores, 2018).

2.1. Ensaio de Granulometria

Conforme a NBR 7181:1988 da ABNT, foi realizado o ensaio para determinar a composição granulométrica da areia e da cerâmica vermelha. Os materiais foram peneirados em 7 peneiras, com diâmetro de abertura entre 4,76 mm e 0,074 mm.

2.2. Slump Test

O ensaio de abatimento ou também conhecido como *Slump Test* foi realizado conforme a ABNT NBR NM 67:1998, para determinar a consistência do concreto em estado fresco através da medida de seu assentamento, devendo ser igual ou superior a 10 mm em relação à altura do cone (Figura 1).



Fonte: Autores (2018).

Figura 1. Teste de abatimento.

Conforme a NBR 5738:2015 da ABNT "Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova", os corpos de provas ficaram na moldura por 24h, conservando-a em
câmara umida até a idade de ruptura com 7, 14 e 28 dias (Figura 2).

Figura 2. Corpos de prova moldados.



Fonte: Autores (2018).

2.3. Ensaio de Absorção de Água

Para determinar a absorção de água do concreto endurecido, os corpos de provas foram submersos em água por 24 horas, conforme indicado na ABNT NBR 9778:2009 (Figura 3).

Figura 3. Corpos de prova imersos na água.



Fonte: Autores (2018).

2.4. Ensaio de Compressão

O ensaio de resistência a compressão no concreto segue a ABNT NBR 5739:2007, como parâmetro para a ruptura máxima de corpos de prova cilíndricos em triplicata, realizada com 7, 14 e 28 dias de cura (Figura 4).

Figura 4. Ensaio de compressão.



Fonte: Autores (2018).

2.5. Ensaio de Tração por Compressão Diametral

Posteriormente foi realizado o ensaio de tração por compressão diametral, seguindo a ABNT NBR 7222:2007, em triplicatas após 7, 14 e 28 dias de cura (Figura 5).

Figura 5. Ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: Autores (2018).

2.6. Ensaio de Microscopia Óptica (MO)

Foi analisado a morfologia através do ensaio de Microscopia Óptica, através de uma câmera digitalizadora (Exwave HAD, Sony, modelo SSC-DC54A). Com esta técnica é possível observar o nível de interação física entre os materiais constituintes do concreto e a cerâmica vermelha.

2.7. Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para análise microscópica de maior ampliação, foi realizado a análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), com ampliação de 5000x. O equipamento fica no Laboratório da UNESP de Presidente Prudente – SP, sendo do modelo DSM 960-ZEISS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizado o ensaio de granulometria da areia e da cerâmica vermelha triturada com o objetivo de

caracterizar o tamanho e a distribuição das partículas, conforme a Tabela 3.

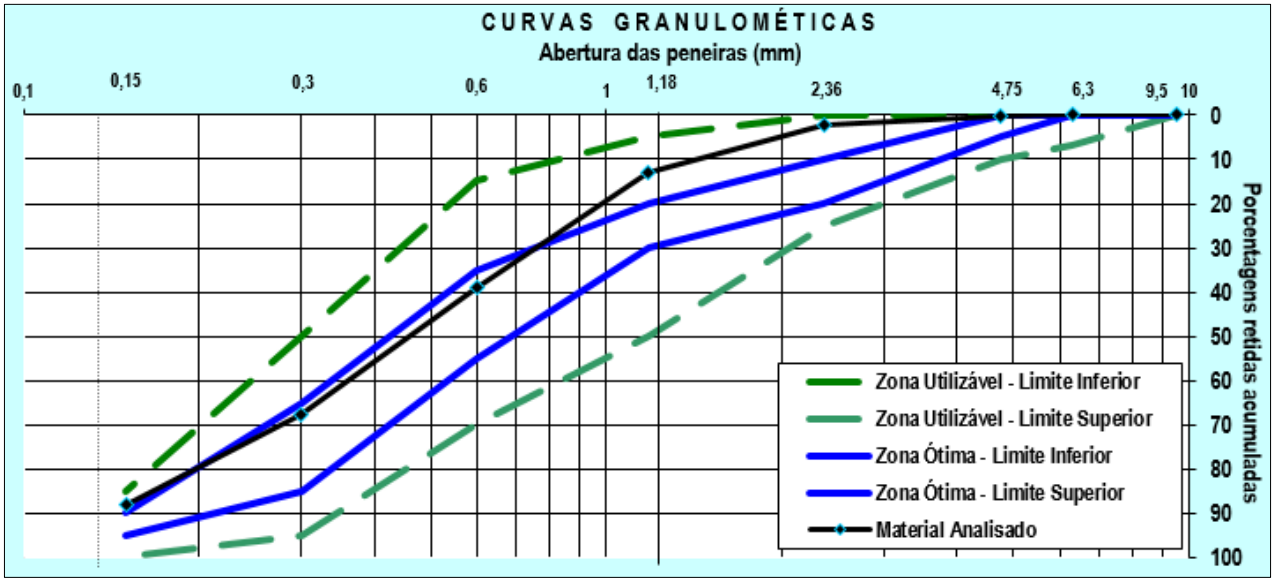
Com a análise granulométrica da areia e da cerâmica vermelha, pôde ser concluído que as maiores concentrações das massas retidas da areia estão nas peneiras de *mesh* 50 e 100. No entanto, a massa retida da cerâmica vermelha é disposta principalmente nos *mesh* 30 e 50, resultando na concentração de partículas maiores que da areia (Figura 6).

Tabela 3. Granulometria da areia e da cerâmica vermelha triturada

	Areia Grossa			Cerâmica Vermelha Triturada		
Peneira (mm)	**Massa Retida (g)**	**Massa Retida (%)**	**Massa Acumulada (%)**	**Massa Retida (g)**	**Massa Retida (%)**	**Massa Acumulada (%)**
4/4,76	5,7	0,57	0,57	0	0	0
8/2,38	24,80	2, 48	3,05	9,7	0,97	0,97
16/1,19	63,60	6,36	9,41	152,3	15,23	16,2
30/0,59	240	23,38	33,41	292,13	29, 21	45,41
50/0,30	350,60	35,06	68,47	219,5	21,95	67,36
100/0,149	277	27,7	96,17	136	13,6	80,96
200/0,075	35,6	3,56	99,73	108,3	10,83	91,79
Fundo	2,70	0,27	100	82,1	8,21	100
TOTAL	1000	100	-	1000	100	-

Fonte: Autores (2018).

Figura 6. Curva granulométrica da areia e da cerâmica vermelha triturada.



Fonte: Autores (2018).

A trabalhabilidade do concreto em estado fresco foi caracterizado a partir do teste de abatimento, comparando a amostra do concreto piloto e o concreto com substituição parcial da areia pela cerâmica vermelha (Tabela 4).

Tabela 4. Teste de abatimento.

Amostras	Quantidade (cm)
Piloto	19
10%	8,5
20%	3
30%	0

Fonte: Autores (2018).

O resultado obtido mostra a redução da trabalhabilidade do concentro com adição de resíduo devido a observação de uma menor coesão ao aumentar a porcentagem de resíduo. Com base nesta análise, não foi realizado concentrações superiores a 30% de cerâmica vermelha, devido à queda para 0 cm, dificultando a confecção dos corpos de prova.

Foi realizado a medida da absorção de água nos corpos de prova, determinando a porosidade do concreto piloto e da cerâmica vermelha (Tabela 5). Os traços demonstraram a redução na absorção de água de aproximadamente 25, 29,5 e 9% respectivamente para os corpos de prova com cerâmica vermelha de 10, 20 e 30%, entende-se que com a inserção da cerâmica vermelha na massa do concreto houve o aumento da interação na microestrutura do concreto entre o aglomerante e dos agregados produzindo um menor número de vazios e, consequentemente, gerando uma menor absorção do material. A distribuição granulométrica da cerâmica utilizada foi fundamental para que isso pudesse acontecer.

Tabela 5. Absorção de água.

Porcentagem de Absorção de Água			
Amostras	**Peso Seco (kg)**	**Peso Saturado (kg)**	**Absorção (%)**
Piloto	3,742	3,956	5,72
10%	3,686	3,844	4,28
20%	3,670	3,818	4,03
30%	3,672	3,864	5,22

Fonte: Autores (2018).

A propriedade mecânica de compressão foi realizada com 7, 14 e 28 dias. Os resultados obtidos na Tabela 6 demonstram a melhoria da substituição parcial da areia por cerâmica vermelha com até 30% (36,85 MPa), resultando no aumento de 44% da resistência a compressão com 28 dias de cura em comparação ao concreto piloto (25,56 MPa).

O aumento da resistência a compressão do concreto com a inserção do resíduo da cerâmica vermelha como agregado miúdo já era esperado visto que com a diminuição do número de vazios houve também a diminuição dos espaços entre os elementos na microestrutura gerando menores momentos intramolecures quando submetido ao esforço de compressão. O aumento da resistência a compressão foi observado por outros autores como Cabral et al (2009), que conclui em sua pesquisa que a substituição do agregado miúdo natural pelo miúdo reciclado (cerâmica vermelha), resulta em acréscimo da resistência a compressão dos concretos.

Assim, é observado o aumento gradual das propriedades mecânicas com incorporação de 10%, 20% e 30% de resíduo (Gráfico 1).

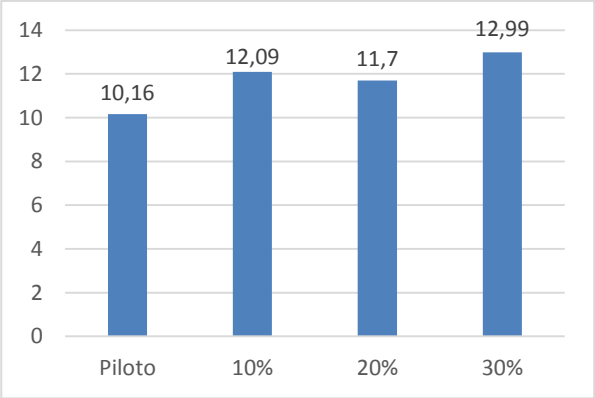
Tabela 6. Relação entre o traço e sua resistência de ruptura à compressão.

Idade do Concreto			
Amostras	**7 dias (MPa)**	**14 dias (MPa)**	**28 dias (MPa)**
Piloto	15,99	16,68	25,56
10%	22,93	25,03	31,21
20%	23,44	27,85	33,85
30%	29,49	31,27	36,85

Fonte: Autores (2018).

Também foi feito a ruptura dos corpos de prova de modo longitudinal, analisando a resposta de tração por compressão diametral (Figura 7). Os resultados obtidos demonstram que a inserção de cerâmica vermelha aumenta a resistência a tração dos corpos de prova, com melhoria de até 28% (12,99 MPa) nas amostras com 30% de cerâmica vermelha em relação ao concreto piloto (10,16 MPa).

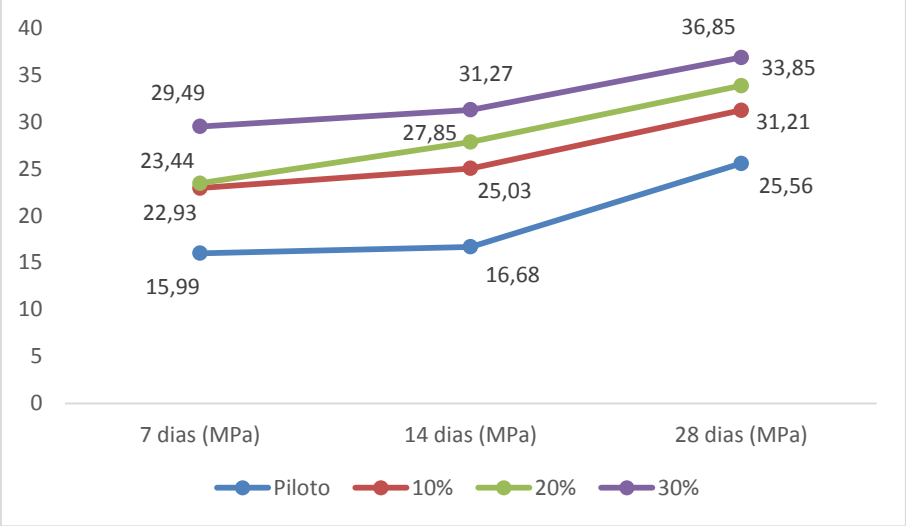
Figura 7. Resistência a tração por compressão diametral após 28 dias de cura.



Fonte: Autores (2018).

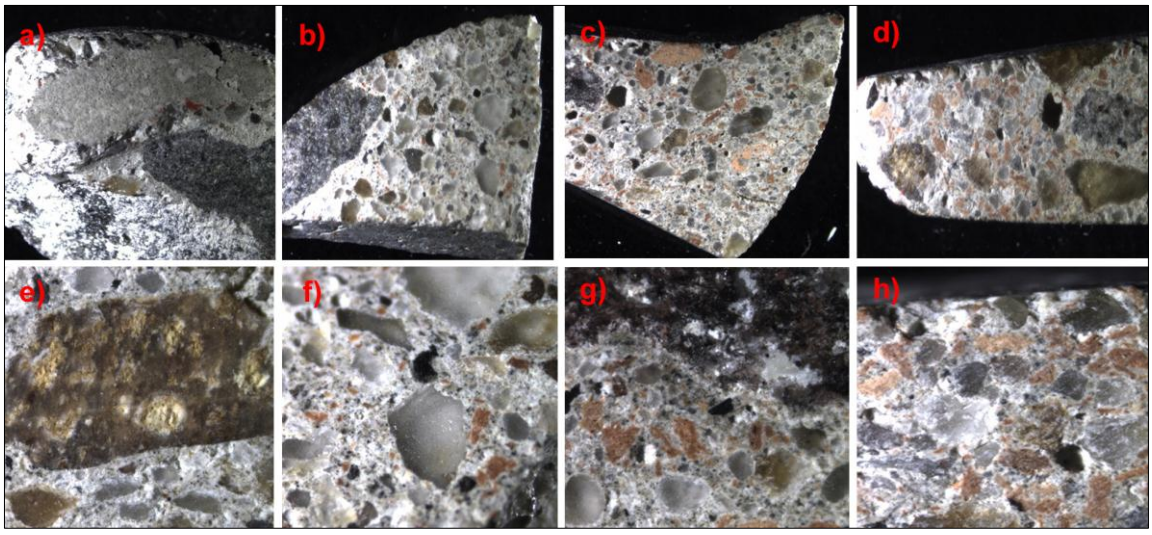
Foi realizado o ensaio de Microscopia Óptica das amostras, ampliadas 25 vezes, com o objetivo de analisar os aspectos da superfície dos materiais (Figura 8).

Gráfico 1. Relação entre o traço e sua resistência de ruptura à compressão.



Fonte: Autores (2018).

Figura 8. Microscopia Óptica com ampliação de 8x da amostra piloto (a), 10% (b), 20% (c) e 30% (d) e 25x da amostra piloto (e), 10% (f), 20% (g) e 30% (h).

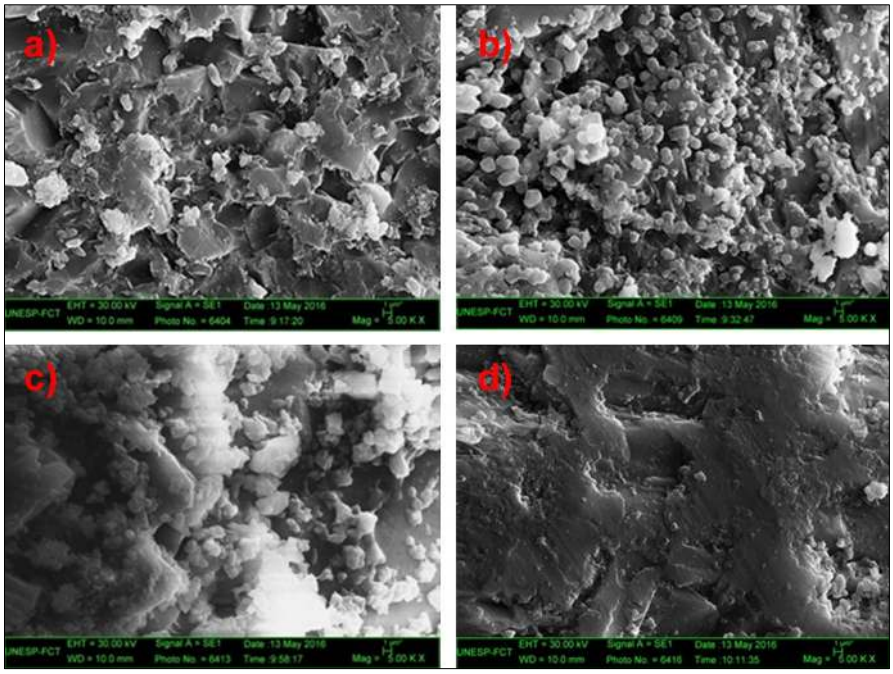


Fonte: Autores (2018).

Pôde ser observado que o traço piloto tem aparência de um concreto tradicional, com um conglomerado formado a partir da brita e uma mistura de cimento e areia. Ao

adicionar o resíduo fica nítido pontos avermelhados que aumentam conforme a inserção de maiores proporções de cerâmica vermelha. É possível concluir que o resíduo está aderido na composição do concreto, não demonstrando áreas de trinca ou poros na união da cerâmica com os outros componentes.

Figura 9. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com ampliação de 5000x da amostra piloto (a), 10% (b), 20% (c) e 30% (d).



Fonte: Autores (2018).

Na caracterização dos traços por microscopia eletrônica de varredura (MEV), foram analisadas a superfície dos corpos de prova, em amostras de 1cm x 1cm, aplicando ampliação de 5000x (Figura 9).

Através da substituição parcial de areia por cerâmica vermelha é possível observar um material aglomerado, com partículas espalhadas pela superfície, com a presença de vazios. No entanto, neste ensaio é possível obter respostas referentes a melhoria das propriedades mecânicas, devido a cerâmica vermelha ser proveniente da argila, que ao entrar em contato com o líquido se torna parcialmente barro, preenchendo os poros existentes no concreto tradicional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os estudos realizados nesta pesquisa, pode-se verificar a potencialidade do resíduo da cerâmica vermelha para substituir parcialmente a areia, no qual teve melhoria considerável de 44% das propriedades mecânicas de compressão e 28% de tração por compressão diametral para os traços com 30%.

Portanto, até aqui constatou-se a viabilidade da cerâmica vermelha para a substituição de agregado miúdo, que além da melhoria das propriedades mecânicas também pode apresentar viabilidade econômica e ambiental por se tratar de um resíduo que apenas descartado em aterros sanitários. Entretanto, como é apenas um estudo inicial das propriedades do concreto com cerâmica vermelha sugere-se a realização de trabalhos futuros com a finalidade de estudar alguns pontos que não foram tratados no presente artigo, mas que,

são importantes para evolução da tecnologia do concreto como o comportamento do concreto com inserção da cerâmica vermelha hidratada para o controle da consistência do concreto, a durabilidade dessas peças e novas dosagens com a presença de aditivos superplastificantes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica**: NBR 9778. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**: NBR NM 67. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**: NBR 5738. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Análise granulométrica**: NBR 7181. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉNICAS. **Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**: NBR 7222. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** 2007. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. doi:10.11606/T.18.2007.tde-21102007-164548. Acesso em: 2019-05-15. https://doi.org/10.11606/T.18.2007.tde-21102007-164548

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** 2007. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. doi:10.11606/T.18.2007.tde-21102007-164548. https://doi.org/10.11606/T.18.2007.tde-21102007-164548

CABRAL, A. E. B. *et al.* Performance of red ceramic recycled aggregate concrete. **Cerâmica,** v. 55, n. 336, p. 448-460, 2009. https://doi.org/10.1590/S0366-69132009000400016

FERNANDEZ, J. A. B. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil**. Brasília: IPEA, 2012.

HUDA, S. B.; ALAM, M. S. Mechanical behavior of three generations of 100% repeated recycled coarse aggregate concrete. **Construction and building materials**, v. 65, p. 574-582, 2014. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.010

PEDRO, D.; DE BRITO, J.; EVANGELISTA, L. Influence of the use of recycled concrete aggregates from different sources on structural concrete. **Construction and Building Materials**, v. 71, p. 141-151, 2014. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.030

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil.**

(Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios, v. 1) Brasília: CEF, 2005. v, p. 196,

REIS, F. A. G. V. Diagnóstico ambiental em minerações de areia e argila no Rio Jaguari Mirim, município de São João da Boa Vista (SP). **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 2, n. 1, 2005.

SILVA, G. R**. Manual de Traços de Concreto**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1975.