



RBES

Revista Brasileira de
Engenharia e Sustentabilidade

ISSN 2448-1661

Pelotas, RS, UFPel-Ceng

<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBES/index>

v.6 n.2 p.1-9, dez. 2019

ADIÇÃO DE RESÍDUO CERÂMICO EM CONCRETO: MORFOLOGIA E COMPORTAMENTO MECÂNICO

MARIANO, R. M.¹, BARCELLOS, J. S.¹, MEDEIROS, A. V.²

¹ Universidade Geraldo di Biase

² Cândido Mendes

Palavras-chave: resíduos industriais, concreto, resíduos cerâmicos, aproveitamento de resíduos.

Resumo

Neste trabalho foi avaliado a influência da adição de resíduos de caco de cerâmica como agregados nas propriedades mecânicas de diferentes traços de concreto de cimento Portland. A adição dos resíduos ocorreu através da substituição do agregado miúdo areia em proporções de 0%, 10%, 20% e 30%. Os corpos-de-prova foram moldados segundo a NBR 7680 e curados por 7 e 28 dias. O desempenho dos traços obtidos foi avaliado através dos ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (NBR 5738), determinação do módulo estático de elasticidade à compressão (NBR 8522) e do tempo de pega (NBR NM 65). A morfologia dos traços foi observada através de análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Pode ser verificado que o caco de louça aumentou o módulo elástico em até 286% e a tensão na ruptura em até 206%. Através do tempo de pega foi percebido que o caco promoveu a antecipação do início da pega do cimento em três horas e quinze minutos, além de apresentar uma alternativa viável e sustentável para o aproveitamento de resíduos industriais produzidos em grande escala.

ADDITION OF CERAMICS WASTE IN CONCRETE: MORPHOLOGY AND MECHANICAL PROPERTIES

Keywords: Industrial waste, concrete, ceramics waste, waste reuse.

Abstract

In this work the influence of ceramics fragment waste added as aggregates in Portland cement concrete was evaluated. Morphology and mechanical properties were evaluated. The addition of ceramic waste happened replacing the river sand minimum aggregates in 0%, 10%, 20% and 30% proportions. The specimens were molded according to NBR 7680 and wet cured for 7 and 28 days. The performance of batches concrete was evaluated by procedure of molding and curing of concrete test specimens (NBR 5738), determination of the elasticity modulus by compression (NBR 8522) and determination of setting times (NBR NM 65). The batches morphology was observed by scanning electron microscopy (SEM). It could be observed that the ceramics fragment waste increases elastic modulus up to 286% and tensile stress up to 206%. By the setting times it could notice that the ceramics fragment waste anticipated the beginning of setting in three hours and fifteen minutes. It also seems to be a practicable and sustainable alternative to reuse industrial produced on a large scale.

INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas das indústrias em todo mundo é o descarte de resíduos. Quantidades enormes de materiais são dispensadas como lixo, não tendo mais proveito para manufatura. As grandes empresas, com maiores investimentos em pesquisas sobre otimização da produção, têm buscado formas de tirar proveito dos materiais rejeitados, colocando-os de volta no processo produtivo da própria empresa, ou comercializando esses rejeitos com empresas que possam se beneficiar deles em seu processo. Este é um problema que não se limita ao âmbito comercial das empresas, mas também afeta, principalmente, o meio ambiente através do acúmulo de lixo, por vezes, tóxico.

Normatizações referentes à preservação do meio ambiente, como a ISO 14001, trazem uma nova forma de produzir por parte das empresas, junto à possibilidade das empresas serem vistas como agentes de preservação e utilização consciente dos recursos naturais (ABNT, 2004). Pesquisas no sentido do reaproveitamento de rejeitos da indústria cerâmica têm apresentado resultados animadores quanto à minimização desses resíduos e quanto ao bom desempenho mecânico das estruturas em que estes têm sido incorporados. Muitas pesquisas vêm demonstrando a importância da reciclagem na proteção ambiental e no desenvolvimento tecnológico (SOUZA, 2007; REIS & ALVAREZ, 2007).

CASAGRANDE et al. (2008) deixa claro na conclusão de sua pesquisa o ganho no valor agregado dos rejeitos industriais, além do alto benefício referente à questão ambiental. A partir desses estudos foi avaliado o comportamento mecânico do concreto de cimento Portland tradicional e do concreto com adição de rejeitos industriais em sua composição. Os rejeitos industriais utilizados nesta pesquisa foram provenientes de uma fábrica de louça sanitária localizada no estado do Rio de Janeiro. O objetivo principal deste trabalho foi estudar o comportamento de concreto de cimento Portland proveniente da adição de resíduos industriais gerados em processos produtivos de peças de louças sanitárias como forma de reaproveitamento de resíduo industrial. Foi avaliado o aumento do desempenho mecânico, durabilidade, tempo de pega, entre outras propriedades, para que assim fosse possível obter a

redução de desperdícios e favorecimento da empresa em seus respectivos processos.

MATERIAS E MÉTODOS

MATERIAIS

Agregados e aglomerante

Os agregados graúdos e miúdos foram utilizados como recebido. Como agregado miúdo foi utilizado a areia lavada, proveniente de Minas Gerais. Os estudos granulométricos da areia foram realizados conforme a NBR 7217. O módulo de finura registrado foi de 2,67. A dimensão máxima característica foi de 3,2 mm. Como agregado graúdo foi utilizado brita zero. A composição granulométrica foi estudada de acordo com a NBR 7216. O módulo de finura foi de 5,22 e a dimensão máxima característica de 6 mm. Como aglomerante foi utilizado o cimento Portland classe III, fabricante Lafarge, marca Campeão, cuja composição era de silicatos de cálcio, de alumínio e de ferro, sulfato de cálcio e *filler* carbonático.

Resíduo

O caco de louça utilizado como resíduo industrial foi doado por uma fábrica de louças sanitárias localizada no distrito industrial de Queimados, Rio de Janeiro. Este resíduo foi gerado a partir de peças sanitárias consideradas reprovadas após o processo de fabricação e com defeito. O caco de louça foi moído e peneirado para ser inserido nos traços em estudo.

MÉTODOS

Dosagem, preparo da massa, moldagem e cura dos corpos de prova

Foi realizado um estudo para avaliação das composições de concreto segundo a NBR 5738. A dosagem das composições foram desenvolvidas seguindo o traço 1:2:2 ½. Dentro da composição escolhida foram estudados diferentes teores de adição de caco de louça moído, com 0%, 10%, 20% e 30%. Foi utilizada uma relação A/C (água/cimento) de 0,65. Após a pesagem das substâncias listadas foram misturadas à mão todas as substâncias sólidas, buscando homogeneização das mesmas, segundo a NBR 5738. A moldagem dos corpos de prova foi realizada segundo norma citada anteriormente. O concreto foi mantido para secagem no molde de compressão, tamanho 10 x 20 cm, por 24 horas. Após isso a cura foi realizada em

câmara úmida por 7 e 28 dias. Foram moldados 11 corpos de prova de cada traço estudado.

Caracterização do resíduo industrial por difração de raios X

Esta técnica foi realizada afim de identificar todas as substâncias presentes na caco de louça recebido como resíduo industrial doado por uma fábrica de louças sanitárias localizada no Rio de Janeiro, no distrito industrial do município de Queimados. A análise foi realizada com radiação de $\text{Co K}\alpha$ (40 kV/40 mA); com velocidade do goniômetro de $0,02^\circ 2\theta$ por passo com tempo de contagem de 0,5 segundos por passo e coletados de 4 a $80^\circ 2\theta$, com detector linear sensível à posição LynxEye. As interpretações qualitativas de espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 em software Bruker Diffrac^{Plus}.

Determinação do tempo de pega

Este estudo foi realizado segundo a NBR MN 65, em aparelho de Vicat marca Solotest, a 23°C . Foi determinado o intervalo de tempo entre o início e fim de pega da pasta de cimento Portland e a influência que o caco de louça exerce sobre o tempo de pega do cimento.

Ensaio de Resistência à compressão e determinação do módulo elástico

O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo a NBR 5739, em máquina de ensaio da marca Contenco com auxílio do programa Pavitest. Foram utilizados 11 corpos de prova cilíndricos e os resultados foram extraídos a partir da mediana dos

valores. O cálculo do módulo de elasticidade dos traços desenvolvidos foi calculado segundo a NBR 8522.

Microscopia Eletrônica de Varredura

O ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizado para o estudo morfológico dos compósitos em estudo. Foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura marca JEOL modelo JSM-6460 LV. As micrografias utilizaram elétrons retroespalhados (BEC) e elétrons secundários (SEI). Os fragmentos analisados foram retirados do corpo de prova cilíndrico de compressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resíduo de caco de louça obtido foi caracterizado segundo a análise de difração de raios X. A Figura 1 apresenta o difratograma obtido a partir da respectiva análise para a amostra de caco de louça moído. A partir da Figura 1 alguns materiais foram identificados na amostra estudada. Foram observados picos de mulita, em torno de 20° e 30° , quartzo em torno de 25° e 30° e albíta próximo de 30° , e em pequena intensidade. O pico de maior intensidade é referente à presença de quartzo o que sugere que este mineral está presente em maior quantidade na amostra (MARIANO, 2011). Segundo POPP (2010) o quartzo tem como características resistência e dureza. Considerando que o componente em maior quantidade na cerâmica é a argila, o elevado teor de quartzo revela que a matriz utilizada na composição tem natureza rígida (argila magra).

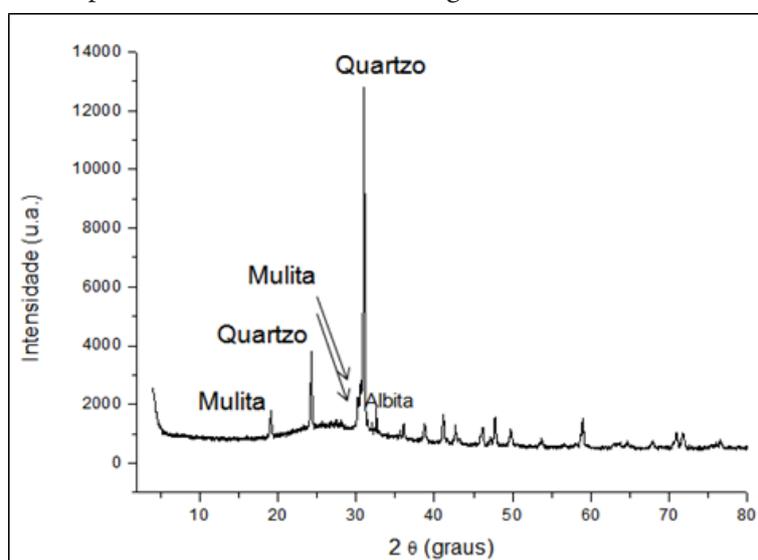


Figura 1 . Difratômetro de raios X obtido para a amostra de caco de louça moído.

Foi detectada na amostra, em picos menores de aproximadamente 25°, a presença da microclina. Esta é considerada um feldspato potássico capaz de atuar como fonte de fundência para sinterização das massas, pois suas partículas sólidas se aglutinam numa temperatura inferior à de fusão, sendo possível diminuir a porosidade do material aumentando sua resistência (CAVALCANTE, 2005).

Os resultados de módulo elástico, NBR 8522, foram obtidos através do ensaio para determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. O módulo de elasticidade, ou Young, é um parâmetro mecânico que registra a medida de rigidez de um material na fase elástica. Nesta fase nenhuma alteração estrutural pode ser verificada proveniente da força aplicada. Tal módulo é uma das mais importantes propriedades elásticas para a análise dos impactos de manutenção e desempenho das estruturas do material (ALMEIDA, 2012).

A Figura 2 apresenta o gráfico com os resultados do módulo elástico, ou Módulo de Young, para cada teor de resíduo para 7 e 28 dias de cura. Para a composição sem adição de resíduos e 28 dias de cura, o módulo elástico do concreto tradicional foi de 27,9 GPa. Sendo então este o resultado base para avaliação das demais composições. Com acréscimo de 10% de caco de louça em substituição ao agregado miúdo do concreto, o resultado do módulo elástico é inferior ao resultado base da composição sem resíduo. Com 20% de rejeito cerâmico o módulo elástico segue reduzindo, ainda que seja de forma pouco expressiva.

A composição com teor de resíduo de 30% apresentou uma melhora significativa em comparação à amostra sem adição de caco de louça. Desta forma, o teor de agregado de 30% provocou o incremento do módulo de Young, quando comparado com o traço tradicional. Os valores para 7 e 28 dias seguiram o mesmo comportamento. De acordo com Pacheco *et. al.* (2016) o quartzo é um material pozolânico. Este pode reagir com o hidróxido de cálcio presente no cimento, provocando aumento na reatividade e melhora da trabalhabilidade. Tais fatores podem contribuir para o incremento da resistência mecânica.

Os resultados para tensão na ruptura foram realizados de acordo com a NBR 5739. A Figura 3 apresenta o resultado de tensão na ruptura para cada teor de caco de louça a 7 e 28 dias de cura. Pode ser verificado que a adição de 10% de caco promoveu a queda da tensão na ruptura e que o aumento progressivo do teor para 20% e 30% desenvolveram maior resistência à ruptura. Este comportamento segue de forma linear para 7 e 28 dias de cura. Quanto maior o teor de resíduo, maiores os valores de tensão na ruptura. O valor de maior expressão foi obtido pela composição com 30% de rejeito cerâmico. Este fato pode ser atribuído a presença de quartzo e microclina na argila utilizada, conforme observado no difratograma da Figura 1. O uso de 30% de rejeito cerâmico como maior quantidade no preparo da composição das louças cerâmicas é responsável por promover o elevado comportamento mecânico dos traços devido à estrutura desses minerais presentes no resíduo cerâmico (RASHAD & ZEEDAN, 2012).

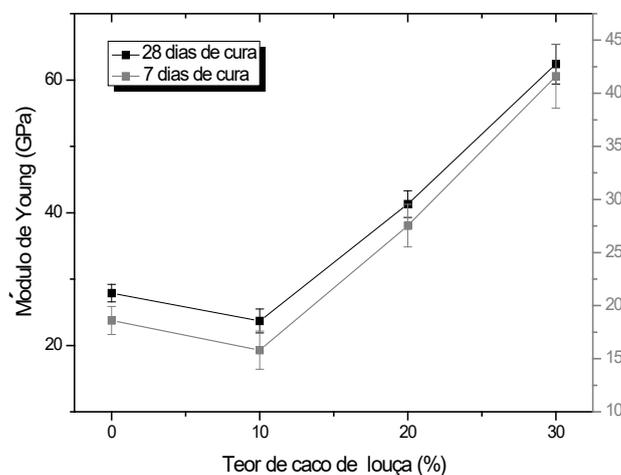


Figura 2. Módulo de Young dos corpos de prova à diferentes teores de caco de louça para 7 e 28 dias.

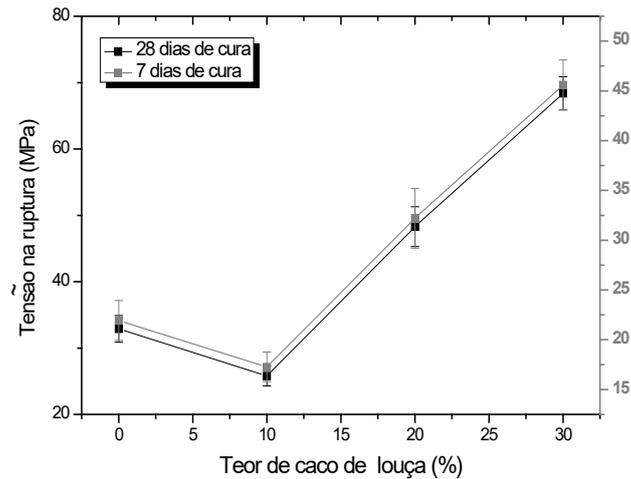


Figura 3. Resultados de tensão no ponto de ruptura dos corpos de prova à diferentes teores de caco de louça para 7 e 28 dias.

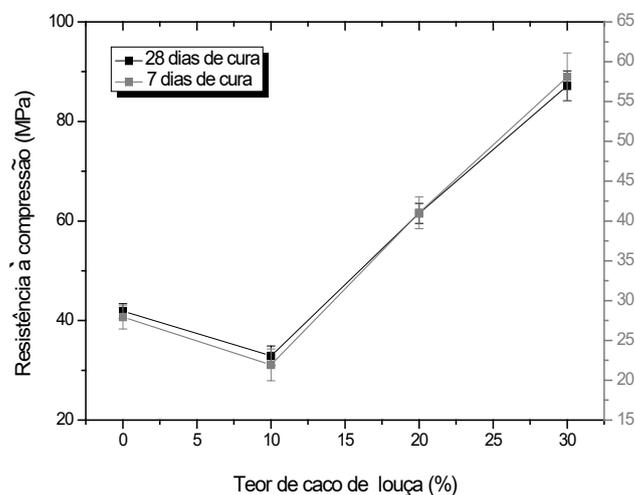


Figura 4. Resultados de resistência à compressão dos corpos de prova à diferentes teores de caco de louça para 7 e 28 dias.

A Figura 4 reúne os valores de resistência à compressão dos traços de caco de louça para 7 e 28 dias com concreto. O aumento do teor de caco adicionado ao concreto promoveu o aumento da resistência à compressão. A presença dos minerais na composição do caco pode ter gerado o aumento do desempenho mecânico das composições de concreto (PACHECO *et al.*, 2016; RASHAD & ZEEDAN, 2012; AGARWAL, 2006; YAJUN & CAHYADI, 2003).

O Tempo de Pega para cada composição foi verificado de acordo com a NBR NM 65. A Figura 5 apresenta o resultado para cada teor de caco de louça. O gráfico disposto marca os tempos de início e fim de pega para cada teor. O início da pega da composição sem adição de resíduos se deu após 4 horas e 15 minutos, e o fim

em 6 horas. Logo na primeira amostra, com 10% de caco de louça, o tempo de pega foi bastante reduzido, tendo seu início em 2 horas e seu término em 4 horas e 30 minutos após o início do ensaio.

O início do tempo de tempo de pega também foi reduzido nas composições de 20% e 30%. No entanto, a distância entre o tempo inicial e final da pega se tornou maior, à medida em que foi aumentado o teor de resíduo na composição. Assim, quanto maior o teor de resíduo de caco presente no concreto, maior a duração da pega. Isto pode ocorrer devido as inúmeras reações que ocorrem no meio aquoso entre o cimento, e suas substâncias como o hidróxido de cálcio e o material pozzolânico (PACHECO *et al.*, 2016).

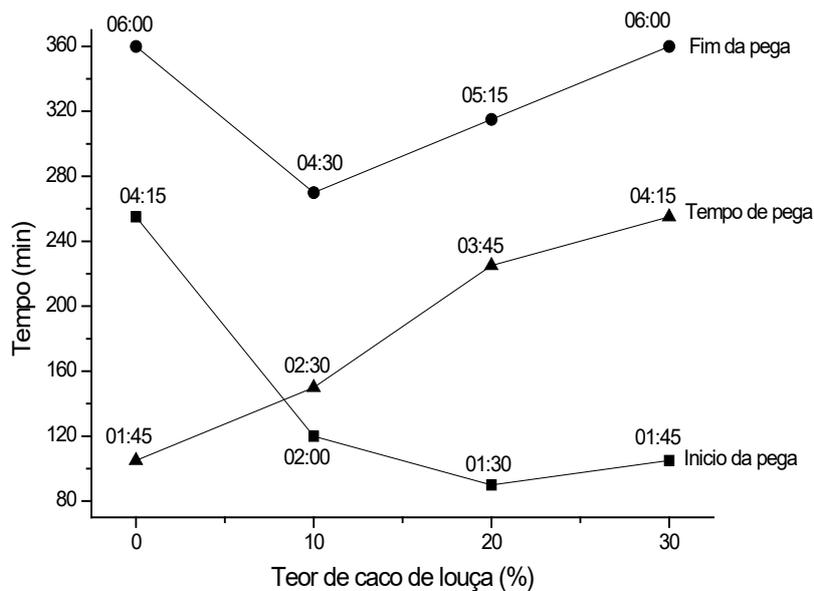


Figura 5. Tempo de pega do traço de cimento com diferentes teores de caco de louça moído.

As Figuras 6 e 7 mostram micrografias eletrônicas de varredura (MEV) das composições tradicionais e contendo 30% de caco de louça, respectivamente. Na Figura 6, referente à composição de concreto tradicional, pode ser observado em (a) superfície rugosa com presença de poros e menor compactação. Em (b) com ampliação de 1000X, pode ser visualizado estes fatos, de forma mais clara, devido à maior aproximação. Entretanto, na Figura 7, pode ser percebido que houve redução na rugosidade da

superfície, ficando mais contínua e compacta. Ocorreu também redução do aparecimento de poros, levando à maior continuidade da superfície. Tais fatores podem levar ao melhor desenvolvimento mecânico. Isto corrobora os resultados mecânicos apresentados e o fato dos minerais presentes no rejeito de caco, como o quartzo e a microclina, agirem na redução da porosidade, que leva à redução da fragilidade estrutural e melhora consequente do comportamento mecânico.

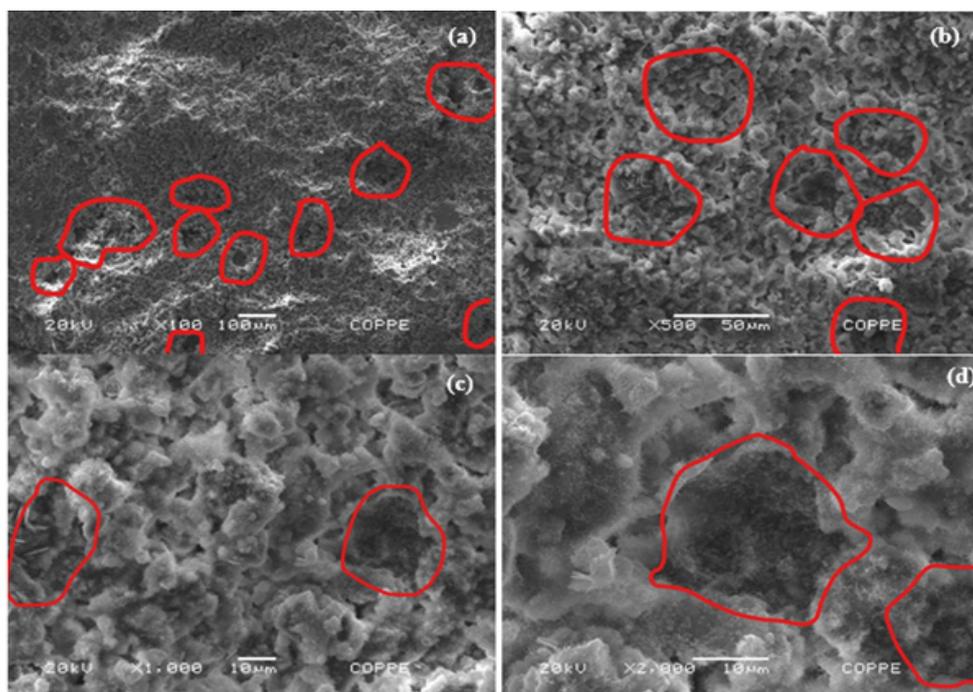


Figura 6. Micrografias do traço de concreto puro com ampliação em (a) 100X; (b) 500X; (c) 1000X e (d) 2000X.

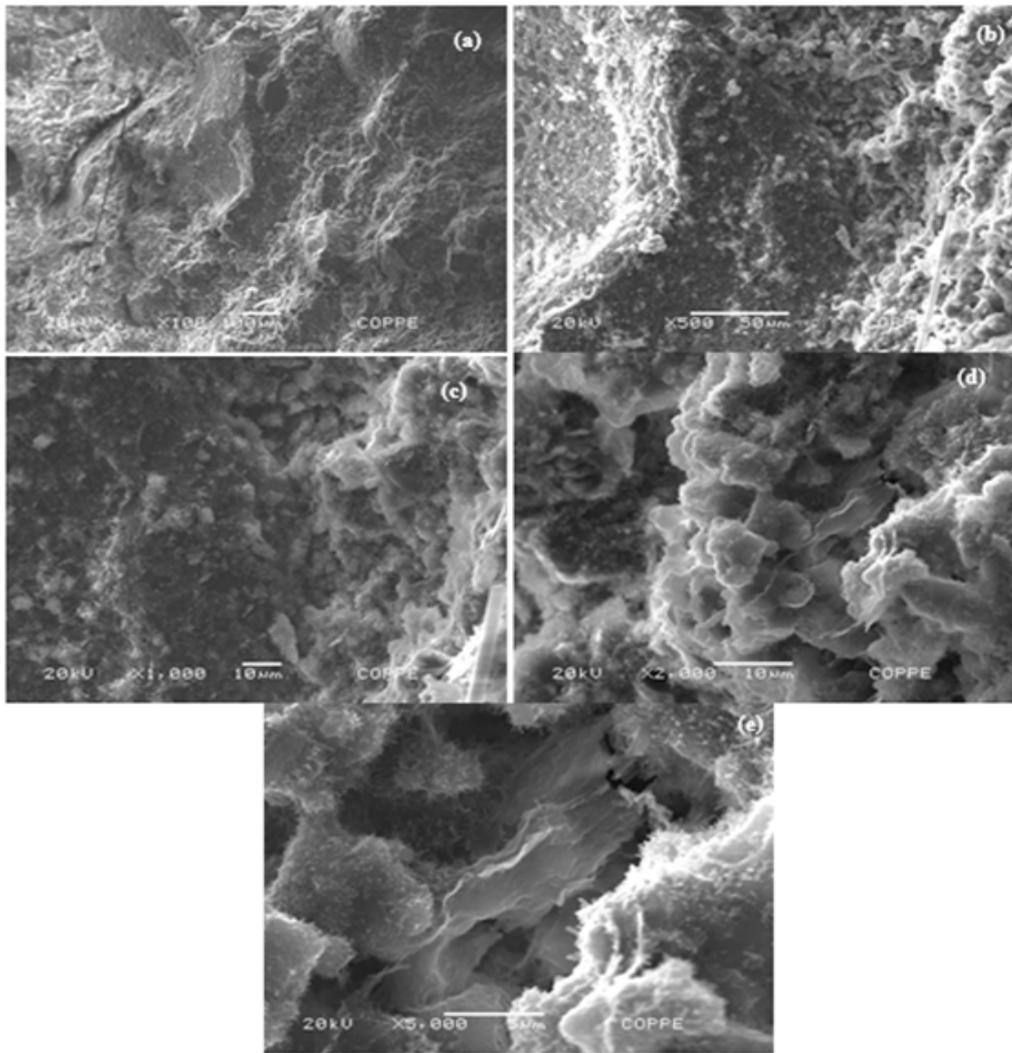


Figura 7. Micrografias do traço de concreto puro com 30% de caco de louça com ampliação em (a) 100X; (b) 500X; (c) 1000X e (d) 2000X e (e) 5000X.

CONCLUSÃO

Por meio dos resultados dos ensaios foi constatado a viabilidade prática do uso do caco de louça como agregado miúdo na composição do concreto de cimento Portland. Sendo o teor ideal identificado de 30% de resíduo em substituição ao agregado miúdo tradicional. Quando incorporado à composição do concreto, nos teores de 10%, 20% e 30%, o rejeito cerâmico não afetou a característica de aglomeração do cimento. A composição contendo 30% de resíduo demonstrou características mecânicas positivas, com resultados superiores quanto a carga suportada, tensão aplicada e módulo elástico, quando comparada ao concreto de cimento Portland tradicional, sem adição de resíduos. Além da antecipação do tempo de pega do concreto.

Estas características de pega e melhoramento do desempenho mecânico são satisfatórias. A presença

dos minerais na argila composta no resíduo cerâmico, quartzo e microclina, promoveram a redução da porosidade da estrutura, fato verificado com o MEV, e a conseqüente redução da fragilidade e aumento da resistência mecânica. Criam também a possibilidade do retorno financeiro através do reconhecimento deste tipo de resíduo como matéria-prima para o concreto, visto que os gastos para destinação adequada deste resíduo são altos. Alguns trabalhos nessa área estão sendo desenvolvidos por este grupo de pesquisa e serão publicados em breve.

Tendo em vista os resultados alcançados nesta pesquisa, algumas aplicações podem ser sugeridas para o concreto com adição do caco de louça, como: o uso em estruturas pré-moldadas, devido à capacidade de aglomeração e resistência; uso em pisos, devido alta resistência à compressão.

A partir da aplicação do resíduo de caco de louça

no concreto de cimento Portland espera-se, além do ganho financeiro da indústria cerâmica, contribuir para redução significativa do impacto ambiental, atuando de forma expressiva em duas vertentes principais: diminuição no acúmulo de resíduos inertes em locais de despejo e redução da exploração mineral para captação de matéria-prima para o agregado miúdo tradicional do concreto de cimento Portland.

LITERATURA CITADA

- AGARWAL, S.K. Pozzolanic activity of various siliceous materials. *Cem. Concr. Res.* v.36, p.1735-1739, 2006.
- ALMEIDA, S. M.; Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de cimento Portland através de ensaios de compressão simples e de frequência ressonante. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739. Concreto –Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- _____. ABNT NBR 5738. Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- _____. ABNT NBR ISO 14001. Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- _____. ABNT NBR 8522. Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- _____. ABNT NBR NM 65. Cimento portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- _____. ABNT NBR 7216. Amostragem de agregados. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- _____. ABNT NBR 7217. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- _____. ABNT NBR 7680. Concreto –Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- CASAGRANDE, M. C., SARTOR, M. N., GOMES, V., DELLA, V. P., HOTZA, D., CAVALCANTE, W. F. V, Aproveitamento de Resíduos Cerâmicos da Indústria de Louça Sanitária para produção de massas para revestimento cerâmico. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 213p., 2005.
- MARIANO, R. M.; Nanocompósitos de borracha natural com celulose II e montmorilonita. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 185p., 2011.
- POPP, J. H. Geologia Geral. 6. ed. Rio de Janeiro : LTC, 2010
- PACHECO, A. A. L.; SOARES, M. C. P.; DOS SANTOS, M. F. M.; SCHENKEL, E. A.; MENDES, B. F.; FUJIWARA E.; SUZUKI, C. K.; Efeito da adição de pó fino de quartzo na trabalhabilidade, resistência e microestrutura do concreto convencional. 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica, p. 840 – 851, 2016.
- RASHAD, A.M.; ZEEDAN, S.R. A preliminary study of blended pastes of cement and quartz powder under the effect of elevated temperature. *Constr. Build. Mat.*, v.29, p.672-681, 2012.
- REIS, A. S.; ALVAREZ, C. E. A sustentabilidade e o resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais. IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. p. 511 - 520, 2007.

SOUZA, L. L. Aproveitamento de resíduo de caulim em cerâmica branca. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

YAJUN, J.; CAHYADI, J.H. Effects of densified silica fume on microstructure and compressive strength of blended cement pastes. *Cem. Concr. Res.* v.33, p.1543-1548, 2003.