

PROPRIEDADES DE CONCRETOS SUBSTITUINDO O AGREGADO MIÚDO POR RECICLADO CERÂMICO E O CIMENTO POR METACAU LIM

GRAZIELLE LEAL^{1*}; DAVID BRANDÃO NUNES²; FRANCISCO CARLOS LOPES BITENCOURTE³; JÉSSICA SEMIRAMES LOPES⁴; MARK ANDERSON MOREIRA E SILVA⁵

¹Graduanda Engenharia Civil, UNINOVAFAPI, Teresina-PI, grazielle-leal@hotmail.com;

²Doutorando em Gerenciamento de Resíduos, UNISINOS, Teresina-PI, davidbrnunes@gmail.com;

³Graduando Engenharia Civil, UNINOVAFAPI, Teresina-PI, carlosbitencourte@gmail.com;

⁴Graduanda Engenharia Civil, UNINOVAFAPI, Teresina-PI, semirameslopes.jessica@hotmail.com;

⁵Mestrando em Materiais, IFPI, Teresina-PI, mark_anderson@hotmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: A busca por uma destinação aos resíduos gerados pelo setor da construção civil tem despertado a relevância de pesquisas relacionadas ao desenvolvimento sustentável na produção de concretos, mantendo suas propriedades. Com isso, o presente trabalho objetivou analisar as propriedades de concretos com substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado cerâmico (ARC) e substituição parcial do cimento por metacaulim (MET). A partir de um traço de concreto estrutural com resistência de 30 MPa foram confeccionados corpos de prova com substituição de 25%, 50%, 75% e 100% de agregado miúdo natural por ARC concomitantemente a substituição de 15% do cimento por MET, em massa. Também foram produzidos os corpos de prova padrão, sem substituições. Realizaram-se os ensaios de abatimento do tronco de cone (Slump Test), absorção de água por imersão, resistência à compressão e à tração por compressão diametral. Concluiu-se que é possível usar as porcentagens de 25% e 50% de ARC, com 15% de MET, mantendo um desempenho satisfatório das propriedades do concreto, contribuindo para redução dos problemas ambientais e melhoramento da qualidade de vida.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento sustentável. Concreto. Agregado reciclado cerâmico. Metacaulim. Propriedades do concreto.

PROPERTIES OF CONCRETE SUBSTITUTION OF THE AGGREGATE BY RECYCLED CERAMIC AGGREGATE AND OF THE CEMENT WITH METAKAOLIN

ABSTRACT: The search for a waste destination generated by the construction sector has awakened the relevance of research related to sustainable development in the production of concrete, maintaining its properties. Therefore, the present work aimed to analyze the properties of concrete with the substitution of the natural aggregate by recycled ceramic aggregate (ARC) and partial replacement of the cement with metakaolin (MET). From a trace of structural concrete with 30 MPa strength, specimens were prepared with replacement of 25%, 50%, 75% and 100% of the natural aggregate by RCA concomitantly with the replacement of 15% of the cement by MET in pasta. Standard test specimens were also produced without substitutions. Slump test, water absorption by immersion, compressive strength and diametrical compression traction were performed. It was concluded that it is possible to use the percentages of 25% and 50% of RCA, with 15% of MET, maintaining a satisfactory performance of concrete properties, contributing to reduce environmental problems and improve the quality of life.

KEYWORDS: Sustainable development. Concrete. Ceramic recycled aggregate. Metakaolin. Concrete properties.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento do setor da construção civil, o consumo de matérias primas para a fabricação de materiais, as emissões de substâncias prejudiciais ao meio ambiente e a geração de resíduos sólidos se intensificaram, provocando mais prejuízos à população e ao ambiente.

Dentre os materiais usados em maior quantidade por esse setor destaca-se o concreto. Entre o ano de 2005 e 2012 o consumo de cimento cresceu mais de 80%, e a produção de concreto em usinas subiu 180% (ABCP, 2012). Isto agrava os impactos ambientais visto que o concreto apresenta o cimento como principal componente. Este tem como matéria prima o clínquer, caracterizado como um pó fino, resultante da calcinação de calcário e argila, que utiliza para queima fornos movidos, normalmente, a petróleo e carvão, emitindo substâncias tóxicas ao meio ambiente (FILHO; SANTI, 2003).

Além disso, dentro da construção civil, o setor ceramista intensificou a quantidade de resíduos gerados em resultado da quebra de peças, irregularidades nas suas dimensões, queima inadequada e deslocamentos a que são submetidas, por exemplo. Sendo considerado como resíduo tanto as peças inteiras que não estão em conformidade para comercialização quanto os fragmentos resultantes da quebra de peças durante o transporte (REDIVO, 2011).

Na tentativa de produzir concretos com melhores propriedades físicas e mecânicas tem crescido a utilização das adições minerais, destacando-se o metacaulim. Por se tratar de uma pozolana com propriedades cimentícias pode ser substituto do cimento em determinadas porcentagens, fornecendo melhorias no desempenho do concreto devido sua elevada área superficial. Além disso, na produção dessa adição mineral, os impactos ambientais são mínimos, já que são gerados apenas vapor de água e areia que é inerte e pode ser usada na própria construção civil (ROCHA, 2005).

Logo, para realização de processos construtivos sustentáveis é preciso manter, satisfatoriamente, as propriedades do concreto e adotar medidas que visem a redução dos desperdícios, reciclagem de resíduos da construção civil com enfoque em minimizar o uso de recursos naturais, garantindo a continuidade das matérias primas no meio ambiente e a utilização de materiais alternativos que gerem menos impactos (CORRÊA, 2009).

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia desta pesquisa foi elaborada de forma a analisar as influências do resíduo cerâmico e metacaulim no comportamento do concreto. Foi verificada uma propriedade do concreto no estado fresco (trabalhabilidade) e as propriedades no estado endurecido (absorção de água por imersão, resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral), utilizando diferentes teores de substituição do agregado miúdo por agregado reciclado cerâmico, mantendo o mesmo percentual de substituição do cimento por metacaulim.

Os materiais utilizados na produção do concreto foram: o cimento CP V-ARI, da marca Cimento Nacional, essa escolha é justificada por este apresentar em sua composição uma porcentagem máxima de 5% de material carbonáceo, de acordo com a Norma Cimento Portland de alta resistência inicial (NBR 5733, 1991); como agregado miúdo natural foi empregada areia quartzosa fina; como agregado graúdo foi empregada brita basáltica 01; água; foi usado o Metacaulim HP Ultra, que tem como composição química o silicato de alumínio, fabricado conforme a NBR 15894/2010; e foram utilizados resíduos cerâmicos, que foram passados pelo moinho e, em seguida, peneirados em uma peneira de 0,8 mm.

O cálculo da dosagem foi feito conforme o método de dosagem da ABCP. Considerou-se o concreto com resistência à compressão característica de 30 MPa, já que este é destinado para uso estrutural; desvio padrão de 4 porque a confecção dos corpos de prova foi feita com o auxílio de um profissional habilitado, com materiais medidos em peso e auxílio de medidor de água. Adotou-se a areia com módulo de finura de 1,8 e o agregado graúdo com diâmetro máximo de 19 mm. Para o abatimento do tronco do cone admitiu-se o intervalo entre 80 e 100 mm, considerando um concreto mais fluído, uma vez que a utilização de ARC e metacaulim tende a elevar a absorção de água do concreto no estado fresco. A Tabela 1 indica o resultado encontrado para essa dosagem, expresso em termos de proporções em massa.

Tabela 1. Dosagem para concreto convencional.

Cimento	Areia	Brita	Água
1,00	1,76	3,10	0,55

O traço apresentado serviu de referência para a análise das alterações causadas pela adição mineral Metacaulim HP e pelo uso de agregado miúdo reciclado, permanecendo inalterada a quantidade de brita.

Foram confeccionados quatro tipos de corpos de prova com as substituições de agregado miúdo natural por ARC nas porcentagens de 25, 50, 75 e 100%, mantendo para cada uma dessas proporções, o percentual de substituição do cimento por metacaulim fixo em 15%. Também foram produzidos corpos de prova de referência com 0% de agregado miúdo reciclado e metacaulim, usado como parâmetro para a comparação. Foram produzidos 75 corpos de prova para realização dos ensaios, descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade de corpos de prova de cada substituição por ensaio.

Porcentagem de agregado miúdo reciclado	Porcentagem de metacaulim	Absorção de água	Resistência à compressão 28 dias	Resistência à tração 28 dias
0%	0%	05	05	05
25%	15%	05	05	05
50%	15%	05	05	05
75%	15%	05	05	05
100%	15%	05	05	05
TOTAL DE CORPOS DE PROVA POR ENSAIO		25	25	25

Estas porcentagens foram assim determinadas para verificar o comportamento do concreto com o aumento da quantidade de agregado miúdo reciclado e também em virtude de o concreto apresentar com essa taxa de substituição do cimento por metacaulim significativas melhorias em suas propriedades mecânicas e, com essa proporção de metacaulim, pretende-se anular os efeitos negativos causados no concreto pela utilização de ARC no tocante a essas propriedades. O concreto foi produzido segundo a metodologia descrita na NBR 12655/2015 e a moldagem, adensamento e cura dos corpos de prova foram realizados como explicado na NBR 5738/2015.

O ensaio da trabalhabilidade do concreto foi determinado por meio do Slump Test, descrito na NBR NM 67/1998. O ensaio de absorção de água foi feito conforme a NBR 9778/2005 e realizado em 05 corpos de prova por substituição e também nos de referência, totalizando 25 amostras. O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo a NBR 5739/2007, foram ensaiados 05 corpos de prova para cada tipo de substituição, com 28 dias, para verificar o seu comportamento quando comparado ao concreto de referência, resultando em 25 corpos de prova. Assim como no ensaio de resistência à compressão, foram utilizados 05 corpos de prova para cada tipo de substituição e para o convencional, totalizando 25 corpos de prova para rompimento com 28 dias, sendo feito como descrito na NBR 7222/2011.

Nesse trabalho, foram realizadas análises estatísticas, pois, segundo Muniz (2013): a estatística é um conjunto de métodos matemáticos que permite organizar e analisar dados e informações. E a análise estatística auxilia a quantificar e minimizar as incertezas das medidas. Assim, utilizou-se o Test T, o desvio padrão e a média. A Tabela 3 apresenta a análise estatística que foi realizada em cada ensaio.

Tabela 3. Análise estatística aplicada em cada ensaio.

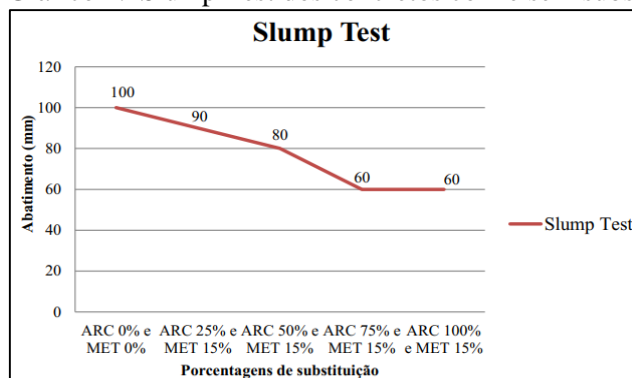
Ensaio	Análise Estatística
Slump Test	Nenhuma
Absorção de água por imersão	Test T Desvio Padrão
Resistência à compressão	Test T Desvio Padrão
Resistência à tração por compressão diametral	Test T Desvio Padrão

No ensaio do Slump Test não foi realizado trabalho estatístico porque todos os corpos de prova de uma mesma substituição foram confeccionados utilizando uma única betonada. Logo, foi retirada uma amostra da betoneira, referente a cada percentual, e realizado o ensaio. Nos demais foram feitos o Test T e o desvio padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o acréscimo de água nos traços com substituições, os valores encontrados no Slump Test, em milímetros, estão expostos no Gráfico 1.

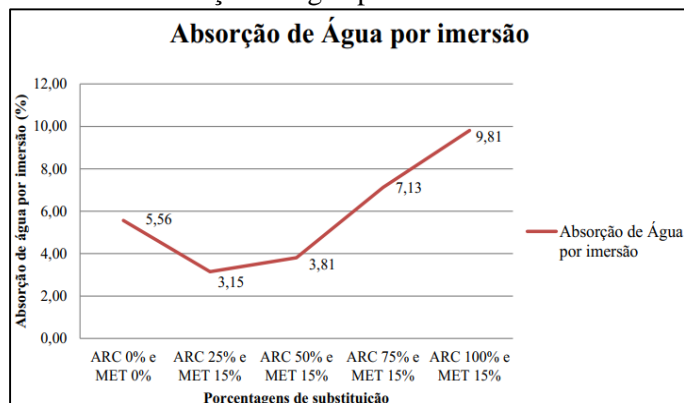
Gráfico 1. Slump Test dos concretos com e sem substituição.



Observou-se que os concretos com substituições tiveram um abatimento menor quando comparado à amostra sem substituições, ou seja, a trabalhabilidade do concreto foi prejudicada com o aumento da porcentagem de substituição, mesmo com a água de amassamento sendo compensada. A utilização das proporções de 75% e 100% de ARC, com 15% de MET, não é recomendada em virtude do acréscimo excessivo de água.

No ensaio de absorção de água por imersão do concreto constata-se que nos corpos de prova com substituições houve o aumento da absorção de água conforme se elevou a proporção de ARC. Também se observou-se que o concreto convencional teve absorção de água superior aos concretos que utilizaram 25% e 50% de material cerâmico, mantendo, em ambos, 15% de metacaulim, como representado no Gráfico 2.

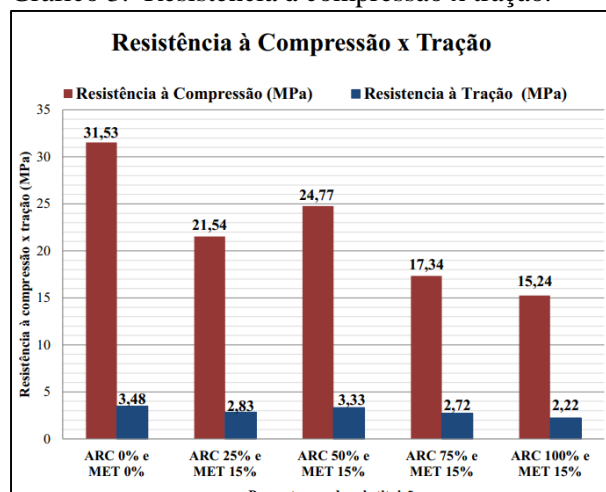
Gráfico 2. Absorção de água por imersão.



Constatou-se que nos corpos de prova com substituições houve o aumento da absorção de água conforme se elevou a proporção de ARC. Também se observou que o concreto convencional teve absorção de água superior aos concretos que utilizaram 25% e 50% de material cerâmico. Com os resultados encontrados aplicou-se o Test T para duas amostras e também se calculou o desvio padrão para cada proporção de substituição e para o concreto convencional, com isso constatou-se que o resultado se encontra na área crítica. Em consequência, é possível afirmar, com confiança de 95% e significância de 5%, que as populações são diferentes. Em relação ao desvio padrão de cada substituição, observa-se que este apresentou valores baixos, o que pode indicar que não houve variação acentuada entre os resultados de absorção das 05 amostras de cada proporção em relação à média.

Os resultados do rompimento apresentados no Gráfico 3 correspondem a média dos valores obtidos da resistência à compressão axial dos corpos de prova x a tração para cada percentual de substituição.

Gráfico 3. Resistência à compressão x tração.



Por meio da análise desse gráfico verifica-se que o concreto convencional obteve resistência à compressão superior a resistência de dosagem para 28 dias. Quanto aos concretos com substituições de 25, 50, 75 e 100% de ARC, com 15% de MET, constatou-se que todos apresentaram resistência inferior ao concreto de referência nas proporções de 31,68; 21,44; 45 e 51,67%, respectivamente.

Baseado nesse gráfico é possível observar também que o concreto seguiu comportamento semelhante aos resultados obtidos no ensaio de resistência à tração. O concreto convencional apresentou a maior resistência e, entre as substituições, o valor mais alto alcançado foi com 50% de ARC e 15% de MET. Com as porcentagens superiores a esta houve um declínio da resistência.

Assim como no ensaio de absorção de água, o Test T foi usado para comparar o concreto de referência com cada substituição, tendo como resultado de 95% confiança e de 5% significância. Quanto ao desvio padrão de cada substituição para os dois ensaios, observa-se que não houve grande dispersão entre os resultados das 05 amostras de cada proporção em relação à média.

CONCLUSÃO

Com os resultados encontrados é possível constatar que a utilização do ARC e substituição parcial do cimento por MET é uma solução viável, dependendo da porcentagem de substituição, visto que, para algumas proporções, os concretos confeccionados apresentaram desempenho satisfatório e ainda contribuem para redução dos problemas ambientais oriundos desse setor, como emissão de substâncias prejudiciais ao meio ambiente e destinação incorreta dos resíduos.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto.
- Corrêa, L.L.; Sustentabilidade na construção civil. Minas Gerais, 2009. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais.
- Filho, A.O.S.; Santi, A.M; M.; Os Princípios da Prevenção e da Segurança Química diante de novos riscos: uso de resíduos industriais na fabricação de cimento. XXIII Encontro Nac. de Eng. De Produção. Ouro Preto, 2003.
- Muniz, S.R.; Introdução à Análise Estatística de Medidas. Fundamentos da Matemática II. Licenciatura em Ciências. Módulo II. USP/UNIVESP. 2013.
- Redivo, I.M.; Utilização de resíduo de cerâmica vermelha em misturas com solo para construção de camadas de pavimentos com baixo volume de tráfego. Florianópolis, 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- Rocha, G.G.N.; Caracterização microestrutural do metacaulim de alta reatividade. Belo Horizonte, 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais.