

Estudo Comparativo da Utilização de Resíduo Cerâmico, como Agregado Graúdo, na Produção de Concreto

Ruan Landolfo^{a*}, Marília Pereira de Oliveira^a, Núbia Alves de Souza Nogueira^a

^aLaboratório de Ensaios de Materiais – LEMAT, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Mossoró, RN, Brasil

**e-mail: ruan_landolfo@hotmail.com*

Resumo: A indústria de cerâmica vermelha é uma das mais antigas do mundo, sendo responsável pela produção de uma grande variedade de materiais, como telhas, tijolos, lajotas, tubos, blocos e outros. Durante o processo de fabricação desses componentes, ocorrem perdas que, por consequência, originam os resíduos de cerâmica vermelha, que, normalmente não tem destino adequado. Diagnósticos acerca dessa problemática apontam que a quantidade gerada é significativa e que existe potencial para sua reciclagem/reutilização na construção civil. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo principal analisar a utilização do resíduo cerâmico como substituto parcial e total do agregado graúdo natural de rocha calcária e granítica na produção de concreto. A coleta dos resíduos foi feita nas áreas de destino final em uma indústria cerâmica localizada no município de Assú/RN. Após coletados, foram submetidos ao processo de beneficiamento, pelo qual foi feita a britagem manual de toda a amostra, reduzindo todo o material em partículas de tamanho adequado para o uso como agregado graúdo. Posteriormente, foi feito o quarteamento e redução dos materiais para realização dos ensaios de caracterização física dos agregados. Os agregados reciclados de cerâmica vermelha apresentaram diferenças significativas com relação aos agregados naturais, destacando-se a massa específica menor e a absorção de água muito elevada. Os concretos foram comparados no estado fresco, através do ensaio de abatimento de tronco de cone, onde verificou-se que a consistência e a trabalhabilidade são afetadas pelas características físicas dos agregados, tais como forma e textura. As propriedades do estado endurecido, como resistência à compressão axial e velocidade de propagação de onda ultrassônica também foram avaliadas comparativamente. Os concretos com agregado reciclado apresentam velocidades de onda e resistência mecânica mais baixas do que os concretos com agregados naturais, no entanto, os resultados apontam a viabilidade de sua utilização.

Palavras-chave: *agregado graúdo, concreto, resíduo de cerâmica vermelha.*

1. Introdução

Atualmente, os grandes eventos esportivos que acontecem no Brasil e especialmente os incentivos governamentais para a criação de programas de habitação e infraestrutura aquecem a indústria da construção civil. Nesse sentido, o segmento de cerâmica vermelha é de grande importância, haja vista que esse segmento, juntamente com outras indústrias, como as de cerâmica de revestimento, sanitários, indústria cimenteira e vidreira, fazem parte do conjunto da cadeia produtiva que compõe o complexo da construção civil¹.

A indústria de cerâmica vermelha ou cerâmica estrutural é uma das mais antigas do mundo, seu processo de produção é feito através de etapas que, de modo geral, vão desde a extração da matéria prima, à conformação das peças e a calcinação destas². Esse processo dá origem aos produtos que se caracterizam pela cor vermelha de suas peças, representados por uma grande variedade de materiais, como tijolos, blocos, telhas, tubos, lajotas, vasos ornamentais, agregados leves de argila expandida e outros³.

Durante seu processo de fabricação, ocorrem perdas, que dão origem aos resíduos cerâmicos que normalmente não possuem um destino adequado, ocasionando, assim, um grande volume de resíduos sólidos produzidos. Em especial no Rio Grande do Norte, e mais especificamente na microrregião do Vale do Assú, são produzidos mensalmente cerca de duas mil toneladas de resíduos cerâmicos, onde o principal destino dado a esses é o entrono das fábricas, permanecendo nesse local até que sejam destinados à venda ou doação para recuperação de estradas⁴.

Embora esses resíduos sejam considerados inertes, surge a necessidade de buscar novas aplicações e desenvolver tecnologias que resultem em um descarte adequado e sustentável⁵, haja vista que esses

resíduos, segundo a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)⁶, são reutilizáveis ou recicláveis.

Dessa forma, a geração de resíduos oriundos das atividades dos seres humanos tem sido um dos principais motivos de preocupação da atual sociedade. O grande desperdício, o esgotamento dos recursos naturais, o impacto ambiental e a necessidade de recursos financeiros para a gestão de resíduos justificam ações na busca de soluções a fim de um ambiente mais sustentável^{7,8}.

No contexto de buscar novas alternativas para os resíduos cerâmicos, pesquisas estão sendo desenvolvidas, com o objetivo de inserir resíduos indústrias como alternativa de preservação e economia, possibilitando um destino mais digno e sustentável aos resíduos cerâmicos, evitando que os mesmos sejam depositados em aterros⁹.

Em virtude da grande relevância das questões ligadas à preservação do meio ambiente e da qualidade de vida, surge a necessidade de buscar novos conceitos e soluções dentro de uma visão de sustentabilidade e comprometimento com a questão ambiental. Sendo assim, a reciclagem e o aproveitamento dos resíduos constituem-se como preocupação nacional, e mesmo mundial; um exemplo disso é que um dos maiores problemas da sociedade moderna é a destinação final dos resíduos sólidos urbanos¹.

Face ao grande desperdício da indústria de cerâmica vermelha, bem como à destinação inadequada dos rejeitos produzidos e a grande escassez dos recursos naturais, busca-se, através deste trabalho, estudar a viabilidade da substituição do agregado natural por agregados reciclados de cerâmica vermelha na produção de concreto de cimento Portland. Portanto, fica evidente a importância

da reciclagem/reutilização, haja vista essa problemática constituir uma atividade não sustentável. A viabilidade desta pesquisa sugere um caminho para indústria da construção civil bastante compatível com a conotação sustentável, pois promove impacto positivo no meio ambiente, provocado pela retirada de resíduos que são descartados inadequadamente na natureza e, portanto, permitirá visualizar importantes ganhos ambientais, sociais e econômicos para região.

2. Objetivos

Analisar e comparar a viabilidade de utilização de resíduos de cerâmica vermelha para a produção de agregado reciclado, especificamente a fração graúda, como substituto do agregado natural de rocha granítica e calcária na produção de concreto de cimento Portland.

3. Programa Experimental

3.1. Materiais

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI-RS), fabricado pela empresa MIZU e normatizado pela NBR 5733:1991¹⁰.

O agregado miúdo (areia) utilizado na produção dos concretos para o presente trabalho foi oriundo do município de Assú/RN. A areia foi coletada na condição de lavada foi posta para secar ao ar livre em temperatura ambiente e posteriormente submetida ao peneiramento em malha 4,8 mm a fim de se obter apenas a fração miúda do conteúdo. Após este procedimento, o referido material permaneceu armazenado até ser submetido a ensaios de caracterização. A partir do ensaio de análise granulométrica da areia, foi possível determinar algumas características físicas deste agregado, como dimensão máxima de 4,75 mm, módulo de finura de 2,93, massa unitária de 1,43 kg/dm³ e massa específica de 2,621 kg/dm³, conforme a NBR NM 52 (2009)²⁶. O agregado miúdo utilizado é, portanto, segundo a NBR 7211:2009¹¹, classificado como areia média, pertencente à zona utilizável superior.

Foram utilizados três tipos de agregados graúdos, sendo: granítico, calcário e resíduo cerâmico, com dimensão máxima de 19 mm. Os resíduos de cerâmica vermelha (RCV) (Figura 1a), provenientes das perdas que ocorrem durante o processo de fabricação dos componentes, como tijolo, telha e lajota. Os RCV, foram oriundos da cidade de Assú/RN. Após coletados foram submetidos ao processo de beneficiamento, no qual foi feito a britagem manual de toda a amostra, reduzindo todo material em partículas de tamanho adequado para o uso como agregado graúdo, dando origem aos agregado reciclado de cerâmica vermelha (ARCV) (Figura 1b). A fim de evitar a lamelalidade e a microfissuração na zona de transição entre o agregado e pasta de cimento, os agregados foram limitados a uma dimensão máxima de 19 mm e, posteriormente, as dimensões relativas a brita 1, isto é, 9,5 à 19 mm. Após este procedimento, os ARCV foram secos em estufa e em seguida foram armazenados até serem submetidos aos ensaios de caracterização.

A água utilizada na produção dos concretos foi potável, proveniente da rede de distribuição que abastece a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, campus Mossoró/RN.

3.2. Métodos

3.2.1. Amostragem e redução dos agregados

Foi realizada a amostragem dos materiais, com base na NBR NM 26:2009¹², onde foram coletados 3 amostras de 25 kg de cada agregado graúdos, devidamente identificadas e armazenadas. Posteriormente foi realizado a redução das amostras por quartejamento com base na NBR NM 27:2001¹³ até a obtenção da quantidade de material necessária para realização de cada ensaio.

3.2.2. Caracterização física dos agregados

A caracterização física dos agregados foi feita com base nas especificações prescritas nas NBR 7211:2009¹¹, que preceitua informações sobre os agregados para concreto. Os ensaios de caracterização realizados em cada material estão descrito na Tabela 1.

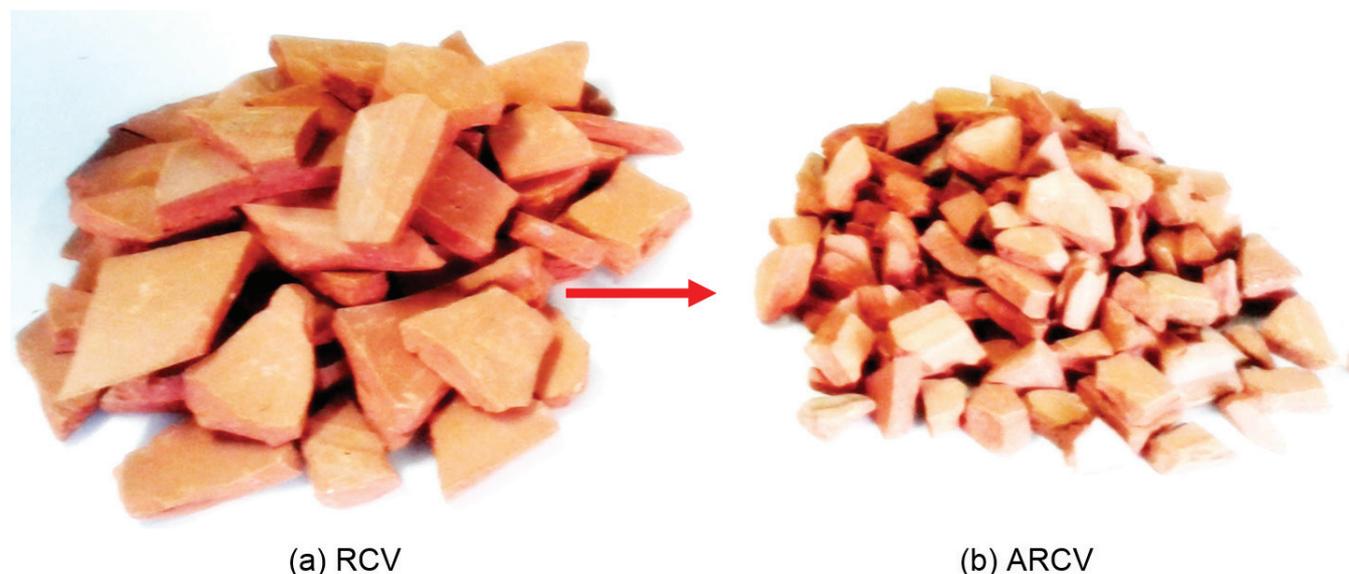


Figura 1. Beneficiamento do material. Fonte: Arquivo pessoal (2014).

Tabela 1. Caracterização dos agregados graúdos.

Quanto às dimensões	Título – NBR
Agregado graúdo	Agregados – Determinação da composição granulométrica: NBR NM 248:2003 ¹⁴
	Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio: NBR 7809:2006 ¹⁵
	Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios: NBR NM 45:2006 ¹⁶
	Agregado graúdo – Determinação da massa específica aparente a absorção e água: NBR NM 53:2009 ¹⁷

3.2.3. Dosagem do concreto

A dosagem pode ser definida como o processo de seleção dos componentes adequados e a determinação de suas proporções com o intuito de produzir um concreto econômico, que tenha algumas propriedades mínimas, particularmente trabalhabilidade, resistência e durabilidade¹⁸. Essa proporção adequada pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferencial e sempre mais rigorosa a proporção expressa em massa seca de materiais¹⁹.

Bicca⁸, estabeleceu que para um adequado preenchimento dos vazios com coesão da mistura, seria necessário utilizar um teor de argamassa de 63% e uma proporção em massa de 1: 2,78:2,22 (cimento, areia e brita, respectivamente) e relação água/cimento de 0,54. O autor cita ainda que a escolha dessa proporção deu-se em função deste teor conferir a mistura uma maior plasticidade para um maior consumo possível de agregado graúdo, mantendo a mistura coesa. Dessa maneira, optou-se utilizar o traço proposto por Bicca⁸, e portanto, foi confeccionado cinco traços: com agregado graúdo brita granítica (BG), calcária (BC) e o ARCV (com proporção de substituição de 50 e 100%).

A execução das misturas, para a produção do concreto, tanto com o emprego do agregado de RCV quanto com os agregados naturais (granítica e calcária) foram efetuadas de forma mecânica, com o auxílio de uma betoneira com capacidade de 400 litros. Cabe ressaltar que os agregados foram lavados e em seguida secos em estufa antes da sua utilização.

3.2.4. Propriedades do concreto no estado fresco

A consistência é uma das principais características do concreto que possibilita o seu manuseio. Na tecnologia do concreto, essa propriedade pode ser definida como a maior ou menor capacidade do concreto se deformar sob a ação do seu próprio peso². A consistência do concreto no estado fresco foi analisada segundo a NBR NM 67:1998²⁰ que determina a consistência do concreto fresco através do abatimento do tronco de cone.

3.2.5. Moldagem e cura dos corpos de prova

Constatou-se que não foi possível, a princípio, realizar a moldagem dos corpos-de-prova dos concretos com ARCV, uma vez que houve aderência de argamassa nas paredes da betoneira e a formação de pelotas de cimento, que só desmancharam com o acréscimo de água. Dessa maneira, além da água de absorção ter sido compensada, foi adicionado cerca de 20% de água com o intuito de melhor a consistência e a trabalhabilidade da mistura, o que alterou a relação água/cimento. Essa alteração é justificável, tendo em vista que, segundo Bicca⁸, o ARCV absorve cerca de 90% da água dentro de dois minutos e o tempo de amassamento foi cerca de 5 minutos. Sendo assim, após a adição de água foi possível moldar os corpos-de-prova de acordo com as prescrições da NBR 5738 (2003)²⁷.

Após o período de 24 horas, os corpos-de-prova foram desmoldados e submetidos à cura por imersão em água durante 7 e 28 dias.

3.2.6. Propriedades do concreto no estado endurecido

Velocidade de propagação de onda ultrassônica

Realizou-se o teste de velocidade de onda ultrassônica de acordo com a NBR 8802:2013²¹. Os corpos-de-prova foram submetidos à medição do tempo de propagação da onda ultrassônica durante os 28 dias de cura. Para tal, foi utilizado o aparelho denominado Ultrasonic Velocity Tester, da marca PUNDIT.

Antes da realização do ensaio, foi necessário regularizar a superfície dos corpos-de-prova através do uso de uma máquina retificadora, com o intuito de possibilitar bom acoplamento com os transdutores, assim como específica o item 4.1.2 da NBR 8802:2013²¹.

Resistência à compressão axial

Uma das principais propriedades do concreto em seu estado endurecido é a resistência à compressão. A NBR 5739:2007²² (*Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*) determina o procedimento utilizado para o ensaio de resistência à compressão axial do concreto.

Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios nas idades de 7 e 28 dias. Posteriormente, foi realizado o rompimento dos corpos-de-prova, efetuado com o emprego de uma prensa servo-hidráulica, da marca EMIC.

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos agregados graúdos

Os agregados foram submetidos ao peneiramento individualmente, para a obtenção da distribuição granulométrica, módulo de finura (M_p) e a dimensão máxima característica (ϕ_{max}). É importante que a distribuição granulométrica entre os materiais sejam o mais semelhante possível, o que pode ser verificado pelos resultados apresentados na Tabela 2 e na Figura 2.

Os agregados apresentam características semelhantes no que se refere distribuição granulométrica. No entanto, o ARCV apresenta módulo de finura superior aos agregados naturais, isto deve-se ao fato desses agregados possuírem alto teor de materiais pulverulentos. A Figura 2 apresenta a distribuição granulométrica dos ARCV.

Outra propriedade analisada dos agregados graúdos foi índice de forma, cuja representação é feita pela razão entre o comprimento e a espessura dos agregados graúdos com dimensão máxima característica maior que 9,5 mm, como prescreve a NBR 7809:2006¹⁵. Os resultados do ensaio de índice de forma são apresentados na Tabela 3.

Dessa forma, os agregados graúdos utilizados atendem aos limites prescritos na NBR 7211:2009¹¹, uma vez que o índice de forma dos agregados não deve ser superior a três.

Além da forma dos agregados, foram analisadas as massas unitárias, massas específicas e absorção. A massa específica é muito importante para a dosagem do concreto, pois através de sua determinação é possível calcular o consumo de materiais a serem utilizados na produção das misturas. Já para tecnologia do concreto a massa unitária é útil para conversão de traços em massa para traços em volume, e ainda seu valor tem utilidade na determinação da porosidade do agregado²³. Os resultados da massa unitária, massa específica e absorção dos agregados apresentados na Tabela 4.

Tabela 2. Distribuição granulométrica dos agregados graúdos.

Agregado	% Retida acumulada								$\varnothing_{máx}$ (mm)	M_f
	Abertura da malha em (mm)									
	19	12,5	9,5	6,3	4,75	2,36	1,18	Fundo		
ARCV	13,2	84,5	94,4	99,3	99,7	99,7	99,7	100	19	7,06
BC	3,6	66,6	77,6	90,6	94,5	94,5	94,5	100	19	6,48
BG	3,2	63,7	78,8	95,6	98,9	98,9	98,9	100	19	6,76

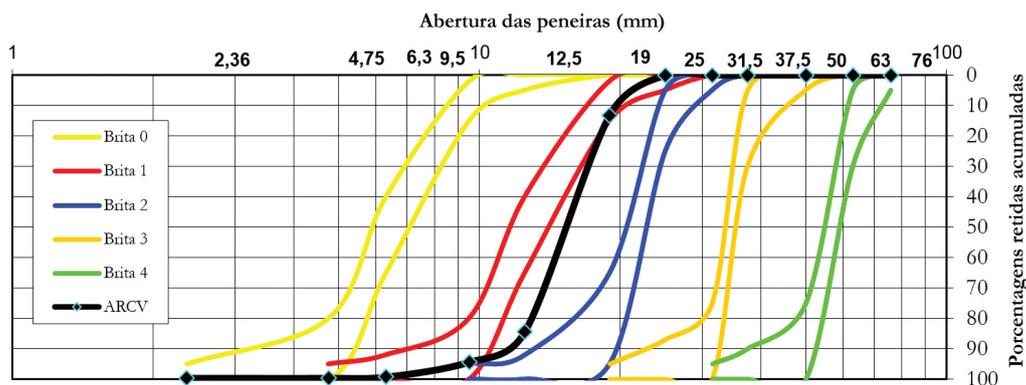


Figura 2. Curva granulométrica do ARCV. Fonte: Arquivo pessoal (2014).

Com base nos resultados apresentados, percebe-se os ARCV apresentam menores massas específicas e massas unitárias que as dos agregados naturais. Dessa forma, assim como descreve Fonseca²⁴, há necessidade da compensação das massas de material reciclado a serem utilizadas os traços de concreto, para que não se obtenham diferenças muito grandes nos volumes dos materiais.

Outra propriedade muito importante para ser avaliada na produção do concreto é a absorção dos agregados, que está diretamente ligada com a quantidade de poros. De acordo com os resultados, pode-se aferir a grande capacidade de absorção do ARCV, que é cerca de duas vezes maior que a absorção da BC e 10 vezes maior que BG. Conseqüentemente, os RCV são materiais mais porosos do que os agregados naturais e, portanto, necessitam de mais água para o amassamento do concreto. É possível, também, presumir que quanto menor for o grão do ARCV, maior a absorção, devido a sua maior área específica.

À vista disso, em função do grau de absorção, da porosidade e da baixa densidade, os agregados reciclados tendem a absorver a água mais rapidamente, e portanto, é necessários alguns minutos para serem umedecidos.

4.2. Propriedades do concreto

4.2.1. Estado fresco

Com o objetivo de aferir a consistência e a trabalhabilidade, foi realizado o ensaio de consistência do concreto fresco. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Cabe ressaltar que as propriedades do concreto dependerão da relação água/cimento efetiva, isto é, a água de amassamento menos a água absorvida pelo agregado. Dessa maneira, o agregado utiliza alguma parte da água para alcançar a condição saturado superfície seca no momento da mistura¹⁸.

Foi constatado que, quanto maior o grau de absorção do agregado graúdo, menor será a trabalhabilidade e, conseqüentemente, menor a consistência do concreto fresco, sendo que nos concretos com ARCV e BC houve um aumento da consistência, e com ARCV e BG houve um pequeno decréscimo. Nesse contexto, a consistência

Tabela 3. Resultado do ensaio de índice de forma.

Agregado graúdo	ARCV	BC	BG
Índice de forma	2,23	2,12	2,21

Tabela 4. Massa unitária, massa específica e absorção dos agregados graúdos.

Agregados	Massa unitária (kg/dm ³)	Massa específica (kg/dm ³)	Absorção (%)
ARCV	1,10	2,00	10,03
BC	1,33	2,41	5,35
BG	1,35	2,62	0,88

Tabela 5. Consistência do concreto.

% de substituição	Consistência (mm)
100% ARCV	10
100% BC	20
100% BG	45
50% ARCV – 50% BC	45
50% ARCV – 50% BG	40

dos concretos foi afetada pela absorção dos agregados, sendo essa alteração maior nos concretos com ARCV, uma vez que, quanto maior a sua porosidade, maior será o grau de absorção e, conseqüentemente, de mais água a mistura necessitará.

Verificou-se, ainda, que, para todos os concretos produzidos, a consistência é classificada como firme, isto é, varia de 2 a 5 cm e que, segundo o manual da ACI²⁵, concretos com essa consistência podem ser utilizados em diversos tipos de construções, dentre elas, paredes de fundação, pilares, vigas, lajes, pavimentos e etc.

Algumas características dos agregados como textura rugosa e forma angulosa devem ter exercido influência preponderante sobre a trabalhabilidade, uma vez que essas características têm a capacidade de provocar maior travamento, diminuindo a mobilidade entre as partículas da mistura de concreto²⁴.

O grande fator que determinou os resultados foi a grande capacidade de absorção dos ARCV, sendo este um fator importante para o amassamento do concreto, uma vez que a retirada da água da mistura promovida pelo agregado altera algumas propriedades do concreto no estado fresco, como a consistência e a trabalhabilidade. E conseqüentemente, irá afetar o lançamento do concreto.

4.2.2. Estado endurecido

Velocidade de propagação de onda ultrassônica

A Tabela 6 apresenta os resultados da velocidade de propagação de onda ultrassônica obtida para cada tipo de concreto produzido.

Ao analisar os resultados obtidos na Tabela 6, percebe-se que, dos concretos em proporção de substituição de 100%, o que obteve menor média de velocidade de propagação de onda foram os produzidos com ARCV, sendo esse parâmetro cerca de 14 e 19% menor que os concretos produzidos com agregados naturais de rocha calcária e granítica, respectivamente. Com substituição de 50%, foi possível constatar que os ARCV influenciam na diminuição da velocidade de propagação da onda, cujo decréscimo gira em torno de 8 e 9% em relação aos concretos de BC e BG, respectivamente.

Com base na Figura 3, pode-se aferir que os concretos com ARCV apresentam velocidades de propagação inferiores aos concretos de

BC e BG e, à medida que diminui o percentual de substituição, isto é, de 100% para 50%, as velocidades de propagação de onda dos concretos com BC e BG tendem a aumentar em relação ao concreto com 100% de ARCV e a diminuir em relação a proporção de 100% dos concretos com BC e BG.

Pode-se, então, atribuir a diminuição da velocidade de propagação de onda ao fato de o agregado reciclado ser poroso. No caso de 50% ARCV-BG, essa velocidade aumentou devido à presença da brita granítica.

De modo geral, a compactidade do concreto cresce com o aumento da velocidade de propagação de onda ultrassônica e vice-versa. Sendo assim, pode-se aferir que os concretos com maior capacidade de serem compactados/adensados, isto é, com maiores velocidades de onda, possuem menor índice de vazios e possivelmente, serão mais resistentes.

Resistência à compressão axial

Comparam-se as resistências à compressão dos concretos com agregado graúdo natural com os concretos que tiveram substituição de 50 e 100% de brita (granítica e calcária) pelo ARCV. Os resultados referentes ao ensaio de resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias estão apresentados na Tabela 7.

Comparando os resultados médios obtidos (Tabela 7), observa-se que os concretos com substituição de 100%, os ARCV, aos 7 dias, apresentam decréscimo na resistência, sendo um percentual de cerca de 9 e 22% comparados com os concretos de referência, isto é, de BG e BC, respectivamente. Aos 28 dias, esse percentual ficou em torno de 12 e 23%. Dessa forma, nota-se que os percentuais de decréscimo de resistência, tanto aos 7 dias como aos 28, são praticamente os mesmos.

Em relação aos concretos com substituição parcial (50%), aos 7 dias, apresentaram diminuição da resistência em torno de 6 e 15% em relação aos concretos com 100% de BG e BC, respectivamente. Aos 28 dias, os concretos com BG apresentaram decréscimo de 21%, no entanto, os concretos com BC apresentaram um pequeno aumento de cerca de 0,1%.

Sendo assim, é possível aferir, com base nos resultados e no gráfico apresentado na Figura 4, que o ARCV influenciam na diminuição da resistência dos do concretos de referência, aos 7 e 28 dias de idade.

Portanto, os ARCV possuem grande influência sobre a resistência do concreto, uma vez que, segundo Mehta e Monteiro²³, em concretos com agregados reciclados, além da porosidade da matriz de cimento e da zona de transição, existe também a porosidade do próprio agregado.

Fonseca²⁴ cita que, possivelmente, o aumento da relação água/cimento efetiva, a menor resistência do ARCV e a menor resistência

Tabela 6. Velocidade de propagação de onda ultrassônica dos concretos.

% de substituição	Velocidade de propagação de onda ultrassônica (m/s)
100% de ARCV	3915,33
100% de BC	4534,67
100% de BG	4815,00
50% de ARCV-BC	4193,00
50% de ARCV-BG	4388,67

Tabela 7. Resultado do ensaio de compressão axial aos 7 dias de cura.

% de substituição	Média da resistência à compressão axial (MPa)	
	7 dias	28 dias
100% de ARCV	19,93	25,98
100% de BC	21,83	29,58
100% de BG	25,54	33,91
50% de ARCV-BC	18,49	29,60
50% de ARCV-BG	24,08	26,79

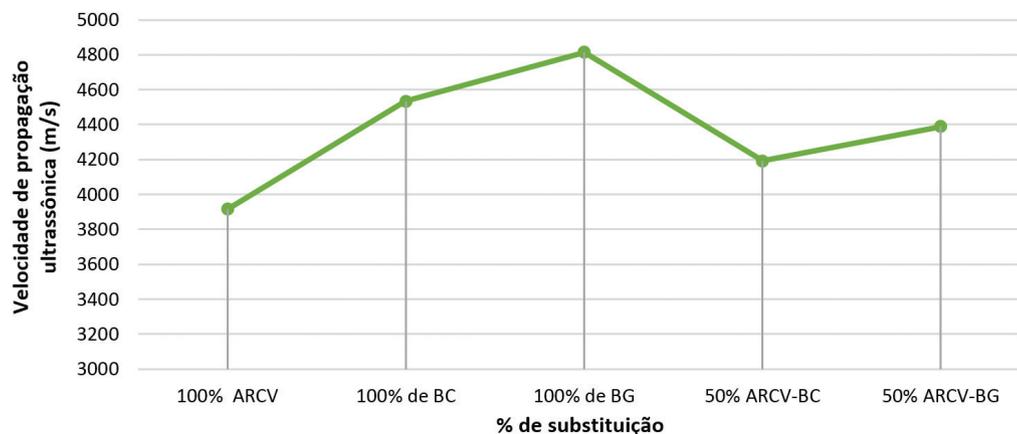


Figura 3. Porcentagem de substituição x velocidade de propagação da onda. Fonte:Arquivo pessoal (2014).

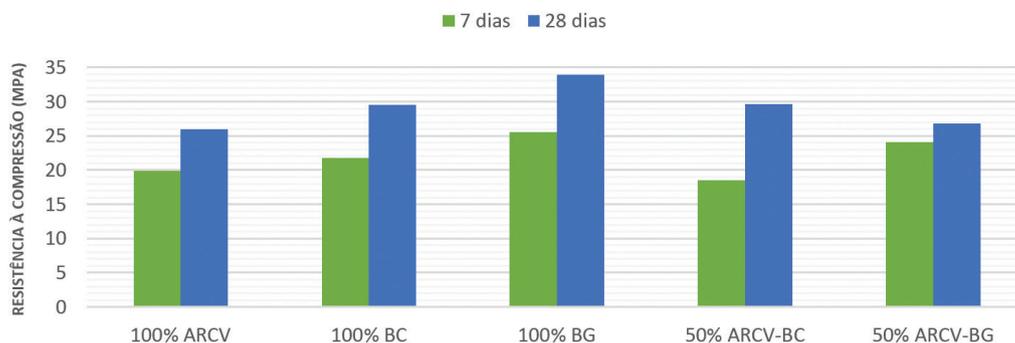


Figura 4. Ensaio de compressão axial aos 7 e 28 dias de cura.



Figura 5. Forma dos ARCV antes do ensaio de resistência à compressão. Fonte: Arquivo pessoal (2014).

da pasta-agregado, devem ter colaborado para a redução sistemática da resistência dos concretos em relação aos de referência.

Acredita-se, então, que, além da relação água/cimento, grandeza inversamente proporcional à resistência, a porosidade do agregado desempenha um importante papel na resistência do concreto, sendo que, quanto mais poroso o agregado for, de mais água a mistura necessitará para a realização do amassamento e, conseqüentemente, menor será a resistência do concreto.

Outra possível causa para a redução da resistência à compressão dos concretos com ARCV é a forma do agregado graúdo (Figura 5). Por ser mais angular que os agregados graúdos naturais, não proporciona uma eficiente mistura, produzindo, assim, concretos com maior quantidade de vazios, logo, menos resistentes.

Além da textura e forma dos ARCV, possivelmente, o teor de material pulverulento presente nos ARCV ocasionou a diminuição da resistência, uma vez que a ligação entre a pasta e o agregado graúdo é afetada pela diminuição da aderência. Sendo assim, com a diminuição da aderência da ligação entre a pasta e o agregado graúdo há, um decréscimo na resistência à compressão do concreto.

Dessa maneira, percebe-se que o ARCV influencia na diminuição da resistência do concreto, quando comparado com os agregados

naturais de rocha granítica e calcária. No entanto, os resultados apontam para a viabilidade da utilização dos ARCV, tendo em vista a sua resistência obtida.

5. Conclusões

O objeto geral desse trabalho foi analisar a viabilidade de utilização de resíduos de cerâmica vermelha para a produção de agregado reciclado, especificamente a fração graúda, como substituto do agregado natural de rocha granítica e calcária na produção de concreto de cimento Portland. Partindo dessa assertiva e com os resultados obtidos, conclui-se que:

- Os ARCV apresentam propriedades físicas que influenciam diretamente na qualidade do concreto, dentre elas, a massa específica e absorção/porosidade;
- No estado fresco, a consistência e trabalhabilidade foram afetadas com mais significância nos concretos com ARCV em função do grande grau de absorção desses agregados, sendo necessário compensar a água de absorção. Com substituição total a consistência é diretamente influenciada pela porosidade do agregado, sendo esta propriedade inversamente proporcional a consistência do concreto. Com substituição parcial, há um aumento da consistência nos concretos com ARCV e BC, já nos concretos com ARCV e BG, há redução;
- No estado endurecido, no tocante à velocidade de propagação de onda ultrassônica, os concretos com ARCV apresentam velocidades de propagação de onda menor que os concretos de referência e, à medida que o percentual de substituição diminui (100 para 50%), as velocidades diminuem em função da porosidade do agregado reciclado;
- No que se refere à resistência à compressão, é possível aferir que os ARCV influenciam na diminuição da resistência dos concretos de referência, aos 7 e 28 dias de idade, isto é, com o aumento da substituição, a resistência diminui;
- Possivelmente, além da relação água/cimento efetiva, a forma, textura e a quantidade de material pulverulento dos ARCV contribuíram para a diminuição das propriedades do concreto fresco e endurecido.

Portanto, o estudo indica que o resíduo, até então considerado como um problema ambiental, não inviabiliza a produção de concreto, tendo em vista os resultados mecânicos obtidos; no entanto, faz-se necessário conhecer suas propriedades físicas, como absorção/porosidade, para que se possa estimar a quantidade necessária de água para o amassamento.

Referências

1. CABRAL JUNIOR, M. et al. O suprimento de matérias-primas para a indústria de cerâmica vermelha no Brasil. **Revista da ANICER**, ano 14, n. 73, p. 24-35, 2011.
2. HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, G.

- (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. IBRACON, 2010. p. 945-984. cap. 29, v. 1, 2.
3. SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Cerâmica Vermelha**. Estudos de mercado SEBRAE/ESPM – relatório completo. São Paulo: Sebrae Nacional, 2008.
 4. FERREIRA, R. L. S. **Identificação e disposição final dos resíduos sólidos gerados na fabricação de cerâmica vermelha no vale do Assú/RN**, 2012. Monografia (Graduação)-Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos-RN, 2012.
 5. RIBEIRO, J. L. **Resíduos Cerâmicos: Gestão e Valorização como agregados**. 2009. Tese (Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-ambiente)-Departamento de Engenharia Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.
 6. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – CONAMA. **Lei n.º 307, de 05 de julho de 2002**: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: < http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_307.pdf>. Acesso: 18 dez. 2013.
 7. DIAS, J. F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. 2004. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
 8. BICCA, I. S. **Estudo da viabilidade de utilização do rejeito cerâmico, como agregado graúdo, na produção de concreto com características estruturais**. 2000. 98 f. Dissertação (Mestrado)-Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
 9. SILVA, A. V. **Análise do processo produtivo dos tijolos cerâmicos no estado do Ceará**: Da extração da matéria-prima à fabricação. 2009. 104 f. Monografia (Engenharia Civil)-Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
 10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.
 11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2009.
 12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.
 13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.
 14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
 15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7809**: Agregados – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.
 16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
 17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica aparente a absorção e água. Rio de Janeiro, 2009.
 18. NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.
 19. TUTIKIAN, B.; HELENE, P. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011. p. 415-451. v. 1.
 20. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
 21. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8802**: Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2013.
 22. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
 23. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.
 24. FONSECA, A. P. **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo reciclado de talha cerâmica e agregado graúdo natural**. 2006. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas)-Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.
 25. AMERICAN CONCRET INSTITUTE – ACI. **Manual of concret practice – Part 1**. Detroit, Michigan, 1980.
 26. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
 27. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.