

Res., Soc. Dev. 2019; 8(4):e2684861

ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i4.861>**Concreto com cinza de casca de arroz (CCA) e resíduos de construção e demolição (RCD)****Concrete with rice husk ash and construction and demolition wastes****Concreto con gris de cáscara de arroz y residuos de construcción y demolición****Larissa Renata da Silva**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7422-4504>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: larissa1996lrs@hotmail.com**Kelly Nara de Carvalho Gama**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1038-6010>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: kellygama67@hotmail.com**Pedro Valle Salles**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4444-6958>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: pedrovallesalles025@gmail.com**Flávia Cristina Silveira Braga**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5467-900X>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: flaviacsbraga@gmail.com

Recebido: 20/12/2018 | Revisado: 20/12/2018 | Aceito: 11/02/2019 | Publicado: 26/02/2019

Resumo

A construção civil é um setor que contribui com enormes quantidades de resíduos depositados no meio ambiente e retira grande parte da sua matéria prima da natureza, sendo que o processamento de algumas dessas matérias primas é altamente poluente. A busca por minimizar os impactos dessa atividade é incentivo para se estudar materiais que possam integrar o concreto de forma a suprir as necessidades do setor. O presente estudo visa analisar a utilização da cinza de casca de arroz (CCA) em substituição ao cimento, e do agregado reciclado, em substituição parcial ao agregado graúdo. Foram avaliados através de ensaios físicos e mecânicos dois tipos de concreto, o primeiro utilizando apenas cimento e agregados naturais, e o segundo utilizando 10% de CCA e 25% agregado reciclado misto. Os resultados

indicam que há diferenças significativas entre os agregados naturais e reciclados, principalmente no quesito absorção e porosidade. Essas diferenças refletiram em menores resistências e menor módulo de elasticidade, entretanto atesta-se a viabilidade de utilização destes materiais na fabricação de concretos estruturais.

Palavras-chave: Concreto; Resíduos de Construção e Demolição; Cinza de Casca de Arroz.

Abstract

Civil construction is a sector that contributes with huge amounts of waste deposited in the environment and removes much of its raw material from nature, and the processing of some of these raw materials is highly polluting. The search for minimizing the environmental impacts of this activity motivates the study of materials that may integrate the concrete in order to supply the sector demands. The present study aims to analyze the use of rice husk ash as a replacement for cement, and of recycled aggregate, in partial replacement of aggregate. Two types of concrete were evaluated through physical and mechanical tests, the first using only cement and natural aggregates, and the second using 10% rice husk ash and 25% mixed recycled aggregate. The results indicate that there are significant differences between the natural and recycled aggregates, especially absorption and porosity. These differences reflected in lower resistance and lower modulus of elasticity, however, it is possible to confirm the feasibility to use the recycled aggregates in the manufacture of structural concrete.

Keywords: Concrete; Construction and Demolition Waste; Rice Husk Ash.

Resumen

La construcción civil es un sector que contribuye con enormes cantidades de residuos depositados en el medio ambiente y retira gran parte de su materia prima de la naturaleza, siendo que el procesamiento de algunas de esas materias primas es altamente contaminante. La búsqueda por minimizar los impactos de esa actividad es incentivo para estudiar materiales que puedan integrar el concreto de forma a suplir las necesidades del sector. El presente estudio pretende analizar la utilización de la ceniza de cáscara de arroz (CCA) en sustitución del cemento, y del agregado reciclado, en sustitución parcial al agregado grueso. Se evaluaron a través de ensayos físicos y mecánicos dos tipos de concreto, el primero utilizando sólo cemento y agregados naturales, y el segundo utilizando el 10% de CCA y el 25% agregado reciclado mixto. Los resultados indican que hay diferencias significativas entre los agregados naturales y reciclados, principalmente en lo que se refiere a la absorción y la porosidad. Estas diferencias reflejaron en menores resistencias y menor

módulo de elasticidad, sin embargo se atestigua la viabilidad de utilización de estos materiales en la fabricación de concretos estructurales.

Palabras clave: Concreto; Residuos de Construcción y Demolición; Ceniza de Cáscara de Arroz

1. Introdução

O concreto é usualmente definido como produto obtido através da mistura de agregados com meio cimentício. A evolução de estudos e técnicas, permite que o concreto possa ser produzido com vários tipos de cimentos, conter cinza volante, escória de alto forno, sílica ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras (Neville & Brooks, 2013).

O cimento Portland, principal aglomerante utilizado tanto na fabricação de concretos quanto de argamassas, é obtido através de material calcário e argila (sílica e alumina). O processo consiste basicamente na moagem desses materiais até a obtenção de um pó fino, que em seguida é levado ao forno onde acontece a sintetização do material e sua fusão parcial com o clínquer. Após resfriado o material recebe sulfato de cálcio (gipsita), sendo novamente moído até atingir a forma comercializada.

A fabricação do cimento, requer grande quantidade de energia e é uma atividade altamente poluidora, pois há uma grande emissão de poluentes gasosos e materiais particulados (Neville & Brooks, 2013).

A produção de cimento apresenta impacto elevado em termos de emissões de gases de efeito estufa (GEE), com destaque para o dióxido de carbono, que corresponde a quase o total dos GEE emitidos (Abdi, 2012). De acordo com Costa, Mancio, Takimi e Kirchheim. (2015), a emissão química de CO₂ no processamento de cimentos está associada à decomposição da calcita (CaCO₃) presente no calcário em torno dos 800°C, gerando como subproduto o CO₂, de acordo com a Equação 1.



Para Cardoso, Miranda, Silva e Nascimento (2018), esta reação de descarbonatação é uma das principais para a obtenção do clínquer.

Já os agregados naturais mais comumente utilizados, brita e areia, são obtidos através da extração em jazidas ou em lavras nos leitos dos rios. Para a obtenção da brita, após a

retirada da pedra natural da jazida, esta passa pelo processo de redução através de britagem até adquirirem tamanhos compatíveis para o uso e aplicação na construção civil. A atividade de mineração de agregados para a construção civil, segundo Silva (2007), gera grandes impactos ambientais, alterando canais naturais de rios e aspectos paisagísticos, além do grande índice de clandestinidade dessa atividade, a utilização das cavas de exploração como posteriores bota-fora de construção civil gera grande preocupação aos ambientalistas.

A preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais tem incrementado a busca de alternativas sustentáveis de crescimento por parte de todos os segmentos da sociedade. Nesta visão, nenhuma sociedade poderá atingir a sustentabilidade sem que a indústria da construção civil passe por profundas transformações, já que a sua cadeia produtiva apresenta importantes impactos ambientais em todas as etapas do seu processo produtivo: extração de matéria-prima, produção de materiais, construção, uso e demolição (Hood, 2006).

A destinação inadequada dos resíduos sólidos produzidos por setores como mineração, metalurgia, química, limpeza urbana e construção civil gera problemas sociais e ambientais. A reciclagem destes constitui uma alternativa para o controle / minimização destes problemas, possibilitando ainda, vantagens financeiras através da comercialização destes resíduos.

De acordo com Alves e Dreux (2015), a construção civil hoje é um dos principais setores da economia brasileira, devido a esse avanço nota-se uma grande quantidade de entulhos produzidos por essas obras, evidenciando um grande desperdício desses materiais; que depois são descartados de forma irracional em locais como terrenos baldios, margens de rios e arroios, na periferia em geral, gerando uma série de problemas ambientais e sociais.

As alterações produzidas pela construção ocorrem na fase de implantação, execução, confecção de artefatos, pavimentação de vias, limpeza da obra, etc. Além disso, em toda a vida útil da construção são gerados resíduos: seja na fase de manutenção como na fase de reforma e adequação de uso da obra, ou até na fase de desocupação e demolição.

No âmbito dos resíduos gerados pela agroindústria, a cinza de casca de arroz é um resíduo agroindustrial decorrente do processo de queima da casca de arroz, sendo largamente encontrada em regiões onde este cereal é beneficiado (Pouey, 2006). Por possuir elevado volume e baixa densidade, quando depositada, ocupa grandes áreas, onde pode ocorrer queima in situ com a decorrente dispersão das cinzas. Devido à sua lenta biodegradação, permanecem inalteradas por longos períodos de tempo, gerando enorme dano ao meio ambiente (Della, Kühn & Hotza, 2005).

Entre os diversos tipos de resíduos gerados no ambiente urbano, destaca-se o de construção e demolição, que causam graves impactos socioambientais. Os resíduos de construção e demolição (RCD), dispostos de forma inadequada, causam alto impacto, tanto ambiental quanto social, pois suas consequências geram a degradação da qualidade de vida urbana em vários aspectos, como transportes, enchentes, poluição visual e proliferação de vetores de doenças (Fagury & Grande, 2007).

Fica evidente, que a construção civil além de ser grande geradora de resíduos, é também grande consumidora de matérias primas não renováveis, tanto para a produção do cimento como para obtenção de agregados. Esse panorama gera receio quanto ao esgotamento de matérias primas, com isso, surge a necessidade de estudos de novos materiais passíveis de serem incorporados ao concreto. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar a utilização da cinza de casca de arroz (CCA) em substituição ao cimento, e do agregado reciclado, em substituição parcial do agregado graúdo.

1.1 Cinza de Casca de Arroz

A cinza de casca de arroz (CCA), é um resíduo proveniente da cadeia produtiva do mesmo. Essa se caracteriza por ser um material leve, volumoso, altamente poroso e apresenta grande quantidade de sílica em sua composição (Pouey, 2006). Por ser uma pozolana, contribui tanto pelo efeito fíler como pelo efeito pozolânico em concretos e argamassas (Londero, 2017).

A taxa média de crescimento da produtividade agropecuária no Brasil foi de 3,58% ao ano entre 1975 a 2015 (Brasil, 2017). De acordo com o IBGE (2018), a safra de arroz de 2018 deverá totalizar 11,7 milhões de toneladas. Isso gera uma grande quantidade de cinza, pois, após a queima completa, cerca de 20% da casca é convertida em cinza, a qual ainda é considerada um resíduo agroindustrial sem destinação certa, sendo simplesmente descartada ou lançada em aterros, o que gera problemas ambientais, tais como poluição de mananciais de água, do ar e do solo (Pouey, 2006). Portanto, a CCA é um material com grande disponibilidade, a aplicação na produção concreto, minimizaria os impactos ambientais, além de agregar valor econômico.

De acordo com Mehta (1987), a utilização de pozolanas no concreto proporciona aumento da resistência à fissuração, aumento da trabalhabilidade, maior impermeabilidade, e também por proporcionar a inibição da reação álcali-agregado gera maior durabilidade ao material.

Segundo Neville e Brooks (2013), devido as propriedades físicas dos fíleres, esses trazem efeitos benéficos sobre a propriedades do concreto, como a trabalhabilidade, massa específica, permeabilidade, exsudação capilar e tendência à fissuração, podem também melhorar a hidratação do cimento atuando como pontos de nucleação. Segundo estes mesmos autores, o fíler deve ser caracterizado por propriedades uniformes, especialmente a finura, e podem ter origem natural ou serem provenientes de materiais processados inorgânicos.

1.2 Resíduo de Construção e Demolição

Toda atividade antrópica desenvolvida sobre a superfície terrestre gera resíduos. O homem é de longe o animal que mais gera resíduos para sua sobrevivência. Desde os resíduos gasosos, até os líquidos ou mesmo sólidos, todos eles fazem parte do que aparentemente é essencial para a vida do ser humano (Silva & Silva, 2016).

De acordo com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), nº 307 (2002), resíduos de construção e demolição são provenientes de demolições de obras de construção civil, e resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

A NBR 15116 (Abnt, 2004), que trata dos agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil, classifica os resíduos em 4 classes: A, B, C e D, sendo os resíduos da classe A, os que podem ser reutilizáveis ou recicláveis como agregados na construção civil, são provenientes de resíduos de construção, demolição, reformas, reparos de pavimentação, componentes cerâmicos, argamassas e concreto. Esses resíduos da classe A, ainda são classificados em uma subcategoria: ARC – agregado de resíduo de concreto e o ARM – agregado de resíduo misto. O ARC, deve ser composto na sua fração graúda de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland, já o ARM, é composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland.

Segundo Fagury e Grande (2007), a reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) é uma oportunidade de transformar despesas numa fonte de faturamento, ou, pelo menos, de reduzir as despesas com deposição e volume de extração de matérias-primas, o que contribui para preservar recursos naturais limitados.

1.3 Características do concreto utilizando CCA e RCD em estado fresco

De acordo com Cordeiro, Toledo Filho e Fairbairn (2009), a substituição de parte do cimento pela cinza de casca de arroz, reduz os valores do abatimento do tronco de cone, sendo necessário para manter os valores de abatimento dentro da faixa estabelecida, o emprego de aditivo superplastificante.

Devido à grande absorção dos agregados reciclados, há grande influência dos valores de abatimento tronco de cone quando se utiliza RCD na composição dos concretos (Gonçalves, 2001).

1.4 Características do concreto utilizando CCA e RCD em estado endurecido

Conforme Gonçalves (2001), devido à grande quantidade de argamassa retida nos agregados reciclados estes, possuem absorção de água consideravelmente maior comparado ao agregado natural. A presença de cerâmica nos RCD também contribui para a maior absorção dos concretos, uma vez que esse material também possui alta absorção.

Apesar de não ser clara a relação entre a resistência do concreto e absorção do agregado, segundo Neville (2016) os poros na superfície do agregado podem afetar a aderência entre o agregado e a pasta de cimento, e assim acabar exercendo influência sobre a resistência do concreto.

Segundo Londero (2017), devido ao comportamento pozzolânico da CCA, observa-se um desenvolvimento tardio da resistência à compressão das misturas à medida que cresce o teor de CCA nas misturas. Este mesmo autor relata que a substituição do cimento pela CCA não apresentou incrementos relevantes nos valores de resistência a compressão.

Já Cordeiro *et al.* (2009), afirmam que principalmente nas idades mais avançadas a CCA proporciona incremento nos valores de resistência à compressão do concreto. Os teores de 15% e 20% apresentaram os melhores resultados, porém sem diferenças significativas. Já a substituição de 10% apresenta comportamento intermediário entre a mistura de referências e as demais (Cordeiro, *et al.*, 2009).

Gonçalves (2001), afirma que a resistência dos concretos que utilizam RCD em sua composição é afetada pela qualidade dos agregados utilizados, por exemplo, resíduos provenientes de concretos de baixa resistência ou que são frutos de várias sobras, tendem a ocasionar concretos com valores de resistência abaixo do que o esperado.

Salles (2018), em comparação aos valores de resistência aos 7 e 28 dias, observou que os 7 dias, a substituição de 25% e 50% de ARM apresentaram desempenho semelhante ao concreto de referência considerando o desvio padrão dos mesmos. Já aos 28 dias, o concreto utilizando agregados reciclados apresentou desempenho inferior, em torno de 10%, em

comparação ao concreto referência, o mesmo autor sugere que ajustes no traço podem ser suficientes para corrigir a perda de resistência.

Salles (2018), relata em seus estudos que a substituição do agregado natural por RCD do tipo cinza (concreto) e misto, apresenta resultados semelhantes ao concreto referência, ou seja, o acréscimo destes tipos de agregados não prejudica a resistência à tração dos concretos. O mesmo acontece para concretos que levam em sua composição a CCA, os valores da resistência a tração são similares ao concreto referência (Isaia, Gastaldini, Meira, Duart & Zerbino, 2010).

De acordo com Salles (2018), o teor de adição de RCD e o tipo influenciam nos valores de módulo de elasticidade devido a variação de módulo de elasticidade dos agregados, sendo que quanto maior o teor de adição menor é o módulo de elasticidade.

Já o comportamento do concreto com adição de CCA com moagem prévia apresenta valores similares ao concreto referência, já a utilização de CCA residual natural nas primeiras idades apresenta decréscimo em relação ao concreto referência, recuperando os mesmos patamares a 91 dias (Isaia *et al.*, 2010).

2. Materiais e métodos

Foram componentes dos concretos fabricados: Cimento Portland, areia natural, brita, cinza de casca de arroz e agregado reciclado misto.

A NBR 15116 (Abnt, 2004) define o ARM como o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

De acordo com Salles (2018), na composição do ARM estão presentes o Agregado Reciclado Cinza (ARC) e o Agregado Reciclado Vermelho (ARV). Dessa forma, segundo o autor, o agregado misto é composto por: rochas naturais, materiais cimentícios, materiais cimentícios aderidos a rochas naturais, cerâmicas vermelhas e de revestimento, e materiais cimentícios aderidos às cerâmicas.

O cimento utilizado foi o cimento Portland CPV ARI, que proporciona resistência inicial elevada e conta com no máximo 5% de adições.

A fim de avaliar o desempenho do concreto utilizando cinza de casca de arroz e agregado reciclado misto, foram fabricados 2 tipos de concreto, o primeiro para controle, utilizando apenas agregados naturais e cimento, o segundo utilizando 10% de CCA em substituição do cimento, cujo consumo do traço foi 364 kg/m³, e 25% de ARM em

substituição à brita. Sendo o traço base utilizado de 1: 2,16: 2,73: 0,55. As substituições foram feitas em volume, no caso da brita, e em peso no caso do cimento.

Para ambos materiais pozolânicos foram obtidas as massas específica através do método de picnometria a gás hélio. Esse método consiste na determinação da densidade e o volume real dos sólidos.

Através da NBR NM 53 (Abnt, 2009): Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, foram determinados as massas específicas e absorção de água dos agregados graúdos em estudo, brita gnaisse e ARM.

Para os mesmos agregados, os ensaios de composição granulométrica foram realizados conforme a NBR NM 248 (Abnt, 2003).

Já o ensaio de abrasão foi determinado de acordo com a NBR NM 51 - Agregado graúdo - Ensaio de abrasão “Los Angeles” (Abnt, 2001).

Foram moldados de acordo com a NBR 5738 (Abnt, 2003): Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, 12 corpos-de-prova (10 cm x 20 cm) para cada tipo de concreto, convencional e 25% ARM/ 10% CCA, posteriormente esses corpos de prova foram adensados mecanicamente em mesa vibratória, e após desmoldados, submetidos a cura submersa em solução saturada com hidróxido de cálcio por 28 dias.

O ensaio seguiu as referências normativas da NBR NM 67 (Abnt, 1998): Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, recebendo 3 camadas de concreto, que foram compactadas com 25 golpes. Posteriormente, foi retirado o molde e realizou-se a medição de seu assentamento.

O ensaio tomou como referência a NBR 5739 (Abnt, 2007): Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Os CPs foram rompidos aos 28 dias. A prensa utilizada é da marca EMIC com capacidade de 2000kN.

Seguindo os parâmetros da NBR 7222 (Abnt, 2011): Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, aos 28 dias, os corpos de prova foram ensaiados e foi determinação a resistência.

De acordo com a NBR 8522 (Abnt, 2008), foi determinado o módulo estático de elasticidade à compressão. O ensaio foi realizado aos 28 dias.

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 9778 (Abnt, 1987), que prescreve o método para a determinação da absorção de água por imersão. O ensaio ocorreu após 28 dias de cura dos corpos de prova.

3. Resultados e Discussão

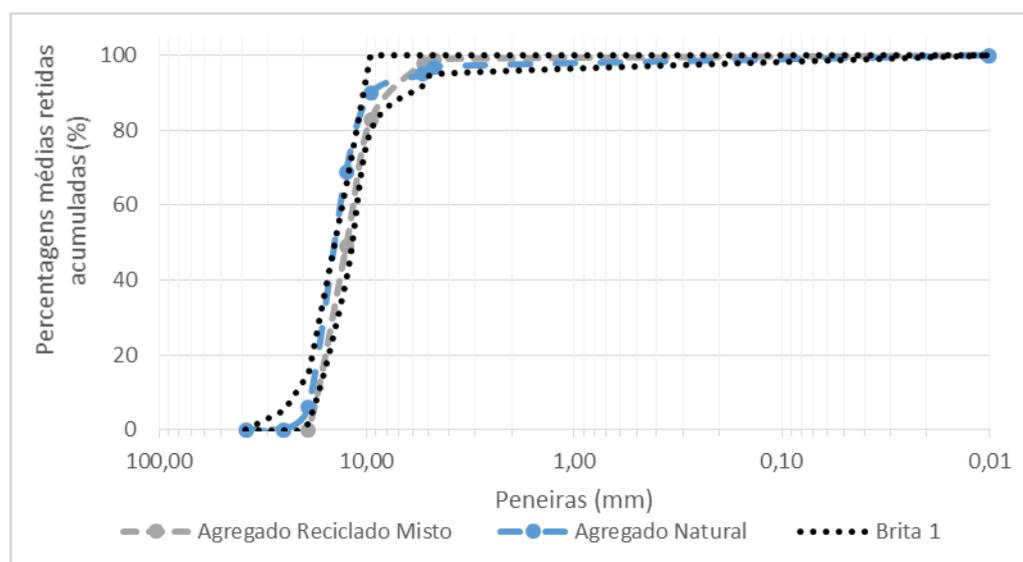
Através do ensaio de picnometria por gás hélio, foram obtidas as massas específicas da CCA e do cimento CPV-ARI utilizado, os resultados obtidos estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1 – Massa específica CCA e cimento

	CCA	CPV-ARI
Massa específica (kg/m ³)	2,161	3,058

A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas dos agregados graúdos. O diâmetro máximo do agregado Natural é de 25mm e do ARM 19mm, conforme a Figura 1 e limites de utilização, ambos os agregados utilizados são classificados como brita 1.

Figura 1 – Distribuição granulométrica e limites granulométricos agregados graúdos



Os resultados de determinação de massa específica, massa específica, porosidade aparente e absorção de água estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 –Propriedades Físicas do Agregado Graúdo

	Agregado Natural	Agregado Reciclado Misto
d, Massa específica do agregado seco (g/cm ³)	2,62	2,54
ds, Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca (g/cm ³)	2,65	2,19

da, Massa específica aparente (g/cm³)	2,67	2,05
P, Porosidade aparente (%)	0,84	22,01
A, Absorção (%)	0,35	10,98

Pode-se observar, através do exposto na Tabela 2, que para todos os valores de massa específica (agregado seco, saturado superfície seca e aparente), o ARM apresentou valores inferiores ao do agregado natural. Observa-se, entretanto, um salto no valor porosidade do ARM, o que refletiu na maior absorção deste agregado.

Os resultados dos ensaios de massa unitária e volume de vazios encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores massa unitária e volume de vazios.

	Agregado Natural	Agregado Reciclado
pap, Massa unitária do agregado (kg/m³)	1440,65	1114,99
Ev, Índice de volume de vazios nos agregados (%)	45,69	55,9

O ARM apresentou menor massa unitária, o que refletiu em um maior índice de vazios.

Os resultados apresentados na Tabela 4, referem-se ao ensaio de abrasão.

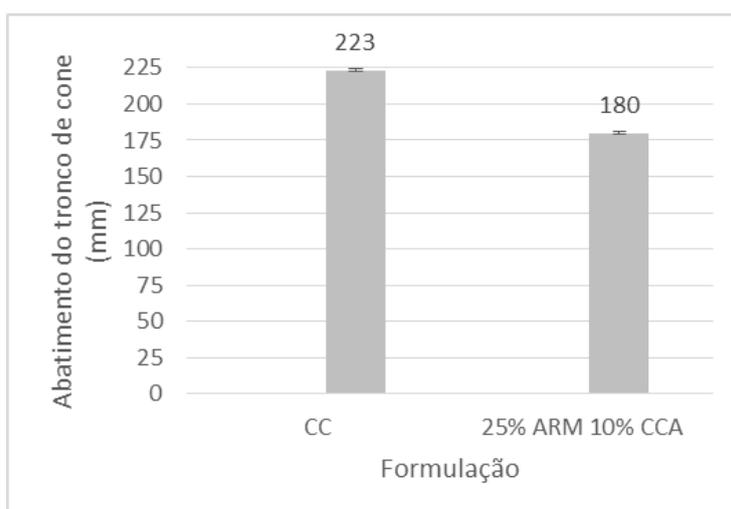
Tabela 4 – Perda por abrasão

	Agregado Natural	Agregado Reciclado Misto
P, Perda por abrasão (%)	22,16	49,83

Conforme os resultados obtidos, o ARM apresenta perda por abrasão cerca de 45% maior em relação ao agregado natural utilizado. O resultado obtido para o ARM, apresenta-se muito próximo ao limite para o índice de perda à abrasão (50% de material), apesar disso, ambos os materiais utilizados são aprovados pela norma NBR NM 51 (Abnt, 2001).

É possível visualizar na Figura 2 os resultados obtidos no ensaio de abatimento tronco de cone.

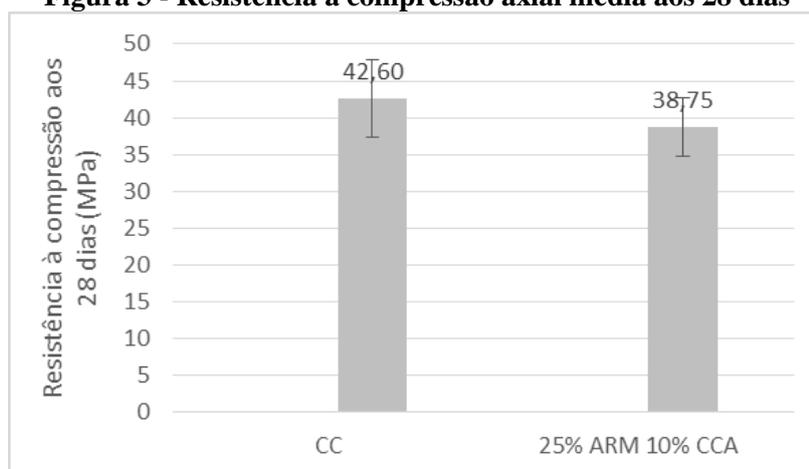
Figura 2 – Abatimento troco de cone



Conforme os resultados obtidos na Figura 2, pode-se perceber redução da trabalhabilidade do concreto utilizando ARM e CCA, infere-se que esses resultados se deve a maior absorção de água tanto dos ARM quanto da CCA em comparação a brita gnaisse e ao cimento Portland, respectivamente. Os resultados obtidos corroboram os estudos de Cordeiro, Toledo Filho e Fairbairn (2009) e Gonçalves (2001). Recomenda-se o uso de aditivos superplastificantes para que se possa obter melhor trabalhabilidade sem aumento da relação A/C.

Os resultados para o ensaio de compressão axial aos 28 dias, estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Resistência a compressão axial média aos 28 dias



A resistência à compressão média do concreto com adição de ARM e CCA foi inferior ao concreto referência, cerca de 9%. No entanto, considerando o desvio padrão, os valores para resistência à compressão de ambos concretos mostraram-se semelhantes.

De acordo com Cabral (2007), o agregado reciclado, em geral, é menos resistente que o agregado natural, em função de suas características físicas, apresentando uma alta porosidade, alta absorção de água e uma baixa massa unitária e específica. Para Ângulo e Figueiredo (2011), controlando-se seus teores de substituição ou a porosidade dos agregados de RCD, torna-se possível seu uso até no concreto estrutural - resistências características superiores a 25 MPa.

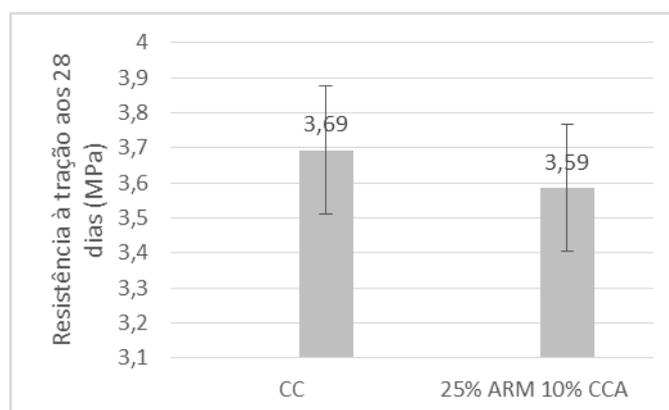
Almeida (2017), realizou substituições de 10 e 20% de CCA em relação ao cimento e com isso observou que ambas as porcentagens de substituição apresentaram maiores resistências à compressão que o concreto referência.

Ratificando o que acima foi dito, Real (2018) realizou substituições de 10, 15 e 20% de CCA em relação do cimento e verificou que os concretos produzidos apresentaram incrementos relevantes nos valores de resistência à compressão, sendo que o teor de substituição em massa do cimento pela CCA que apresentou maior resistência mecânica foi de 10%.

Nesse âmbito, ao analisar a Figura 3 é possível inferir que parte da perda de resistência associada a adição do ARM foi suprida pela CCA que apresenta características que proporcionam incremento da resistência, isso fez com que o concreto utilizando 25%ARM 10%CCA apresentasse desempenho semelhante ao concreto de referência, considerando o desvio padrão dos mesmos.

A Figura 4 expõe os resultados obtidos após o ensaio de resistência à tração para os concretos, realizado por compressão diametral dos corpos de prova.

Figura 4 - Resistência a tração valores médios 28 dias



Para a resistência à tração, a substituição dos agregados naturais pelos reciclados, também provoca pouca alteração na mesma, algo em torno dos 5%, dentro da faixa de desvio padrão. De acordo com Leite (2001), isso se deve a resistência à tração levar em

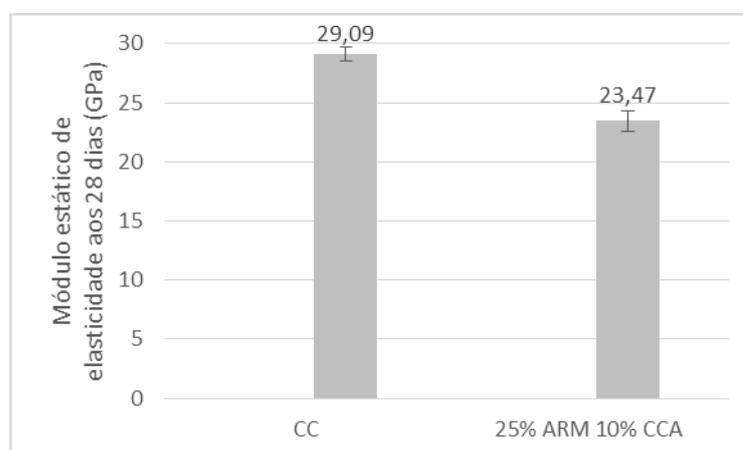
consideração mecanismos de aderência físicas entre as partículas. Segundo esse autor, seria correto dizer que a aderência entre a matriz de concreto e a superfície dos grãos do agregado ocorre mais facilmente e melhor em materiais cuja forma apresenta-se mais irregular e cuja textura é mais rugosa, pois há um aumento na área superficial de contato e há um maior entrelaçamento dos compostos de hidratação com os poros superficiais do material.

Santos e Lopes (2017), no momento em que substituiu-se o cimento pela cinza da casca de arroz, os resultados obtidos mantêm-se próximos ao traço referência, sendo que as substituições de 5% e 10% alcançam valores superiores ao traço referência, e os demais traços obtiveram resultados próximos, porém inferiores.

Observa-se, portanto, que a utilização de ARM e CCA, não provoca prejuízos quanto a resistência a tração dos concretos, o que corrobora os estudos de Salles (2018) que utilizando ARM na composição de concreto não encontrou prejuízos a resistência à tração dos concretos produzidos. O mesmo relatado por Isaias *et al.* (2010), Santos e Lopes (2017), que utilizando CCA encontraram valores próximos para a resistência à tração.

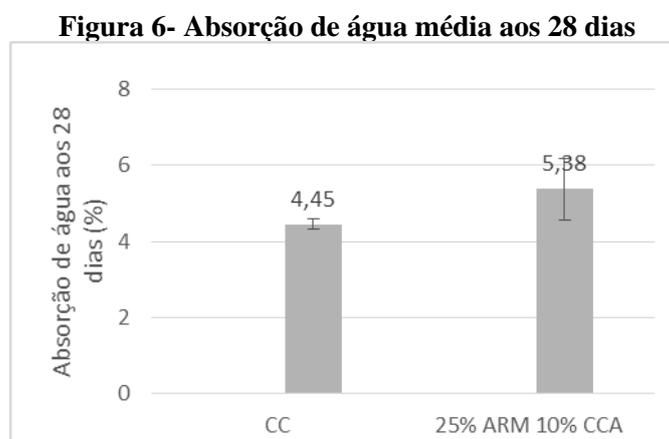
Os resultados do módulo estático de elasticidade estão expostos na Figura 5.

Figura 5 - Módulo estático de elasticidade valores médios 28 dias



De acordo com Ângulo (2005), o módulo de elasticidade normalizado dos concretos está correlacionado com a porosidade do agregado. Conforme exposto na Tabela 1, a porosidade do ARM foi excessivamente maior do que o agregado natural utilizado, provocando no concreto endurecido que utilizou este agregado, menor módulo estático de elasticidade. Os resultados demonstrados na Figura 5, corroboram os estudos de Salles (2018), segundo este mesmo autor, reduções de até 20% no módulo de elasticidade de concretos utilizando RCD podem ser reduzidas com correções nos traços.

A Figura 6 apresenta a média dos resultados obtidos após a realização do ensaio de absorção de água por imersão para os concretos fabricados.



Pode-se notar que os resultados de absorção do concreto utilizando CCA e ARM apresentam-se próximos ao CC, considerando o desvio padrão dos mesmos entretanto, com diferenças mais significativas. No entanto, o valor médio de absorção de água do concreto com resíduos apresentou-se maior que o concreto de referência.

De acordo com Ângulo e Figueiredo (2011), a porosidade varia para cada tipo de material presente nos agregados de RCD. Para os autores, uma mesma relação água/cimento efetiva, ou seja, não contando com a água de saturação dos agregados, a porosidade total do concreto com agregados de RCD sempre será maior que a do concreto com agregado natural.

A utilização da cinza da casca de arroz também tem influência no resultado de absorção, no concreto. Real (2018), utilizou a mesma porcentagem de substituição da CCA, 10%, para o traço de concreto de alto desempenho (CAD), e com isso, obteve um menor valor de absorção aos 28 dias, comparado ao concreto referência.

Os resultados obtidos do aumento da absorção com a presença de ARM corroboram com as ideias de Gonçalves (2001), que afirma que o aumento se dá pelo fato dos agregados reciclados serem mais absorventes em relação aos agregados naturais.

Portanto, pode-se dizer que a utilização de CCA melhora o desempenho do concreto quanto a absorção, uma vez que, esse material possui características que proporcionam maior impermeabilidade do concreto, isso fez com que mesmo utilizando ARM, agregado absorvente, o concreto obtivesse resultados semelhantes ao concreto referência.

4. Conclusões

Os resultados dos experimentos realizados com o concreto confeccionado com a adição de cinza de casca de arroz e agregado reciclado misto (25% ARM 10% CCA), permitiram concluir que:

- A resistência à compressão média, avaliada na idade de 28 dias, mostrou que houve uma pequena perda de resistência do 25% ARM 10% CCA em comparação ao concreto referência, contudo, levando-se em conta o desvio padrão, essa perda se mostra pouco significativa. Devido às características físicas apresentados pelo ARM, como alta porosidade, esse resíduo contribui para a perda de resistência apresentada pelo concreto. Já a CCA, possui características que proporcionam incremento da resistência, o que fez que, apesar da perda, o concreto utilizando resíduos apresentasse desempenho satisfatório. Infere-se que, com o avanço da idade, o concreto com CCA melhorará seu desempenho. Isso se deve ao fato das reações pozolânicas serem mais lentas;
- Com relação à resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias, é possível observar que a adição de cinza de casca de arroz e agregado reciclado misto contribui para o menor valor da resistência, embora esteja dentro da margem considerando-se o desvio padrão, o que nos permite afirmar que os resíduos não provocaram prejuízos significativos na resistência a tração dos concretos;
- No que se refere ao módulo estático de elasticidade, aos 28 dias, foi observado que o concreto 25% ARM 10% CCA apresentou um valor quase 20% menor que o módulo do concreto referência. Esta diferença está associada ao módulo de elasticidade dos materiais utilizados, principalmente do ARM, cuja porosidade é maior em comparação ao agregado graúdo natural;
- O emprego de ambos resíduos (CCA E ARM) em conjunto, produz um concreto mais absorvente, justificado pela forma e textura dos grãos da cinza da casca de arroz e pela composição do agregado reciclado, uma vez que esse, por ser misto, apresenta em sua composição diferentes materiais, dentre eles as cerâmicas e argamassas, que são porosas e contribuem para o aumento da absorção de água;

Os resultados dos ensaios permitiram inferir que as características dos concretos foram satisfatórias, uma vez que, o concreto com a presença dos resíduos obteve valores próximos ao concreto convencional para todos os ensaios realizados, com exceção do módulo estático de elasticidade, os resultados se mantiveram dentro da margem considerando-se o desvio

padrão, além disso, a utilização de materiais reciclados contribui para que diminua a deposição incorreta dos mesmos.

Referências

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. (2012). *Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para a economia de baixo carbono: caderno 3: nota técnica cimento*. São Paulo.

Angulo, S. C. (2005). *Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento dos concretos*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.

Angulo, S. C.; Figueiredo, A. D. (2011). *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON.

Almeida, A. T. L. (2017). *Análise do concreto produzido com cinza de casca de arroz e a influência sob altas temperaturas*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande Do Sul, Rio Grande do Sul, Ijuí, Brasil.

Alves, J. C. & Dreux, V. P., (2015). Resíduos da Construção Civil em Obras Novas. *Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas*, 1 (1).

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003). NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001). NBR NM 51: Agregado graúdo - Ensaio de abrasão “Los Angeles”.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004) NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003) NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2006) NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003). NBR 5738: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova.

Brasil. (2017). Brasil lidera produtividade agropecuária mundial. Acesso em: 13 set. 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/brasil-lidera-productividade-agropecuaria-mundial>>

Cabral, A. E. B. (2007). *Modelagem de propriedades mecânicas e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.

Cardoso, D. P. A., Miranda, D. H. S., Silva, M. A. & Nascimento, R. F. L. (2018) *Indústria do cimento*. Faculdade Metropolitana da Amazônia, Amazonas, Brasil.

- Cordeiro, G. C.; Toledo Filho, R. D.; Fairbairn, E. M. R. (2009). Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. *Ambiente Construído*, 9 (4), 99-107.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). (2002). *Resolução n.º 307*. Acesso em: 22 set. 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf>.
- Costa, E. B., Mancio, M., Takimi, A. & Kirchheim, A. P. (2014). Avaliação da perda de massa de farinhas precursoras de clínquer CSAB compostas com lodo de anodização do alumínio. *Revista Matéria*, 19 (03).
- Della, V. P., Kühn, I. & Hotza, D. (2005) Reciclagem de Resíduos Agro-Industriais: Cinza de Casca de Arroz como Fonte Alternativa de Sílica. *Revista Cerâmica Industrial*, 10 (03).
- Fagury, S. C. & Grande, F. M. (2007). *Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) – aspectos gerais da gestão pública de São Carlos/SP*. 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/810/81050104/>>.
- Gonçalves, R. D. C. (2001). *Agregados reciclados de resíduo de concreto – um novo material para dosagens estruturais*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.
- Hood, R. S. S., (2006). *Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2018). *IBGE prevê safra de grãos 6,8% menor em 2018*. Acesso em: 13 set. 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/19474-ibge-preve-safra-de-graos-6-8-menor-em-2018>>.
- Isaia, G. C.; Gastaldini, A. L. G.; Meira, L.; Duart, M. & Zerbino, R. (2010). Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natura em concreto estrutural. Parte I: propriedades mecânicas e microestrutura. *Ambiente Construído*, 10 (1), 121-137.
- Leite, M. B. (2001). *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. Tese de Doutorado, Universidade Feral do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Londero, C. (2017). *Valorização da cinza da casca de arroz com aplicação no concreto*. Trabalho de Conclusão da Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil.
- Mehta, P.K. (1987). Natural Pozzolan. In: *Supplementary Cementing Materials*. Ottawa: V. M. Malhotra.
- Neville, A M. (2006). *Propriedades do concreto*. 5ª ed. Santana: Bookman.
- Neville, A. M. & Brooks, J.J. (2013). *Tecnologia do concreto*. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman.
- Pouey, M. T. F. (2006). *Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico*. Tese de Doutorado, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

Real, R. P. (2018). *Avaliação da utilização da cinza da casca de arroz como adição mineral em concreto de alto desempenho*. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil.

Salles, P. V. (2018). *Avaliação mecânica e de durabilidade de concretos fabricados com resíduos de construção e demolição*. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil.

Santos, C. C.; Lopes, D. C. (2017). Análise da resistência de concretos com areia de fundição e cinza de casca de arroz. *Revista Construindo*, 09 (1).

Silva, A. F. & Silva, M. C. B. C. (2016). Agricultura no Nordeste Semiárido e os Resíduos Orgânicos Aproveitáveis. *Revista Equador*, 5 (2).

Silva, J. P. S. (2007). Impactos Ambientais causados por mineração. *Revista Espaço da Sophia*, 1 (8).

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Larissa Renata da Silva - 40%

Kelly Nara de Carvalho Gama - 20%

Pedro Valle Salles - 20%

Flávia Cristina Silveira Braga - 20%