

CONCRETOS COM AGREGADOS RESIDUAIS E POZOLANAS VISANDO A SUSTENTABILIDADE

*CONCRETE WITH RETIRED AGGREGATES AND POZOLANAS VISITING
SUSTAINABILITY*

SANTOS, Cristiane Carine dos

Mestranda em Engenharia Civil;
cristianecdosantos@hotmail.com

ISAIA, Geraldo Cechella

Professor Doutor, Universidade Federal de Santa Maria;
geraldoisaia@gmail.com

RESUMO

Com o crescente aumento do consumo dos recursos naturais em nível mundial, geram-se grandes preocupações em relação ao meio ambiente, tornando a sustentabilidade um assunto em destaque quanto à qualidade de vida e a sobrevivência dos seres vivos. Com o intuito de reduzir esses impactos, grande parte dos segmentos da sociedade tem buscado repensar suas estratégias de produção, principalmente o setor da construção civil que é um dos maiores consumidores de recursos naturais e geradores de resíduos. Relacionado a este contexto inúmeras pesquisas objetivam substituir recursos naturais por materiais alternativos, entre eles a reutilização de resíduos de construção e demolição (RCD) gerados pela própria construção civil, bem como o uso de resíduos agroindustriais, como cinza de casca de arroz e cinza volante, que foram utilizadas neste trabalho. A presente pesquisa visa analisar misturas de concreto com agregado residual de construção e demolição (RCD) através dos ensaios de resistência à compressão axial. Os concretos estudados foram moldados com substituição de dois teores de agregado residual, ou seja, substituições de 15 e 30% do agregado graúdo por RCD, o cimento também foi substituído parcialmente por dois tipos de pozolanas em misturas binárias e ternárias, em que se realizaram substituições de 25% de cimento por cinza de casca de arroz (CCA) e 25% de cinza volante (CV) para as misturas binárias, já para as ternárias os teores de substituições foram de (15+10)% (CCA+CV). Para os ensaios de resistência à compressão axial foram moldados corpos de prova cilíndricos de dimensão 10x20cm e curados em câmara úmida por um período de 28 dias. Através dos resultados pôde-se perceber que em relação ao traço referência (sem substituições), os concretos com pozolanas, tanto em misturas binárias como ternárias obtiveram resistência à compressão axial bem próximos do referência, já os traços moldados com substituições somente de agregados resultaram em resistência à compressão axial bastante inferiores. No entanto, concluiu-se que em relação à resistência à compressão axial é viável a utilização de RCD em concretos, porém quando da utilização de pozolanas na mistura.

Palavras-chave: Cinza de casca de arroz. Cinza volante. Recursos naturais.

ABSTRACT

With the increasing consumption of natural resources worldwide, there are major environmental concerns, making sustainability a focus on the quality of life and the survival of living beings. In order to reduce these impacts, most segments of society have sought to

rethink their production strategies, especially the construction sector, which is one of the largest consumers of natural resources and waste generators. Related to this context numerous researches aim to replace natural resources with alternative materials, among them the reuse of construction and demolition waste (RCD) generated by the construction itself, as well as the use of agroindustrial residues such as rice husk ash and fly ash, Which were used in this work. The present research aims to analyze concrete mixtures with residual aggregate of construction and demolition (RCD) through tests of resistance to axial compression. The concretes were cast with substitution of two residual aggregate contents, that is, 15 and 30% substitutions of the aggregate by RCD, cement was also partially replaced by two types of pozzolans in binary and ternary mixtures, where (15 + 10)% (CCA + CV) for the binary mixtures, while for the ternary the substitution levels were (15 + 10)% (CCA + CV). For the axial compressive strength tests, cylindrical specimens of 10x20cm dimension were molded and cured in a humid chamber for a period of 28 days. From the results, it was possible to observe that, in relation to the reference character (without substitutions), the concretes with pozzolans, both in binary and ternary mixtures obtained resistance to axial compression very close to the reference, whereas the molded traces with substitutions only of aggregates resulted in Resistance to axial compression. However, it was concluded that in relation to the axial compressive strength the use of RCD in concrete is feasible, however when using pozzolans in the mixture.

Keywords: Gray rice husk. Fly ash. Natural resources.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é responsável pelo grande consumo de recursos naturais e energia, além da enorme produção de resíduos. Atualmente vem discutindo-se e procurando alcançar o desenvolvimento sustentável para tentar diminuir as emissões de gases que poluem o meio ambiente e que provocam o efeito estufa, sendo a construção civil um dos setores que contribui largamente para esses acontecimentos.

Como alternativa para a diminuição dos impactos ambientais causados pela construção civil, tem-se realizado pesquisas sobre a substituição do cimento por adições minerais, sendo que o cimento é um dos principais componentes constituintes do concreto. As adições minerais trazem grandes vantagens, reforçam a zona de transição entre a pasta e os agregados, principalmente entre os reciclados, que são responsáveis pela redução da resistência mecânica quando essas adições não são utilizadas, também quanto aos aspectos ambientais, pois reduzem as emissões de CO₂, consumo de energia, e na maioria das vezes consegue-se diminuir os custos.

Entre as propriedades que o concreto apresenta e que permitem maior perspectiva em relação à sustentabilidade destacam-se, a durabilidade, resistência à compressão, resistência ao fogo e a agentes naturais, possibilidade de substituir o cimento por adições minerais, e os agregados por resíduos de construção e demolição (RCD).

Atualmente, pesquisas voltadas à sustentabilidade de materiais de construção civil tornam-se cada vez mais importantes, destacando-se em nível mundial, devido principalmente pela grande importância deste setor para o desenvolvimento da humanidade e preservação ambiental e, principalmente pelo efeito da escala de consumo por este setor industrial. Desta forma, este estudo visa buscar benefícios para a sustentabilidade da humanidade por meio de soluções tecnológicas simples, realizadas de forma prática e viável.

2. OBJETIVO

Verificar a eficiência do concreto estrutural, através dos resultados de resistência a compressão axial, substituindo parcialmente o agregado graúdo natural por agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD), bem como, a substituição parcial do cimento por dois tipos de pozolanas, cinza volante e cinza de casca de arroz.

3. CONCRETO E SUSTENTABILIDADE: RECICLAGEM DE RESÍDUOS

3.1. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

A indústria da construção civil é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento econômico e social de um país, pois é responsável por cerca de 10% em nível nacional do Produto Interno Bruto (PIB), mas por sua vez, gera consideráveis impactos ambientais, tanto pelo consumo de recursos naturais, como pela geração de resíduos (PABLOS; SICHERI, 2010). Para minimizar os problemas causados pela construção civil, tem-se como alternativa a reutilização ou reciclagem dos rejeitos, que apesar desses procedimentos terem começado na Europa depois da Segunda Guerra Mundial, no Brasil ainda encontram-se em atraso, mesmo com os problemas de escassez das áreas para aterros, principalmente em regiões metropolitanas.

Os resíduos gerados pela construção civil são definidos pela resolução do CONAMA nº 307 (2002) e pela NBR 15113 (ABNT, 2004) como resíduos provenientes de construções, reparos, reformas e demolições, consequentes de escavações de terrenos, como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, tintas, colas, madeiras, compensados, gesso, forros, argamassas, telhas, pavimentos asfálticos, plásticos, tubulações, entre outros; que são usualmente denominados entulhos de obra, caliça ou metralha. No entanto, os resíduos provenientes de construção e demolição (RCD) são gerados durante todo o processo de construção, e conforme Ângulo (2005) são responsáveis por 50% do total de

resíduos sólidos urbanos (RSU) que são produzidos pela população.

Pesquisas apontam que existe um aumento acelerado na geração de RCD, pois com o crescimento da população necessitam-se quantidades maiores de infraestruturas. Conforme a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2014) foram coletados pelos municípios brasileiros no ano de 2014 cerca de 45 milhões de toneladas de RCD, apresentando um aumento de 4,1% em relação ao ano anterior.

3.2. POZOLANAS

Nos últimos anos a indústria da construção civil tem buscado, de maneira constante e bastante insistente, a utilização de materiais alternativos com o objetivo de atender aos requisitos para o desenvolvimento sustentável. A substituição de pozolanas por materiais constituintes do concreto, não só contribui para a redução dos impactos ambientais, como também melhora as propriedades desse novo material.

Entre os diversos tipos de materiais pozolânicos, a CCA é um dos subprodutos cada vez mais estudado e utilizado nas últimas décadas, tendo como propósito tentar reduzir os impactos ocasionados ao meio ambiente e ao mesmo tempo melhorar as propriedades do concreto, pois existem inúmeras pesquisas que apontam a viabilidade de substituir-se parcialmente o cimento por subprodutos agroindustriais.

Outras pozolanas utilizadas são as cinzas volantes caracterizadas como subprodutos que resultam da combustão do carvão mineral em caldeiras, tornando-se um problema para as empresas geradoras, principalmente no momento de descarte final deste resíduo. Por isso nos dias atuais vem desenvolvendo-se com maior intensidade estudos de aplicações dessas cinzas, como por exemplo, em substituição parcial aos constituintes de concretos e argamassas, visto que esta cinza possui atividades pozolânicas e se encontram mais disponíveis na região sul do Brasil.

Sendo assim, pode-se afirmar de maneira geral, que tanto as cinzas volantes como as cinzas de casca de arroz apresentam vantagens relacionadas ao concreto, que são não apenas técnicas e econômicas, mas principalmente ambientais, pois reduzem as quantidades de resíduos que são descartados, bem como o consumo de energia e as emissões de CO₂ liberados durante a fabricação do clínquer.

4. METODO EXPERIMENTAL

Este item apresenta a metodologia aplicada para a confecção dos corpos de prova de concreto empregados na pesquisa, bem como, a caracterização dos materiais utilizados, os procedimentos para produção das misturas com e sem substituição do agregado graúdo natural por agregado proveniente de resíduos de construção e demolição (RCD), além das substituições do cimento Portland por cinza volante e cinza de casca de arroz, em misturas binárias e ternárias.

Posteriormente é apresentado o método de execução do ensaio com o objetivo de determinar o comportamento dos concretos com substituição em comparação ao concreto de referência, através do ensaio de Resistência a Compressão Axial (ABNT NBR 5739: 2007), tendo em vista que, a eficiência, durabilidade e sustentabilidade das estruturas de concreto estão diretamente ligadas com a sua capacidade de resistir a cargas incidentes de compressão, não apresentando deformações exageradas ou desproporcionais. Para a moldagem dos corpos de prova baseou-se na ABNT NBR 5738 (2016).

Por meio do processo de análise experimental, o qual nos permite a escolha de variáveis e condições que determinam os experimentos, observaram-se os efeitos que as mudanças causadas pelas variáveis de estudo geraram em comparação com as de referência ou padrão.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Realizou-se uma análise das propriedades físicas e químicas dos materiais selecionados, tendo em vista que, conforme Mehta e Monteiro (2014), antes de fazer uma mistura de concreto, a seleção dos materiais componentes realizados metodicamente é o primeiro passo para se obter um produto que realmente tenha representatividade nos resultados.

4.2. MATERIAIS CIMENTÍCIOS

Foi utilizado o cimento Portland CPV-ARI, produzido em território nacional, conforme a norma NBR 5733 (1991), e como substituição parcial do cimento a cinza de casca de arroz (CCA) proveniente da região de Santa Maria – RS, e a cinza volante (CV), proveniente da usina termoeletrica de Candiota, ambas foram moídas durante 1 hora em moinho de bolas. Na Tabela 1 estão representadas as características físicas dos materiais cimentícios, e a composição química pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 1 - Características físicas dos materiais cimentícios

CARACTERÍSTICAS	IDADE - DIAS	CPV-ARI	CCA	CV
Índice de Finura #0,075 mm (% retida)		0,02	4,97	2,11
Área específica BET (m ² /g)		5,96	18,71	3,55
Consistência normal (%)		29,1	-	-
Massa específica (g/cm ³)		3,14	2,09	2,19
Argamassa normal - Resistência à compressão axial (MPa)	3	38,1	-	-
	7	38,6	-	-
	28	50	-	-
Início de pega (min)		154	-	-
Fim de pega (min)		191	-	-
Dimensão média das partículas (µm)		8,5	15,54	23,84
Diâmetro abaixo do qual encontra-se 10% das partículas (µm)		0,83	5,19	2,75
Diâmetro abaixo do qual encontra-se 90% das partículas (µm)		22,38	54,14	50,03

Tabela 2 - Composição química dos materiais cimentícios

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	CPV-ARI	Limites (NBR 5733/91)	CCA	CV
Perda ao fogo - PF	3,08	≤ 4,5%	0,25	1,00
Dióxido de Silício total - SiO ₂	18,81	-	94,84	65,50
Óxido de Alumínio - Al ₂ O ₃	4,75	-	0,39	25,89
Óxido de Ferro - Fe ₂ O ₃	2,68	-	0,54	3,15
Óxido de Cálcio total - CaO	60,88	-	1,32	0,34
Óxido de Magnésio - MgO	5,22	≤ 6,5%	0,40	1,53
Anidrido sulfúrico - SO ₃	2,28	≤ 4,5%	0,01	-
Óxido de sódio - Na ₂ O	0,18	-	0,11	0,21
Óxido de Potássio - K ₂ O	0,89	-	1,45	1,98
Óxido de Titânio - TiO ₂	0,3	-	-	-
Pentóxido de Fósforo - P ₂ O ₅	0,16	-	-	-
Óxido de Manganês - Mn ₂ O ₃	0,04	-	-	-
Óxido de Cálcio livre - CaO	1,17	-	-	-
Resíduo insolúvel - RI	1,19	≤ 1,0%	-	-
Anidrido Carbônico - CO ₂	2,27	< 3,0%	-	-

4.3. AGREGADOS

Como agregado graúdo foi empregado brita com fração retida entre as peneiras 19 e 4,8mm, proveniente da cidade de Itaara – RS e como substituição parcial deste agregado utilizou-se resíduos de construção e demolição (RCD), provenientes da empresa GR2 de Santa Maria – RS. Como agregado miúdo foi empregado a areia com granulometria entre 4,8

e 0,15mm do rio Vacacaí de Santa Maria – RS. Na Tabela 3 estão representadas as características físicas dos agregados - areia, brita e RCD.

Tabela 3 - Caracterização física dos agregados

Características Físicas	Areia	Brita	RCD
Massa específica (g/cm ³)	2,65	2,49	1,98
Massa unitária, (g/cm ³)	1,57	1,36	1,02
Módulo de finura	2,19	6,96	6,35
D. máx. característico (mm)	2,36	19	19
Absorção do agregado (%)	0,33	2,18	9,52
Índice de forma	-	1,59	3,24

Com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade do concreto foi utilizado aditivo hiperplastificante MasterGlenium54, em que os dados técnicos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Característica do aditivo redutor de água

Característica do aditivo	Hiperplastificante
Densidade (g.cm-3)	1,10
pH	6
Percentual de sólidos (%)	40
Base química	Éter Policarboxílico
Aspecto	Líquido branco turvo

4.4. ÁGUA

Para a moldagem dos corpos de prova utilizou-se água potável proveniente da rede de abastecimento da Universidade Federal de Santa Maria.

5. DOSAGEM

O estudo da dosagem do concreto foi realizado de acordo com o método proposto por Helene e Terzian (1992). Devido à diminuição da resistência obtida pelos traços com substituição de 15 e 30% de RCD, em massa, empregou-se pozolanas para compensar esta queda, substituindo-se 25% de cimento, em massa pela CCA e CV em misturas binárias, e (15+10)% (CCA+CV) nas misturas ternárias.

O abatimento do tronco de cone especificado foi de 100±20 mm, e para melhorar a consistência do concreto utilizou-se aditivo redutor de água. O teor de água/ materiais secos

foi estabelecido em H (kg/kg)= 8,22% e argamassa seca α (kg/kg) = 0,5, em que esses dados foram fixados para todos os traços de concreto e para cada relação água/ materiais cimentícios (a/mc), na Tabela 5 estão apresentados os traços de concreto estudados.

Tabela 5 – Misturas de concreto estudadas

Composição do traço	a/mc	Traço unitário (c:cca:cv:a:b:red)	Aditivo %	Abatimento (cm)
Referência	0,35	1: 1,13: 2,13	0,16	9
	0,475	1: 1,89: 2,89	0,10	9
	0,65	1: 2,95: 3,95	-	8
RCD 15%	0,35	1: 1,13 : 1,81: 0,32	0,10	9
	0,475	1: 1,89: 2,46: 0,43	0,15	12
	0,65	1: 2,95: 3,36: 0,59	-	12
RCD 30%	0,35	1: 1,13: 1,49: 0,64	0,10	9
	0,475	1: 1,89: 2,02: 0,87	-	10
	0,65	1: 2,95: 2,77: 1,19	-	12
RCD 15% CCA 25%	0,35	0,75: 0,25: 1,02: 1,81: 0,32	0,40	11
	0,475	0,75: 0,25: 1,78: 2,46: 0,43	0,20	8
	0,65	0,75: 0,25: 2,85: 3,36: 0,59	0,20	8
RCD 30% CCA 25%	0,35	0,75: 0,25: 1,02: 1,49: 0,64	0,40	10
	0,475	0,75: 0,25: 1,78: 2,02: 0,87	0,38	10
	0,65	0,75: 0,25: 2,85: 2,77: 1,19	0,25	8
RCD 15% CV 25%	0,35	0,75: 0,25: 1,04: 1,81: 0,32	0,18	9
	0,475	0,75: 0,25: 1,80: 2,46: 0,43	0,20	8
	0,65	0,75: 0,25: 2,86: 3,36: 0,59	0,15	11
RCD 30% CV 25%	0,35	0,75: 0,25: 1,04: 1,49: 0,64	0,22	9
	0,475	0,75: 0,25: 1,80: 2,02: 0,87	0,10	11
	0,65	0,75: 0,25: 2,86: 2,77: 1,19	0,10	9
RCD 15% CCA+CV (15%+10%)	0,35	0,75: 0,15: 0,10: 1,03: 1,81: 0,32	0,30	8
	0,475	0,75: 0,15: 0,10: 1,79: 2,46 0,43	0,30	9
	0,65	0,75: 0,15: 0,10: 2,85: 3,36: 0,59	0,25	11
RCD 30% CCA+CV (15%+10%)	0,35	0,75: 0,15: 0,10: 1,03: 1,49: 0,64	0,40	10
	0,475	0,75: 0,15: 0,10: 1,79: 2,02: 0,87	0,26	10
	0,65	0,75: 0,15: 0,10: 2,85: 2,77: 1,19	0,22	9

6. PRÉ-MOLHAGEM

O emprego dos RCD ao concreto se deu com superfície saturada seca (SSS), devido a sua alta capacidade de absorção de água.

7. ENSAIOS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

7.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Os ensaios de resistência à compressão axial obedeceram a ABNT NBR 5738 (2016) e ABNT NBR 5739 (2007), moldagem e cura dos corpos de prova e ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico, respectivamente.

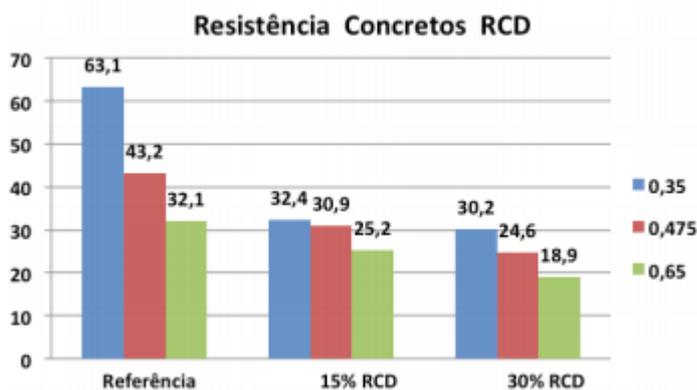
As fôrmas utilizadas para moldagem dos corpos de prova foram metálicas, com dimensões de 10 x 20 cm. Foram ensaiados 04 corpos de prova para cada traço na idade de 28 dias.

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Primeiramente fez-se um estudo comparativo das amostras quanto à resistência à compressão axial e a porcentagem de substituição de agregado graúdo por RCD, que está representado pela Figura 1.

Figura 1 – Resistência à Compressão Axial de concretos com RCD

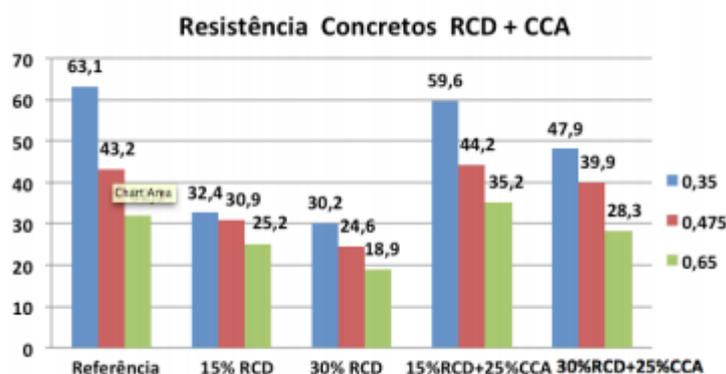


Ao analisar a Figura 1, percebe-se que os melhores resultados referentes à resistência à compressão axial foram obtidos pelas misturas sem substituições de agregados graúdos pelos agregados residuais, porém quando substituiu-se 15% e 30% de agregado graúdo por RCD com relação água/materiais cimentícios (a/mc) 0,35 houve diminuição da resistência de 48,7% e 52,1%, respectivamente. Já para a relação água materiais cimentícios (a/mc) 0,475 a diminuição de resistência foi menor, sendo 28,5% e 43,1% para as substituições de 15 e 30%, respectivamente. E as misturas com relação água materiais cimentícios (a/mc) 0,65 tiveram queda de resistência à compressão de 21,5% para 15% de substituição de RCD e 41,1% para as substituições de 30% de RCD. Constatando-se desta forma que quanto maior a porcentagem de substituição de agregados graúdos pelos residuais, maiores serão as perdas de

resistência.

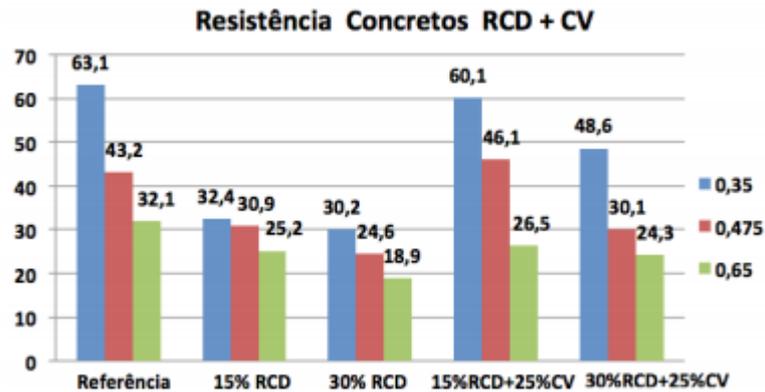
Na Figura 2, compararam-se as misturas com substituições de RCD e com RCD+CCA, em que se pode receber que as misturas com cinza de casca de arroz (CCA) resultaram em melhores resistências, tanto com substituições de 15% como de 30% de RCD, em todas as relações água/ materiais cimentícios (a/mc). Sendo que quando se substituiu 15% de RCD e 25% de CCA o aumento de resistência em relação às misturas com somente substituição de agregados resultou em 83,9%, 43% e 39,7% para as relações água materiais cimentícios (a/mc) 0,35, 0,475 e 0,65, respectivamente. Da mesma forma, quando substituiu-se 30% de RCD e 25% de CCA observou-se um aumento da resistência, mas não tanto quanto na substituição com 15%RCD+25%CCA, esse aumento foi de 58,6%, 15,3% e 49,7% para as relações água materiais cimentícios (a/ mc) 0,35, 0,475 e 0,65, respectivamente. Por meio desses resultados podemos perceber que a substituição de pozolanas acaba compensando a queda de resistência ocasionada pela substituição de agregados residuais, pois as resistências chegam bem próximas dos traços de referência.

Figura 2 – Resistência à Compressão Axial de concretos com RCD+CCA



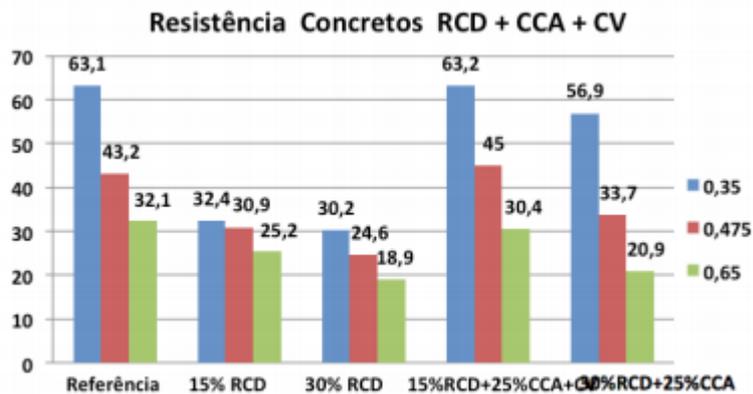
Também foram estudadas misturas com substituições de cimento por 25% de cinza volante, em que os resultados estão representados na Figura 3. Percebe-se que ocorreu um processo semelhante com a Figura 2 analisada anteriormente, em que as pozolanas, tanto a cinza de casca de arroz como a cinza volante aumentaram a resistência das misturas com utilização de agregados residuais.

Figura 3 – Resistência à Compressão Axial de concretos com RCD+CV



Além dessas análises também buscou-se estudar as misturas ternárias, que pode ser visualizada na Figura 4 a resistência à compressão das misturas com 15% CCA+10% CV em relação as misturas com somente RCD.

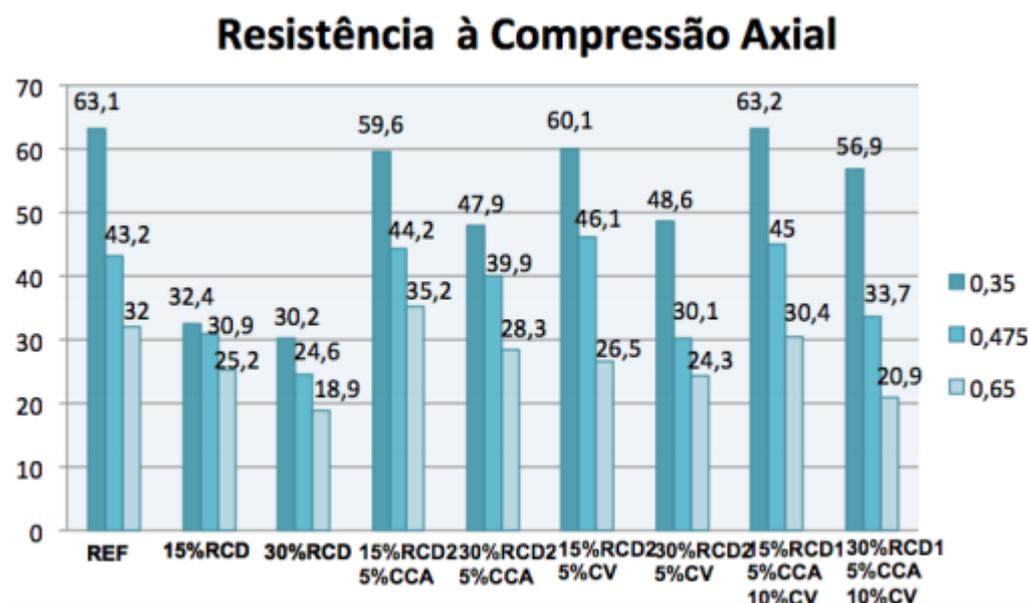
Figura 4 – Resistência à Compressão Axial de concretos com RCD + CCA +CV



Ao analisar a Figura 4 fica evidente que assim como nas misturas binárias, houve aumento de resistência em comparação com as misturas em que foi substituído somente o agregado. Esse aumento de resistência foi de 95,1%, 45,6% e 20,6% para as misturas com 15% de RCD + pozolanas e ralação água materiais cimentícios (a/mc) de 0,35, 0,475 e 0,65, respectivamente. Já para as misturas com 30% de RCD + pozolanas as resistências alcançadas não foram tão altas, sendo o aumento de 88,4%, 37% e 10,6% para as relações água materiais cimentícios (a/mc) de 0,35, 0,475 e 0,65, respectivamente.

Para melhor visualização elaborou-se a Figura 5 que representa todos os resultados de resistência à compressão axial das misturas estudadas.

Figura 5 – Resistência à Compressão Axial de todas as misturas estudadas



Por meio da Figura 5 pode-se perceber que a mistura ternária com 15% de RCD foi a que obteve melhor resultado para todas as relações água materiais cimentícios (a/mc) em relação ao traço de referência, podendo ser considerada a melhor alternativa entre as demais quanto à resistência à compressão axial. Pode ser observado também que utilizando 30% de RCD tanto nas misturas binárias como nas ternárias ocorre uma diminuição da resistência comparando-se com as misturas com 15% de RCD, sendo esta queda mais acentuada para a relação água materiais cimentícios (a/mc) 0,35.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após analisar os resultados das amostras estudadas, pode-se perceber que as misturas com substituições apenas de agregados graúdos pelos residuais apresentaram diminuição da resistência à compressão para todas as relações água/materiais cimentícios (a/mc) em relação à mistura referência. No entanto, quando se substituiu parcialmente o cimento em misturas binárias e ternárias observou-se um aumento considerável da resistência à compressão axial, em que chegou a atingir valores muito próximos das misturas de referência.

Além de melhorar as propriedades do concreto, a utilização de pozolanas contribuem principalmente para a diminuição dos impactos ambientais causados pela fabricação do

cimento Portland, sendo que nesta pesquisa nas misturas com pozolanas e 15% de RCD conseguiu-se economizar a utilização de cimento em torno de 8kg/m³, 6kg/m³ e 4kg/m³, para as relações água materiais cimentícios 0,35, 0,475 e 0,65 respectivamente. E para as misturas com 30% de RCD e pozolanas a economia de cimento foi na base de 16kg/ m³, 12kg/m³ e 9kg/m³, para as respectivas relações água materiais cimentícios (a/mc). No momento em que se substituiu somente o agregado graúdo pelo residual, obteve-se uma queda brusca na resistência à compressão dos concretos, mas ao mesmo tempo reduziu-se o consumo de cimento nas misturas, pois nos traços com substituição de 15% de RCD as economias foram de 17kg/m³, 6kg/m³ e 5kg/m³ para as respectivas relações água materiais cimentícios (a/mc) 0,35, 0,475 e 0,65. Já para as substituições de 30% de RCD as economias nos diferiram muito de quando se substituiu 15% de RCD.

Portanto, concluiu-se que é viável a utilização de agregados reciclados e pozolanas em misturas de concreto, não somente em relação à melhoria das propriedades do mesmo, mas principalmente pela redução do consumo de cimento Portland, que conseqüentemente contribui para a redução dos impactos ambientais causados pelo setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2014**. Cap. 3. Acesso em 08/07/2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes–Aterros–Diretrizes para projeto, implantação e operação**. ABNT, São Paulo. 2004.

_.NBR 12653 - Materiais pozolânicos — Requisitos. São Paulo; ABNT, 2015.

_.NBR 5733 - Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro; ABNT, 1991

_.NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro; ABNT, 2016.

_.NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ÂNGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento**. De concretos. 167p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005

BASF REPORT 2014. **Economic, environmental and social performance**. Disponível em: <https://www.basf.com/documents/corp/en/aboutus/publications/reports/2015/BASF_REPOR TS_2014.pdf>. Acessado em: 12 de janeiro de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n° 307/2002. Disponível em: <<http://mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>> Acesso em 18 de junho de 2016.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo, 1992.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed. São Paulo. Ed. Nicole Pagan Hasparyk, 2014.

PABLOS, J. M.; SICHIERI, E. P. **Study to reuse an industrial solid waste generated by foundry sands**. Journal of Materials Science and Engineering, v. 4, p. 16-25, 2010. PUCMINAS, Tempo e Clima.