



A PRODUÇÃO E O USO DE CONCRETO DE AGREGADOS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: Uma análise sistemática

SANTOS, L. L.¹

Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA

Palavras-chave: resíduos da construção, propriedades mecânicas, agregados reciclados, concreto reciclado.

Resumo

O setor da construção civil gera quantidades significativas de resíduos de construção e demolição (RCD), gerando a necessidade de criar destinos mais nobres para eles. Os agregados reciclados de concreto (ARC) possuem potencial na produção de novos concretos, porém, seu uso por si só não garante grandes propriedades mecânicas. Portanto, este trabalho buscou, a partir de uma análise de dados, identificar técnicas para melhoria dessas propriedades, constatando que métodos como tratamento superficial, carbonatação acelerada e a adição de minerais como a sílica ativa (SF) e cinza de casca de arroz (CCA) geraram resultados positivos. Verificou-se que a utilização de CCA e a relação água/cimento (a/c) interferem na resistência à tração do concreto, e o tratamento superficial demonstrou boa capacidade para reduzir a absorção de água dos agregados.

THE PRODUCTION AND USE OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE IN CIVIL CONSTRUCTION: A systematic analysis

Keywords: construction waste, mechanical properties, recycled aggregates, recycled concrete.

Abstract

The construction sector generates significant amounts of construction and demolition waste (CDW), creating the need for higher-value applications for it. Recycled concrete aggregates (RCA) have potential in the production of new concrete; however, their use by itself does not guarantee high mechanical properties. Therefore, this study sought, through data analysis, to identify techniques to improve these properties, finding that methods such as surface treatment, accelerated carbonation, and the addition of minerals like silica fume (SF) and rice husk ash (RHA) yielded positive results. It was found that the use of RHA and the water/cement (w/c) ratio affect the tensile strength of the concrete, and that surface treatment demonstrated a good capacity to reduce the water absorption of the aggregates.

INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são geralmente consumidos em grandes quantidades pelo setor da construção, produzindo, assim, significativos resíduos de construção e demolição, conhecidos como RCD nas publicações internacionais e como RCC (Resíduos da Construção Civil) nas normativas brasileiras, como a Resolução Nº 307 (Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2002) e a norma NBR 15114 de 2004, que trata da reciclagem de resíduos sólidos (Lovato, 2007; Kabir; Shayeb; Khan, 2016).

Segundo o relatório do Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente (PNUMA, 2017), o concreto é o material mais consumido no planeta, composto principalmente por água, cimento e agregados, sendo estes os maiores constituintes. Estudos mostram que os materiais da construção, especialmente os agregados, representam cerca de 50% de todos os recursos naturais extraídos (Krausmann et al., 2009).

Se por um lado há escassez de agregados naturais para a produção de concreto novo, por outro, a grande quantidade de

concreto demolido de estruturas obsoletas gera sérios problemas ecológicos e ambientais (Ossa; García; Botero, 2016). Assim, é necessário gerenciar os resíduos da construção civil para viabilizar destinos mais sustentáveis para os resíduos sólidos.

Diante disso, este estudo teve como objetivo levantar e analisar dados obtidos por meio da seleção de artigos científicos nacionais e internacionais publicados nos últimos 10 anos (2014-2024), com foco na produção e estudo do concreto reciclado. A pesquisa buscou analisar a metodologia de produção, identificar a matéria-prima reciclada (agregados reciclados ou outros resíduos incorporáveis ao concreto) e estudar suas propriedades físicas e mecânicas, a fim de avaliar seu potencial em substituir o concreto convencional em determinadas obras, visando redução de custos e construções mais sustentáveis.

Espera-se que este trabalho contribua com novas pesquisas sobre concreto reciclado e construções sustentáveis.

REFERENCIAL TEÓRICO

Após a Revolução Industrial, o rápido crescimento populacional, o desenvolvimento econômico, a má gestão do uso dos recursos

naturais e a falta de consciência ambiental serviram para tornar a gestão de resíduos uma questão de extrema importância para a sociedade (Vieira e Pereira, 2015). É sabido que com o crescimento da indústria da construção houve um aumento de forma considerável da produção de resíduos de construção e demolição (RCD) intensificando assim, problemas decorrentes de procedimentos administrativos inadequados, como o descarte descontrolado de RCD, presente especialmente nas grandes cidades (Ossa; García; Botero, 2016).

Segundo o Programa das Nações Unidas Para o Desenvolvimento (PNUD), a indústria da construção civil é responsável por consumir 12% do total de água doce encontrada no planeta, além disso, a indústria do cimento responde pela produção de 5% das emissões de gases causadores do efeito estufa e pelo consumo de 33% da energia elétrica que é produzida. Dessa forma, estima-se que cerca de 40% dos resíduos sólidos gerados nas cidades são oriundos da construção civil (Scheifer e Callejas, 2021).

De acordo com a Resolução do CONAMA nº 307, de 5 de julho de

2002, os resíduos sólidos da construção civil podem ser definidos como sendo todos aqueles materiais provenientes de construções, reformas, reparos, demolições e obras de construção civil. Esses resíduos consistem em diferentes tipos de materiais, ou seja, são resíduos heterogêneos que podem conter qualquer material que faça parte de uma edificação, bem como quaisquer outros materiais utilizados durante as obras (Vieira e Pereira, 2015). E apesar dessa heterogeneidade, a quase totalidade dos materiais que a compõem é de alto valor agregado e de boa resistência mecânica, como areia, pedra-britada, concreto e argamassa endurecidos, tijolos, caco cerâmico e madeira (Oliveira, 2006).

No entanto, assim como o agregado natural, a qualidade dos agregados reciclados, em termos de distribuição de tamanho, absorção, abrasão, etc., também precisam ser avaliados antes de serem utilizados (Akash; Kumar; Sudhir, 2007). Sendo assim, as maiores diferenças entre os agregados reciclados e naturais são de forma resumida: 1) a forma do grão e a textura superficial, tendendo a ser mais

irregular no caso do material reciclado; 2) a densidade, que geralmente é menor no caso dos agregados reciclados devido a sua alta porosidade, e 3) a absorção de água, que consiste na diferença mais marcante entre os dois materiais, quando se trata de propriedades físicas (Motta, 2005).

De acordo com Kapoor, Singh S. e Singh B. (2016), a presença de argamassa residual, relativamente macia e porosa, nos agregados reciclados de concreto (ARC) torna-os mais porosos, com menor densidade específica e maior capacidade de absorção de água. Como consequência, os ARC apresentam propriedades físicas e mecânicas inferiores em comparação aos agregados naturais de concreto (ANC).

Os agregados reciclados de concreto (ARC) tem como finalidade substituir de forma parcial ou total o material natural usualmente empregado para a produção do concreto e devido a essa perca de qualidade que os RCD apresentam, algumas técnicas são utilizadas com o intuído de melhorar as suas propriedades físicas e mecânicas assim como, a do concreto de forma geral (Gomes; Poggiali; Azevedo, 2019; Silva, et al.,

2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa foram utilizadas algumas ferramentas digitais tais como, os buscadores acadêmicos Google Scholar e Science Direct, o portal Periódico CAPES, a BDTD (Biblioteca Digital de Teses e Dissertações) e o diretório de revistas SciELO (Scientific Electronic Library Online), com o intuito de identificar e selecionar trabalhos acadêmicos que têm como ponto principal a produção de concreto reciclado e avaliar suas características, propriedades e o seu potencial em substituir o concreto convencional em determinadas situações com o objetivo de reduzir custos além de ser uma prática sustentável.

O processo metodológico compreendeu 5 etapas conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1: Etapas do processo metodológico.

A etapa de elaboração da pesquisa consistiu na busca por literaturas científicas que tem objetivo principal a utilização de matéria-prima reciclada tal como o agregado reciclado ou quaisquer outros resíduos da construção civil que possam ser utilizados para a produção de concreto reciclado.

A busca da literatura se deu a partir da utilização de ferramentas tecnológicas com o intuído de obter materiais científicos disponíveis em bases de dados, diretórios de revistas, portais e sites oficiais na internet tais como: Google Scholar e Science Direct, o portal Periódico CAPES, o BD TD (Biblioteca Digital de Teses e Dissertações) e o diretório de revistas SciELO (Scientific Electronic Library Online).

A pesquisa foi realizada utilizando os descritores: “agregados reciclados”, “concreto reciclado”, “propriedades do concreto de agregados reciclados”.

A etapa de seleção dos trabalhos teve como objetivo registrar os resultados obtidos a partir da busca realizada em base de dados quando utilizadas as palavras-chave pré-determinadas e levando em consideração o período de tempo de 10 anos (2014-2024) estabelecido

previamente. Foram analisados artigos científicos, monografias, dissertações ou teses e selecionados aqueles que estão de acordo com os critérios desta pesquisa.

Os critérios estabelecidos para seleção dos trabalhos foram: 1. Produções acadêmicas dos últimos 10 anos; 2. Trabalhos acadêmicos que produziram concretos de agregados reciclados; 3. Trabalhos acadêmicos que analisaram propriedades físicas e mecânicas dos concretos. Trabalhos duplicados foram excluídos. Todas as produções selecionadas tiveram as seguintes informações extraídas: 1. Título; 2. Autor; 3. Ano de publicação; 4. Técnica utilizada.

A etapa de coleta de dados consistiu em obter dados a partir dos resultados obtidos por cada produção acadêmica e avaliar o processo de produção do concreto, a matéria-prima reciclada utilizada, as propriedades e características do concreto e a sua capacidade e viabilidade em substituir o concreto convencional.

A quinta etapa consistiu no estudo e demonstração dos dados que foram extraídos na etapa anterior utilizando gráficos,

tabelas, imagens etc., com o objetivo de estabelecer um modelo que facilite a organização dos dados. A partir dessa etapa, foi possível determinar uma conclusão a respeito da viabilidade da fabricação de concreto reciclado e sua implantação no mercado da construção civil atual.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando o descritor 1 “agregados reciclados” e aplicando o filtro de 2014-2024, foram gerados 15.400 resultados do Google Acadêmico, 17 resultados no Science Direct, 315 resultados no Periódicos CAPES, 351 resultados na BDTD e 49 resultados no ScieELO.

Para a pesquisa, utilizando o descritor 2 “concreto reciclado” e aplicando o filtro de 2014-2024, foram gerados 15.600 resultados do Google Acadêmico, 25 resultados no Science Direct, 275 resultados no Periódicos CAPES, 228 resultados na BDTD e 42 resultados no ScieELO.

Já utilizando o descritor 3 “propriedades do concreto de agregados reciclados” e aplicando o filtro de 2014-2024, foram gerados 13.400 resultados do Google Acadêmico, 3 resultados no Science Direct, 71 resultados

no Periódicos CAPES, 120 resultados na BDTD e 17 resultados no ScieELO.

Diante disso, foram selecionadas 11 produções acadêmicas desenvolvidas nos últimos 10 anos (2014-2024), sendo estes 10 artigos científicos e uma dissertação de mestrado. Os trabalhos selecionados tinham como objetivo a utilização parcial ou total de agregados reciclados para a produção de concretos, além da utilização de alguma técnica ou solução desenvolvida com o objetivo de melhorar as propriedades físicas e mecânicas do concreto de forma geral.

Seguindo os critérios pré-estabelecidos na terceira etapa da Metodologia que consiste na etapa de seleção dos trabalhos, tem-se os seguintes criterios: 1. Produções acadêmicas dos últimos 10 anos; 2. Trabalhos acadêmicos que produziram concretos de agregados reciclados; 3. Trabalhos acadêmicos que analisaram propriedades físicas e mecânicas dos concretos.

A relevância e o impacto dos artigos selecionados foram obtidos através da Plataforma Sucupira Qualis a qual foi utilizada para coletar o Qualis das revistas. Dessa forma, de acordo com a

Figura 2, dentre os trabalhos tem-se o seguinte número: Qualis A1 (2), A2 (1), A3 (2), B1 (1), B2 (2), B4 (1), B5 (1), Repositório institucional (1) (representado pela sigla RI).

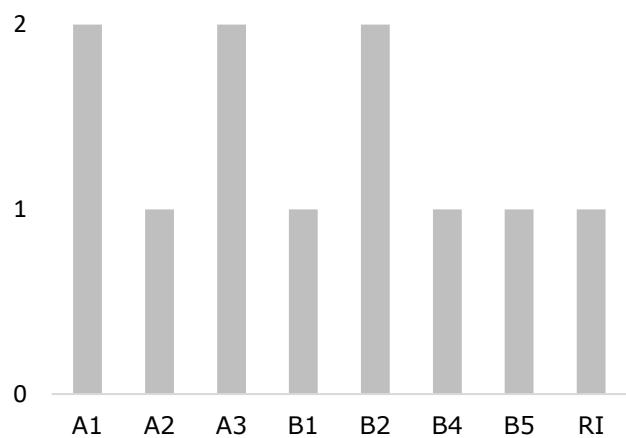


Figura 2: Distribuição dos trabalhos de acordo com o Qualis da revista.

A partir do Figura 3, pode-se observar a distribuição dos trabalhos científicos de acordo com a plataforma digital em que foram localizados.

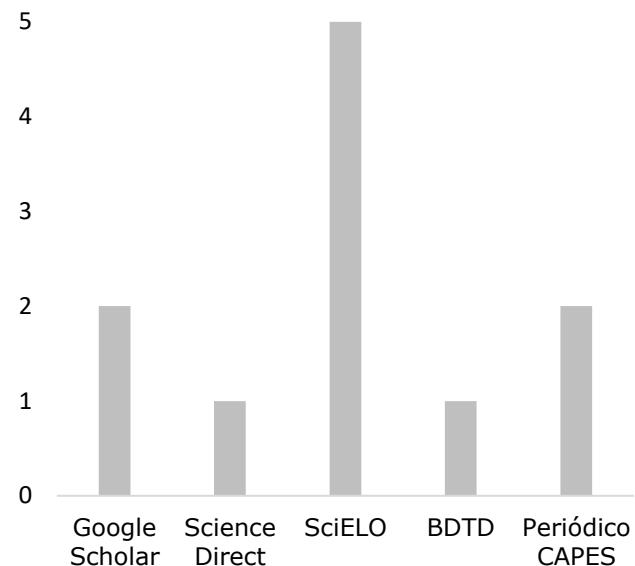


Figura 3: Distribuição dos trabalhos analisados por plataforma digital.

Como se pode observar na Figura 4, a distribuição dos trabalhos de acordo com o ano de publicação se deu da seguinte maneira: 2013 (1), 2014 (2), 2018 (1), 2019 (2), 2020 (3), 2021 (1), 2022 (1).

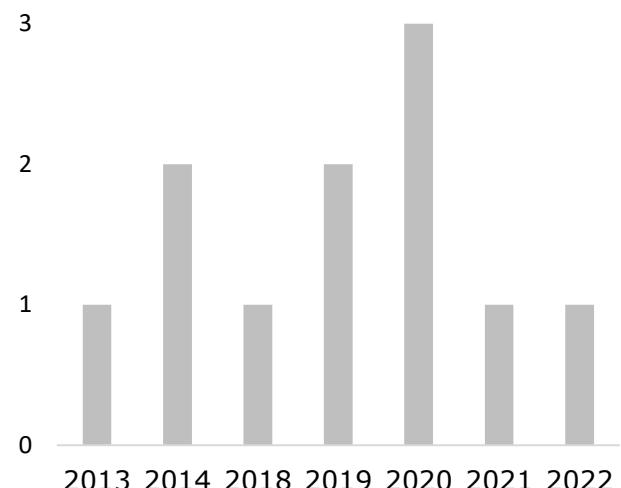


Figura 4: Distribuição dos trabalhos analisados de acordo com o ano de publicação.

Foram analisadas produções nacionais e internacionais, diante

disso, como se pode observar no Figura 5, há a presença de produções de acadêmicas de 6 países, sendo elas distribuídas da seguinte maneira: Brasil (55%), Espanha (9%), China (9%), Colômbia (9%), Iran (9%) e Paquistão (9%).

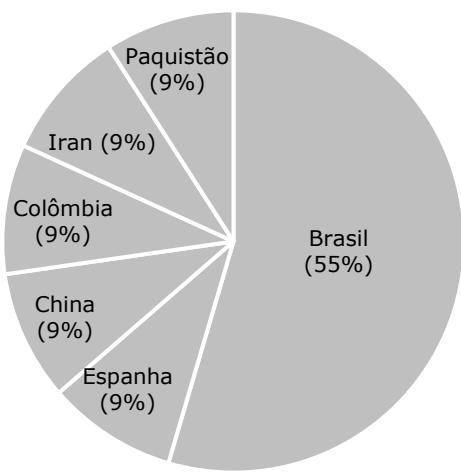


Figura 5: Distribuição da quantidade de trabalhos por país de origem.

Dentre os 11 trabalhos selecionados, a maioria (64%) consistiam em produções escritas na língua inglesa, seguida pela língua portuguesa com 36%, como se pode conferir a partir do Figura 6.

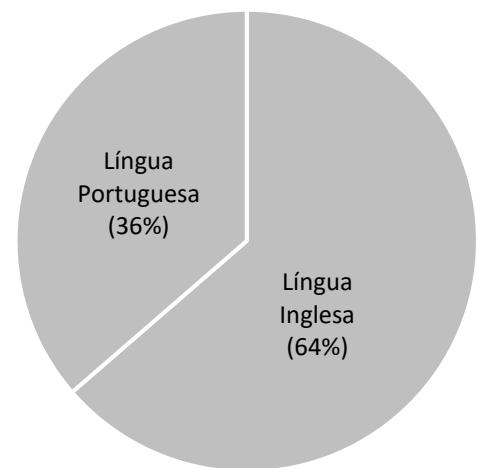


Figura 6: Distribuição da quantidade de trabalhos de acordo com a língua em que foram escritos

A seguir na Tabela 1, é possível verificar a relação de todos as produções acadêmicas que foram avaliadas durante a produção deste trabalho. O quadro contém informações como: título do trabalho, autor, ano, técnica utilizada e estão dispostos em ordem cronológica.

TRABALHO	AUTOR	ANO	TÉCNICA UTILIZADA	Evaluating the durability of recycled concrete made of coarse recycled aggregate concrete containing silica-fume and natural zeolite	JALILIFAR ; SAJEDI; TOOSI.	2020	Utilização de Sílica ativa e Zeolita Natural
Estudo da carbonatação em concretos com agregado graúdo reciclado de concreto e cinza de casca de arroz	SARTORI	2013	Utilização de cinzas de casca de arroz (CCA) como material cimentício suplementar				
<i>Effect of mixed recycled aggregates on mechanical properties of recycled concrete</i>	ROBLES et al.	2014	Utilização de agregados reciclados mistos	Tratamento superficial de agregados graúdos reciclados para a produção de concretos	SILVA et al.	2020	Tratamento superficial feito em pasta de cimento
Emprego de agregados reciclados de concreto carbonatados na produção de novos concretos	FRÖHLICH et al.	2014	Carbonatação	Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregados de resíduo de concreto utilizando a abordagem de mistura dois estágios	SILVA e CAPUZZO	2020	Mistura dois estágios
<i>Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates</i>	MAYORGA et al.	2018	Utilização de agregados reciclados mistos				
<i>Influence of glass fibers on mechanical and durability performance of concrete with recycled aggregates</i>	ALI e QURESHI	2019	Utilização de fibra de vidro	<i>Properties of recycled aggregates from different composition and its influence on concrete strength</i>	SALGADO e SILVA	2021	Utilização de agregados reciclados mistos
<i>Shrinkage and porosity in concrete produced with recycled concrete aggregate and rice husk ash</i>	CECCONELL O et al.	2019	Utilização de cinzas de casca de arroz (CCA) como material cimentício suplementar	<i>Properties investigation of recycled aggregates and concrete modified by accelerated carbonation through increased temperature</i>	LU et al.	2022	Carbonatação acelerada através do aumento de temperatura

Tabela 1: Trabalhos selecionados

A partir da análise bibliográfica selecionada, tornou-se possível identificar algumas características apresentadas pelos concretos produzidos. E essas características dependem de

alguns fatores como mostra a Tabela 2, tais como o percentual de agregados reciclados graúdos (ARG), agregados reciclados finos (ARF) e a relação água/cimento (a/c) utilizados por cada autor durante a produção dos concretos. Vale salientar que nenhum dos autores mencionaram a utilização de ARF durante o processo.

AUTOR	ARG (%)	ARF (%)	RELAÇÃO A/C
SARTORI (2013)	25% e 50%	-	0,42; 0,53 e 0,64
ROBLES <i>et al.</i> (2014)	ARG ₁ : 50% ARG ₂ : 50%	-	0,55
FRÖHLICH <i>et al.</i> (2014)	50% 50% Carbonatado	-	0,56
MAYORGA <i>et al.</i> (2018)	ARG ₁ : 25, 50, 75 e 100%. ARG ₂ : 25, 50, 75 e 100%.	-	0,28; 0,30 e 0,34
ALI e QURESHI (2019)	0, 50 e 100%	-	0,55
CECCONELLO <i>et al.</i> (2019)	25% e 50%	-	0,64
JALILIFAR; SAJEDI; TOOSI (2020)	0, 25, 50 e 100%	-	0,36
SILVA <i>et al.</i> (2020)	100%	-	0,80

SALGADO e SILVA (2021)	20%	-	0,50
	30%		
	30%		
LU <i>et al.</i> (2022)	(Carbonatado)	-	0,46
	100%		
	(Carbonatado)		

Tabela 2: Percentual de agregados e relação água/cimento

Tanto o percentual de agregados reciclados utilizados como a relação água/cimento interferem diretamente nas propriedades físicas e mecânicas do concreto. Desta forma, constatou-se que a utilização de agregados reciclados combinados por si só não garante melhorias significativas na capacidade de resistência a compressão do concreto como demonstrou Mayorga *et al.* (2018) em seu estudo no qual foram produziram concretos utilizando agregados reciclados combinados com substituições de 25%, 50%, 75% e 100%. Todos os concretos apresentaram redução de cerca de 40% da resistência a compressão quando comparado com o concreto de agregados 100% naturais. No entanto, para o concreto produzido com 100% de agregados reciclados essa redução foi de 35%. Sabendo-se disso, alguns estudos buscaram incrementar determinador materiais à composição dos

concretos além dos ARC, como por exemplo, a sílica filme, cinza de casca de arroz, e fibra de vidro como também a realização da técnica de tratamento superficial dos agregados e a carbonatação acelerada gerando melhorias significativas em suas propriedades.

Dessa forma, a partir da leitura dos trabalhos, foram identificadas algumas dessas técnicas, utilizadas com o objetivo de melhorar as propriedades desses materiais. A Tabela 2 abaixo, corresponde aos concretos produzidos que obtiveram os melhores resultados de suas propriedades considerando também a proporção de suas misturas.

AUTOR	MISTURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO
SARTORI (2013)	ARG = 50% A/C = 0,42 CCA: 20%	42 MPa	38,80 MPa
ROBLES et al. (2014)	ARG ₁ =50% A/C = 0,55	36,02 MPa	2,68 MPa
FRÖHLICH et al. (2014)	ARG = 50% (Carbonata do) A/C = 0,56	30,4 MPa	-
MAYORGA et al. (2018)	ARG ₁ =100% A/C = 0,28	5,79 MPa	-

ALI e QURESHI (2019)	ARG = 50% A/C = 0,55 FV: 0,5%	38,50 MPa	3,25 MPa
CECCON et al. (2019)	ARG = 50% A/C = 0,64 CCA = 20%	30,50 MPa	-
JALILIFAR; SAJEDI; TOOSI (2020)	ARG = 100% A/C = 0,36 SF = 10%	57,40 MPa	-
SILVA et al. (2020)	ARG = 100% A/C = 0,80	30,07 MPa	13,11 MPa
SILVA e CAPUZZO (2020)	ARG = 20% A/C = 0,50	40 MPa	3,9 MPa
SALGAD e SILVA (2021)	ARG = 20% A/C = 0,50	29 MPa	-
LU et al. (2022)	ARG = 30% (Carbonata do) A/C = 0,46	41,30 MPa	-

SF: Sílica filme; CCA: Cinza de casca de arroz; FV: Fibra de vidro.

Tabela 2: Proporção de misturas e propriedades físicas/mecânicas.

O estudo realizado por Jalilifar, Sajedi e Toosi (2020), mostra que devido a quantidade e o tamanho das porosidades apresentadas quando há uma elevação do nível de reposição de ARC em concretos, a resistência a compressão cai significativamente. Esta diminuição da resistência a compressão do concreto produzido com ARC 100% comparado ao concreto ANC 100% se dá por dois fatores principais. Primeiro, a absorção de água dos ARCs é maior do que a

dos ANC, devido a isso uma grande quantidade de água será absorvida pelo ARC reduzindo assim, a relação a/c causando uma hidratação incompleta do cimento. E Segundo, essa menor resistência e alta porosidade do ARC irá causar uma concentração de tensão quando submetido a uma pressão axial causando assim, um efeito negativo na resistência a compressão do concreto reciclado.

Robles *et al.*(2014) também verificou que a presença de materiais cerâmicos e de algumas impurezas presentes nos agregados reciclados mistos foi responsável pela baixa performance apresentada pelo concreto reciclado. Os resultados confirmam que o aumento no percentual de cerâmica presente nos agregados reciclados utilizados na substituição teve alto efeito negativo na resistência mecânica do concreto produzido.

Segundo Sartori (2013) a utilização da cinza de casca de arroz (CCA) contribui na compensação das eventuais perdas de resistência a compressão que os concretos produzidos com ARC apresentam, ou seja, a substituição do cimento por CCA tem potencial benéfico quando incorporado em concretos

produzidos com até 50% de ARC em substituição ao ANC.

Os resultados obtidos por Sartori (2013), demonstram que a utilização da CCA e a relação a/c possuem maior influência sobre a capacidade de resistência a tração do concreto. Por outro lado, o ARC possui pouca significância. Sendo assim, constatou-se que, conforme aumenta-se o teor de substituição da cinza de casca de arroz gera também um aumento da resistência a tração do concreto e quanto maior a relação a/c menor resistência a tração o concreto irá apresentar.

Outra propriedade bastante importante trata-se do módulo de elasticidade (E) pois ela reflete na capacidade que o concreto possui de deformar elasticamente. No entanto, como o módulo de elasticidade do concreto é em função do módulo de elasticidade dos agregados e da matriz cimentícia o qual, em se tratando de ARC é menor do que ANC, é de se esperar uma redução do módulo de elasticidade do concreto reciclado de forma geral (Robles *et al.*, 2014).

A avaliação do teor de absorção de água dos agregados reciclado de concreto é de fundamental importância visto que como comentado anteriormente, este

tipo de agregado possui grande capacidade de absorção de água o que afeta a trabalhabilidade da mistura de concreto (ROBLES *et al.*, 2014).

É sabido que as propriedades físicas dos agregados naturais são melhores que as dos agregados reciclados, especialmente quando se trata do teor de absorção de água, no entanto, de acordo com o estudo de Lu *et al.* (2022), após a carbonatação acelerada, a absorção de água obteve uma redução de 23,06%. Seguindo está mesma linha de raciocínio, o estudo de Fröhlich *et al.* (2014), mostrou que a utilização da técnica de carbonatação acelerada garantiu aos agregados reciclados uma redução de absorção de água de 20,8% quando comparado com os agregados que não sofreram o efeito da carbonatação acelerada.

Já o estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2020), buscou reduzir essa taxa de absorção apresentada pelos agregados reciclados utilizando a técnica de tratamento superficial na proporção de 1:10 (uma parte de cimento e 10 partes de água) e 2:10 (duas partes de cimento e 10 de água). A proporção 2:10 resultou em melhoria no teor de absorção de água do concreto bem como aumento das suas

propriedades físicas.

CONCLUSÕES

1. A partir deste estudo, foi possível identificar que a utilização de agregados reciclados de concreto (ARC) possuem sim, grande potencial para serem incorporados na produção de novos concretos visando principalmente a economia e a prática sustentável.
2. Todavia, de acordo com Mayorga *et al.* (2018) a utilização de agregados reciclados por si só, não garantem grandes capacidades mecânicas ao concreto, sendo assim, necessário além do tratamento dos agregados, a utilização de algumas técnicas e adições minerais como solução a tal deficiência.
3. Verificou-se que tanto a utilização de CCA quanto a relação a/c interferem na resistência a tração do concreto enquanto que o ARC possui pouca interferência.
4. Além disso, o tratamento superficial utilizado por Silva *et al.* (2020), demonstrou boa capacidade em reduzir o

teor de absorção de água apresentada pelos agregados.

5. Portanto, conclui-se que com o devido tratamento e utilizando algumas adições materiais, os concretos reciclados se tornam uma alternativa viável e sustentável a ser implementada no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

AKASH, R.; KUMAR, N. J.; SUDHIR, M. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, p. 71-81, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.010>.

ALI, B.; QURESHI, L. A. Influence of glass fibers on mechanical and durability performance of concrete with recycled aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 228, p. 1-15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116783>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15114: **Resíduos sólidos - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002: Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. CONAMA, 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 12 mai. 2024.

CECCONELLO, V.; SARTORI, B. R. C.; KAZMIERCZAK, C. S.; MANCIO, M. Shrinkage and porosity in concrete produced with recycled concrete aggregate and rice husk ash. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 12, n. 3, p. 694-704, 2019.

FRÖHLICH, J.; HENTGES, T. I.; KULAKOWSKI, M. P. Emprego de agregados reciclados de concreto carbonatados na produção de novos concretos. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 1, n. 2, p. 3-9, dez. 2014.

GOMES, C. L.; POGGIALI, F. S. J.; AZEVEDO, R. C. Concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e adições minerais: uma análise bibliográfica. **Revista Matéria**, v. 24, n. 2, 2019.

JALILIFAR, H.; SAJEDI, F.; TOOSI, V. R. Evaluating the durability of recycled concrete made of coarse recycled aggregate concrete containing silica-fume and natural zeolite. **Revista de La**

Construcción, v. 19, n. 3, p. 457-473, 2020. DOI: <http://orcid.org/0000-0002-4487-4653>.

KABIR, S.; SHAYEB, A. A.; KHAN, I. M. Recycled Construction Debris as Concrete Aggregate for Sustainable Construction Materials. **Procedia Engineering**, v. 145, p. 1518-1525, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.191>.

KAPOOR, K.; SINGH, S. P. P.; SINGH, B. Durability of self-compacting concrete made with recycled concrete aggregates and mineral admixtures. **Construction and Building Materials**, v. 128, p. 67-76, dez. 2016.

KRAUSMANN, F.; GINGRICH, S.; EISENMAYER, N.; ERB, K. H.; HABERL, H.; KOWALSKI, M.; F. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. **Ecological Economics**, v. 68, p. 2696-2705, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.007>.

LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para a utilização em concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

LU, Z.; TAN, Q.; LIN, J.; WANG, D. Properties investigation of recycled aggregates and concrete modified by accelerated carbonation through increased temperature.

Construction and Building Materials, v. 341, p. 1-14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127813>.

MAYORGA, V. A.; GARCÉS, M; A. U.; GÓMEZ, D. P.P.; ALVARADO, Y. A.; TORRES, B.; GASCH, I. Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates. **Ingeniería e Investigación**, v. 38, n. 2, p. 34-41, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/ing.inv.estig.v38n2.67491>.

MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

OLIVEIRA, M. J. E. Agregado reciclado empregado na produção de concreto modificado com aditivo. **Exacta**, v. 4, n. especial, p. 15-24, nov. 2006.

OSSA, A.; GARCÍA, J. L.; BOTERO, E. Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: a sustainable alternative for the pavement construction industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 379-386, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.088>.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD), Buildings: investing in energy and resource efficiency, In: Towards a Green Economy: pathways to sustainable development and poverty eradication, 2012.

ROBLES, R.; GONZÁLES, G.; VALDÉS, J.; POZO, M. D.; ROMERO, G. Effect of mixed recycled aggregates on mechanical properties of recycled concrete. **Magazine of Concrete Research**, v. 67, n. 5, p. 247-256, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/macr.14.00217>.

SALGADO, F. A.; SILVA, F. A. Properties of recycled aggregates from different composition and its influence on concrete strength. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 14, n. 6, p. 1-12, mar. 2021.

SARTORI, B. R. C. **Estudo da carbonatação em concretos com agregado graúdo reciclado de concreto e cinza de casca de arroz**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

SCHEIFER, D. M.; CALLEJAS, I. J. A. Caracterização física e mecânica de blocos de concreto com incorporação de areia de resíduos de construção civil. **Revista Matéria**, v. 26, n. 4, 2021.

SILVA, C. M. M. A.; CAPUZZO, V. M. S. Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregados de resíduo de concreto utilizando a abordagem de mistura dois estágios. **Revista Matéria**, v. 25, n. 1, 2015.

SILVA, M. G. F.; ALMEIDA, M. O.; SONCIM, S. P.; OLIVEIRA, C. S. A. Tratamento superficial de agregados graúdos reciclados para a produção de concretos. **Revista Tecnologia Fortaleza**, v. 41, n. 2, p. 1-15, dez. 2020.

United Nations Environment Programme, Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cementbased materials industry, 2017. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25281/eco_efficient_cements.pdf?sequence=1&isAllowed=y

equence=1&isAllowed=y. Acesso
em: 13 maio 2024.

VIEIRA, C. S.; PEREIRA, P. M. Use
of recycled construction and
demolition materials in
geotechnical applications: A
review. **Resources, Conservation and Recycling**, v.
103, p. 192-204, 2015. DOI:
[https://doi.org/10.1016/j.resconre
c.2015.07.023](https://doi.org/10.1016/j.resconre.2015.07.023).