

Avaliação técnica de concreto estrutural fabricado com agregado graúdo de resíduos de construção e demolição

Technical evaluation of structural concrete made with coarse aggregate from construction and demolition waste

Evaluación técnica de hormigón estructural elaborado con árido grueso procedente de residuos de construcción y demolición

Recebido: 19/05/2022 | Revisado: 29/05/2022 | Aceito: 14/06/2022 | Publicado: 26/06/2022

Poliana de Souza Maia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4061-0423>
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
E-mail: polianamaia@hotmail.com

Ladir Antônio da Silva Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0193-7060>
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
E-mail: ladir@hotmail.com

Pedro Valle Salles

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5800-5184>
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
E-mail: pedrovallesalles025@gmail.com

Malhény Vitoria Silva Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7360-7220>
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
E-mail: vivisilva@hotmail.it

Resumo

O setor da construção civil é considerado um dos maiores geradores de resíduos sólidos do mundo, sendo responsável pelo consumo de grande parte dos recursos naturais não renováveis. Uma opção para reduzir o uso desses recursos é reutilizar os resíduos como agregados no concreto. Diante disso, o presente trabalho visa estudar a incorporação de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) como agregado graúdo reciclado (AGR) no concreto estrutural, tendo-se como foco a análise da eficácia mecânica no redimensionamento do traço de concreto com AGR. A metodologia consistiu em estabelecer um traço referência e a partir dele definiu-se três tipos de traços com substituição de 100% do agregado graúdo natural pelo reciclado. Para os traços com AGR a quantidade de água e areia se mantiveram constantes e a porcentagem de cimento, em relação ao traço referência, foi variada nas proporções de 0%, 10% e 20%. Os resultados do *Slump Test* mostraram que a utilização de aditivo superplastificante provoca aumento do abatimento nas misturas contendo AGR. Em relação à resistência à compressão aos 28 dias, somente o traço com 20% de adição de cimento apresentou resistência próxima à referência. Os demais traços tiveram quedas de resistência quando comparados com o concreto referência, sendo a maior delas de 21,60% no traço sem adição de cimento. Conclui-se que todos os concretos fabricados podem ser classificados como estruturais, uma vez que a menor resistência foi cerca de 25 MPa e que o traço com 20% de adição de cimento alcançou propriedades resistentes semelhantes ao traço convencional.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição; Agregados reciclados para concreto; Concreto com agregado reciclado.

Abstract

Civil construction sector is one of the largest producers of solid waste in the world and it is responsible to a enormous quantity of non-renewable natural resource consumption. An option to reduce the use of these resources is waste recycling as concrete aggregates. This article aims to present a study of Construction and Demolition Waste (CDW) use as recycled coarse aggregate (RCA) in structural concrete, focusing on the mix design effectiveness analysis of the concrete with RCA. The methodology consisted of establishing a reference mix design, then three concrete types were defined with total replacement of natural coarse aggregate by RCA. The amount of water and sand were constant and the percentage of cement varied in the proportions of 0%, 10% and 20%. Results of the *Slump Test* showed that the use of superplasticizer leads to an increase of the workability of mix design containing RCA. Regarding compressive strength at 28 days, only the concrete with 20% of cement addition showed strength value near to the reference. The other concretes presented strength with low values when compared to the reference, being the biggest

reduction equal to 21.60% (mix design with 0% of cement). The three studied concretes can be classified as structural, since the lowest obtained strength was equal to 25.34 MPa. The concrete with addition of 20% of cement presented strength properties similar to the reference concrete.

Keywords: Construction and demolition waste; Recycled aggregates for concrete; Recycled aggregate concrete.

Resumen

El sector de la construcción civil es uno de los mayores productores de residuos sólidos del mundo y es responsable por una gran cantidad de consumo de recursos naturales no renovables. Una opción para reducir el uso de estos recursos es el reciclaje de residuos como áridos de hormigón. Este artículo tiene como objetivo presentar un estudio del uso de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como agregado grueso reciclado (RCA) en concreto estructural, enfocándose en el análisis de la efectividad del diseño de trazas del concreto con RCA. La metodología consistió en establecer una traza de referencia. Luego, se definieron tres tipos de trazas con reemplazo total de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado. La cantidad de agua y arena fue constante y el porcentaje de cemento varió en las proporciones de 0%, 10% y 20%. Los resultados del Slump Test mostraron que el uso de un aditivo superplastificante conduce a un aumento de la trabajabilidad de las trazas que contienen RCA. En cuanto a la resistencia a la compresión a los 28 días, solo la traza con 20% de adición de cemento mostró valor de resistencia cercano a la traza de referencia. Las demás trazas presentaron resistencia con valores bajos en comparación con la referencia, siendo la gran reducción igual al 21,60% (traza con 0% de cemento). Las tres trazas estudiadas pueden clasificarse como hormigón estructural, ya que la menor resistencia obtenida fue igual a 25,34 MPa. La traza con adición del 20% de cemento presentó propiedades de resistencia similares a la traza de hormigón convencional.

Palabras clave: Residuos de construcción y demolición; Áridos reciclados para hormigón; Hormigón con árido reciclado.

1. Introdução

O ramo da construção civil tem crescido ao longo dos anos em razão do desenvolvimento e crescimento das cidades. Em consequência disso, aumenta-se também o consumo de recursos naturais, a quantidade de resíduos gerados e os problemas ambientais. O setor consome cerca de 44% da energia gerada no Brasil e 75% de todos os recursos naturais, e é responsável pela emissão de 9% de CO₂ (Lauriano, 2013).

O consumo de agregados em 2019 no Brasil alcançou 532 milhões de toneladas (ANEPAC, 2020) – que corresponde a 6,96 quilogramas/habitante/dia– e a quantidade de resíduo de construção e demolição (RCD) coletada por dia em vias e logradouros públicos nas cidades brasileiras em 2018 foi de 122.012 toneladas – que equivale a 0,585 quilogramas/habitante/dia (ABRELPE, 2019). Toda via, a quantidade de RCD produzido no Brasil é ainda maior, pois não foram contabilizados os resíduos que são de responsabilidade do gestor da obra.

Tendo em vista que a geração de RCD traz consigo diversos impactos ao meio ambiente, como a poluição de cursos d'água, do solo e do ar, além de apresentar uma ameaça à saúde da população devido a possibilidade de transmissão de doenças (ABRECON, 2021), é imprescindível adotar medidas que promovam a reciclagem desses resíduos de forma a utilizá-los como fonte de matéria prima para a confecção de subprodutos.

A reciclagem do RCD apresenta vantagens econômicas, ambientais e sociais, como a economia na compra de matéria-prima; a redução da poluição, de enchentes e assoreamento de rios e córregos ocasionados pelo entulho; e a preservação das reservas naturais de matéria-prima (ABRECON, 2020). Além disso, a utilização de resíduos de construção e demolição em concretos contribui para a reduzir a emissão de gases do efeito estufa, uma vez que o RCD é uma fonte potencial para a captura de CO₂ (Kaliyavaradhan, 2017).

Dessa forma, uma boa opção para reduzir o consumo de agregados naturais na fabricação do concreto é utilizar os resíduos gerados pela própria construção civil como forma de agregado, contribuindo ao mesmo tempo para a correta destinação dos resíduos e reduzindo os impactos ambientais, econômicos e sociais. Através dos estudos de Bazuco (1999), Viera & Molin (2004), pode-se perceber que a substituição dos agregados naturais por agregados reciclados influencia nas propriedades do concreto, tanto no seu estado fresco como no seu estado endurecido. Quanto ao estado fresco, o uso dos agregados irá impactar nas condições da mistura, na perda de consistência e na trabalhabilidade (Tenório, 2007). Em relação ao

estado endurecido o concreto com agregado reciclado, quando comparado ao concreto convencional, normalmente possui maior retração volumétrica por retração, maior porosidade, menor resistência à compressão e menor módulo de deformação à medida que aumenta a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado (Leite, 2001; Salles, 2018).

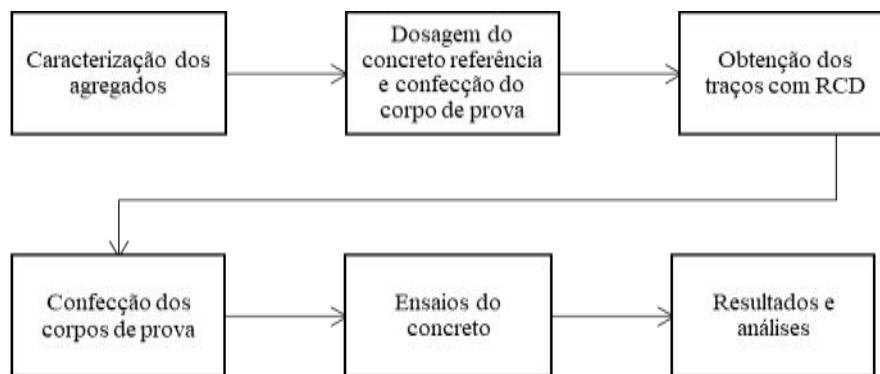
Analisando os estudos de substituição de agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado em traços de concreto encontrados na literatura, percebe-se que, estas pesquisas normalmente ficam limitadas a porcentagens de substituição do agregado natural pelo agregado de RCD em que as características do concreto com agregados de RCD são próximas às características do concreto com agregados naturais. Não sendo realizada uma análise da possibilidade de melhoria dos traços com aproveitamento de 100% dos agregados graúdos reciclados, com o aumento do consumo de cimento e/ou utilização de aditivos superplastificantes, com intuito de manter as propriedades do concreto. Uma vez que, a substituição de 100% dos agregados por agregados reciclados está relacionada com a perda de propriedades mecânicas do traço.

Sendo assim, o presente trabalho visa a estudar a incorporação de RCD como agregado graúdo reciclado no concreto estrutural, por meio da substituição de 100% do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo de RCD e da avaliação da eficácia do redimensionamento do quantitativo de material do traço de concreto com agregado de RCD, mediante adição de aditivo superplastificante e do aumento de consumo de cimento, para avaliação de suas propriedades mecânicas em relação ao traço referência, com agregado graúdo natural.

2. Materiais e Métodos

As etapas que compõem esta pesquisa foram esquematizadas no fluxograma da Figura 1, para fornecer uma visão geral do presente estudo.

Figura 1: Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Autores (2022).

Inicialmente, efetuou-se a caracterização dos agregados naturais e do agregado graúdo reciclado, para assim estabelecer um traço referência pela metodologia de dosagem da ABCP (1998). A partir da caracterização, foi possível definir os traços com substituição de 100% do agregado graúdo natural (AGN) pelo agregado graúdo reciclado (AGR), tendo como foco o aumento do consumo de cimento na mistura e a incorporação de aditivo superplastificante, com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade e a resistência do concreto contendo AGR. Após a definição de todos os parâmetros necessários, efetuou-se a confecção do concreto, a moldagem e a cura dos corpos de prova. Como última etapa, realizou-se a caracterização dos traços de concreto em estudo. Após essa etapa foi possível analisar e interpretar todos os resultados obtidos e além disso foi realizado uma análise de custo simples de cada traço produzido para saber qual é o impacto econômico, no valor final do concreto, dos procedimentos utilizados para melhorar os traços com RCD.

2.1 Caracterização do cimento

O cimento utilizado para a fabricação do concreto e confecção dos corpos de prova foi o CP V - ARI (Cimento Portland de alta resistência inicial) da marca Holcim Ultra Rápido. Esse tipo de cimento é constituído na maior parte de clínquer e não possui adições, contudo pode conter até 10% em massa de material carbonático (ABNT, 2018), e além disso esse tipo de cimento proporciona uma desforma rápida.

As características químicas e físicas do cimento utilizado foram disponibilizados pela empresa fabricante por meio de um relatório técnico (Lafarge Holcim, 2017). A massa específica do cimento, obtida por intermédio do ensaio de picnometria a gás hélio, foi de 3,058 g/cm³.

2.2 Caracterização do agregado miúdo

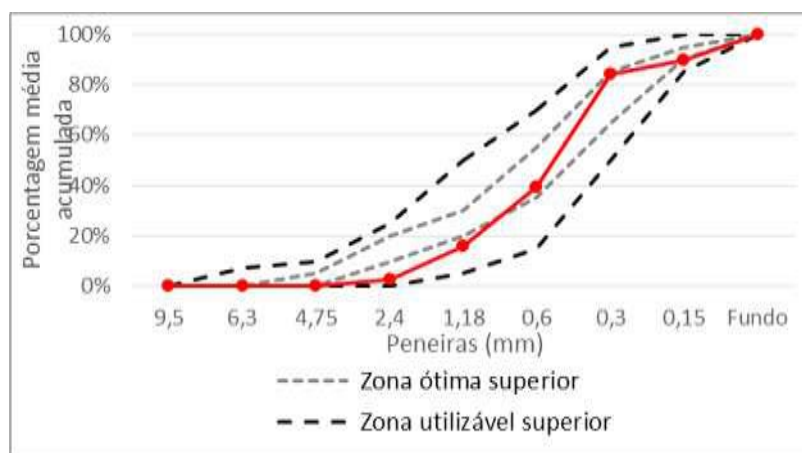
O agregado miúdo utilizado na mistura do concreto foi a areia natural lavada proveniente do Rio Doce. Os ensaios de caracterização realizados foram: determinação da composição granulométrica com base na NBR NM 248 (ABNT, 2003b); determinação da massa específica de acordo com a NBR 9776 (ABNT, 1987); e determinação da massa unitária e volume de vazios segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2006). A Tabela 1 e a Figura 2 fornecem os resultados desses ensaios.

Tabela 1: Resultados de caracterização do agregado miúdo.

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS AGREGADO MIÚDO
Módulo de finura	2,32
Massa específica (g/cm ³)	2,66
Massa unitária (kg/cm ³)	1593,16
Volume de vazios (%)	40,11

Fonte: Autores (2022).

Figura 2: Curva granulométrica e limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Autores (2022).

De acordo com os dados da Tabela 1 e Figura 2, pode-se perceber que o módulo de finura apresentado pela areia foi de 2,32, sendo classificado dentro da zona ótima de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009). Além disso, o agregado miúdo se encontra predominantemente dentro da zona utilizável e em algumas peneiras se situa dentro da zona ótima. O valor da massa específica e da massa unitária está próximo ao encontrado por Malta (2012), que obteve os resultados de 2,6 g/cm³ e 1570,00 kg/cm³, respectivamente.

2.3 Caracterização dos agregados graúdos

O agregado graúdo natural utilizado na fabricação do concreto foi a brita 1, proveniente da pedreira do Grupo Belmont, do município de São Gonçalo do Rio Abaixo - MG. O agregado graúdo de RCD foi obtido através da Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) de Belo Horizonte. A SLU fornece o material através de suas estações de reciclagem de RCD três tipos de agregados reciclados de construção e demolição: areia, brita 0 e brita 1. Nesta pesquisa, o agregado reciclado utilizado foi a brita 1.

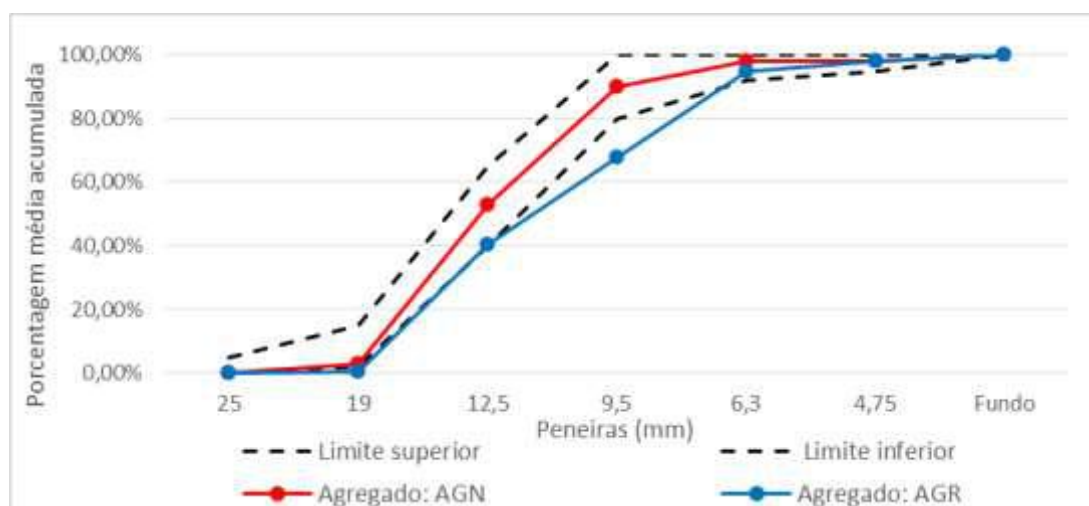
Os ensaios de caracterização dos agregados graúdos realizados foram: determinação da composição granulométrica com base na NBR NM 248 (ABNT, 2003b); determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água de acordo com a NBR NM 53 (ABNT, 2009c); e determinação da massa unitária e volume de vazios segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2012). A Tabela 2 e a Figura 3 fornecem os resultados obtidos nesses ensaios.

Tabela 2: Resultados de caracterização dos agregados graúdos.

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS AGN	RESULTADOS AGR
Diâmetro máximo característico (mm)	19	19
Massa específica do agregado seco (g/cm ³)	2,54	2,54
Massa específica na condição saturado superfície seca (g/cm ³)	2,50	2,25
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,48	2,07
Absorção de água (%)	1,00	8,99
Massa unitária (kg/m ³)	1483,09	1218,11
Volume de vazios (%)	40,17	41,04

Fonte: Autores (2022).

Figura 3: Curvas granulométricas e limites da distribuição granulométrica dos agregados graúdos.



Fonte: Autores (2022).

Por meio dos dados da Tabela 2, observa-se que o diâmetro máximo característico encontrado para o AGN e para o AGR foi de 19 mm e de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), esses agregados são classificados como brita 1. A massa específica aparente e a massa específica na condição saturado superfície seca do AGN são maiores que a do AGR. A massa específica do AGN no estado aparente é 19,81% maior que a do AGR, e a massa específica do AGN na condição saturada

superfície seca é 11,11% maior que a do AGR.

Por meio da Figura 3, pode-se notar que o agregado graúdo natural possui sua granulometria dentro dos limites superiores e inferiores recomendados pela NBR 7211 (ABNT, 2009). Já em relação ao agregado graúdo reciclado, pode-se perceber que na peneira de 9,5 mm sua porcentagem média acumulada é inferior ao limite inferior recomendado pela NBR 7211 (ABNT, 2009), tendo uma porcentagem média acumulada de 67,95%, sendo o valor mínimo de 80%. Apesar deste fato, decidiu-se continuar a pesquisa com a utilização do agregado graúdo reciclado fornecido pela SLU, levando em conta que tal desvio aconteceu somente para uma peneira da classificação granulométrica e a diferença encontrada foi de 12,05%.

Além disso, pode-se notar que a porcentagem de absorção de água do AGR é aproximadamente 9 vezes maior que a do AGN, isso ocorre pois o agregado proveniente de RCD é mais poroso que o agregado natural e por isso absorve uma maior quantidade de água. No estudo realizado por Levy e Helene (2004), os resultados de absorção de água do agregado graúdo reciclado foram 6 a 10 vezes maiores que o agregado natural.

Os resultados obtidos convergem com o estudo de Angulo (2000), em que o autor constatou que quanto maior a massa específica dos agregados, menor a absorção de água desses, o que também é confirmado nos estudos de Carrijo (2005) e Araújo (2016).

A massa unitária do AGN é 21,75% maior que a do AGR e que, conseqüentemente, o índice de volume de vazios do AGR se apresentou maior que o do AGN. A possível causa para o menor valor da massa unitária do AGR é devido a sua granulometria menos contínua. Esses dados convergem com os resultados encontrados por Pelissari (2016) e por Salles (2018), cujos valores de massa unitária dos agregados reciclados se apresentaram menores que o do agregado natural e os valores de índice de vazios desses também foram maiores em relação ao agregado natural.

Os valores de massa unitária e índice de vazios para o AGN obtidos por Pelissari (2016) e por Salles (2018) foram de 1440,00 kg/m³ e 1471,00 kg/m³, respectivamente. Já em relação ao índice de vazios os resultados encontrados pelos autores foram de 45,67% e 44,34%, na devida ordem. Em relação à massa unitária e índice de vazios do AGR, Salles (2018) obteve os valores de 1115,26 kg/m³ e 55,97%, respectivamente. Já Pelissari (2016) encontrou os resultados de 1290,00 kg/m³ e 44,73%, nesta ordem.

2.4 Confeção dos corpos de prova

O traço do concreto utilizado foi baseado nos parâmetros do método de dosagem ET-67: Parâmetros de Dosagem do Concreto (ABCP, 1998). Sendo que, foi adotado um desvio padrão de 4,0. E, tendo em vista a produção de um concreto estrutural normalmente utilizado em obras de construção civil, assim sendo adotada a classe C30 para o para o traço referência. Para isso foi considerado uma relação água/cimento de 0,60 e abatimento teórico de 80 a 100 mm. A Tabela 3 mostra o traço referência e o consumo de materiais por m³ de concreto para o concreto em estudo.

Tabela 3: Traço Referência e consumo de materiais por m³ para o concreto em estudo.

	CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA
TRAÇO	1	1,98	3,12	0,6
CONSUMO	341,67 kg/m ³	675,05 kg/m ³	1064,86 kg/m ³	205 l/m ³

Fonte: Autores (2022).

Com o objetivo de analisar as propriedades do concreto produzido com 100% de agregado graúdo reciclado e posteriormente compará-las com a do concreto convencional, primeiramente calculou-se o traço referência, e em seguida foram estabelecidos mais três tipos de traços padrão utilizando 100% de AGR. Com o intuito de alcançar características

semelhantes ao do concreto convencional, foi realizado o estudo da adição de cimento nas misturas. Sendo que, no primeiro traço a quantidade de cimento determinada foi a mesma do concreto referência, mantendo a mesma relação água/cimento. Já no segundo e no terceiro traço, foi definida uma adição de mais 10% e 20%, respectivamente, em relação a massa de cimento utilizada no traço referência, mantendo o mesmo consumo para todos os outros insumos (areia e água).

Para a realização do programa experimental, foi utilizado um aditivo superplastificante, do grupo Erca, de nomenclatura Fluxer RMX 7350, cuja massa específica é 1,080 a 1,120 g/cm³ (Erca, 2012) e é classificado pela NBR 11768 (ABNT, 2019) como aditivo redutor de água tipo 2 (RA2). Segundo o boletim técnico fornecido pela empresa Erca, esse aditivo proporciona um grande aumento da fluidez e trabalhabilidade do concreto, além de oferecer diversos benefícios como: redução da retração e fissuração, do consumo de cimento, de água na mistura, da exsudação, e da permeabilidade; aumento da resistência final, da coesão, e da durabilidade (Erca, 2012).

Com o intuito de melhorar a trabalhabilidade e avaliar a influência do aditivo na resistência à compressão do concreto, foi adicionado nestes traços uma porcentagem de aditivo superplastificante respeitando o limite de dosagem na faixa de 0,5 a 1,1% sobre o peso do cimento, de acordo com as recomendações do fabricante (Erca, 2012).

A substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado foi realizada em volume, uma vez que o agregado de RCD é um material mais leve que o agregado natural. Dessa forma, com base no volume de agregado graúdo natural para a produção de 1 m³ de concreto, determinou-se a massa total do agregado graúdo reciclado. A quantidade de aditivo utilizada foi calculada em relação à massa do cimento, e variou de acordo com a necessidade de melhoria da trabalhabilidade dos traços em estudo. A Tabela 4 apresenta as nomenclaturas adotadas para os traços realizados e a quantidade de aditivo utilizada para cada traço.

Tabela 4: Nomenclatura dos traços de concreto fabricados e porcentagem de aditivo utilizada para cada traço.

CARACTERÍSTICA DO TRAÇO FABRICADO	NOME	ADITIVO (%)
Concreto referência, produzido com 100% de AGN	REF	-
Concreto com 100% de AGR, fabricado com a mesma quantidade de cimento do concreto referência	AGR+0	0,8
Concreto com 100% de AGR mais 10 % de adição de cimento	AGR+10	0,9
Concreto com 100% de AGR mais 20 % de adição de cimento	AGR +20	1,1

Fonte: Autores (2022).

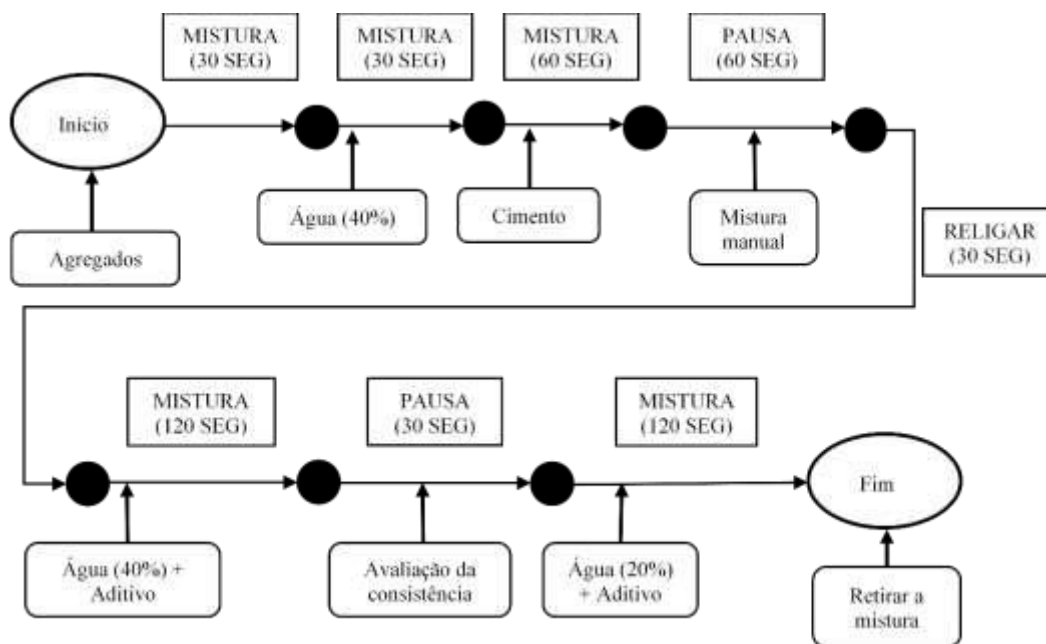
Para a confecção do concreto, a realização da mistura foi baseada no Método de Mistura Dupla, aplicado nos estudos de Otsuki et al., (2003), segundo os autores essa técnica promove melhorias na resistência do concreto, na penetração de cloretos e na resistência à carbonatação, uma vez que melhora a zona de transição entre a pasta e o agregado reciclado, deixando-a mais compacta.

O Método de Mistura Dupla realizado por Otsuki et al., (2003), consiste em dividir a quantidade de água de amassamento em duas etapas. Primeiramente, adiciona-se os agregados miúdos e graúdos à betoneira e, após 30 segundos de mistura é adicionado cerca de 50% da água de amassamento. No início do primeiro minuto da mistura, adiciona-se cimento. Após dois minutos de funcionamento, a betoneira é desligada por um minuto para a mistura manual. No ato do religamento da betoneira, acrescenta-se o restante da água e por mais dois minutos a mistura é realizada.

Para que fosse possível fazer uma avaliação do comportamento da porcentagem de aditivo aplicada no momento da mistura, foi realizada uma adaptação do Método de Mistura Dupla com relação a quantidade e ao momento de lançamento da água da mistura. Além disso, os agregados foram adicionados à mistura no estado seco pois pressupôs-se que a utilização de aditivo superplastificante seria suficiente para obter o Slump pretendido e tendo em vista uma produção no canteiro de obras, seria dificultoso realizar o controle do material pré-saturado.

A Figura 4 ilustra o processo do Método de Mistura Dupla adaptado, na qual a água de amassamento é dividida em três etapas. De forma análoga ao Método de Mistura realizado por Otsuki et al., (2003), os agregados miúdos e graúdos são adicionados primeiro à betoneira, porém, após os 30 segundos de mistura adiciona-se 40% da água de amassamento e realiza-se a mistura por mais 30 segundos. No início do primeiro minuto da mistura, adiciona-se cimento. Após dois minutos de funcionamento, a betoneira é desligada por um minuto para a mistura manual. Após 30 segundos do religamento da betoneira, acrescenta-se mais 40% da água em conjunto com uma quantidade de aditivo predeterminada e por mais 120 segundos a mistura é realizada. Logo após, desliga-se a betoneira por 30 segundos e realiza-se uma avaliação da consistência da mistura. Posteriormente, é adicionado o restante da água (20%) juntamente com mais uma quantidade de aditivo. E por fim, realiza-se a mistura por mais dois minutos.

Figura 4: Método de Mistura Dupla Adaptado.



Fonte: Autores (2022).

A quantidade de aditivo incorporado na mistura foi determinada no momento da confecção dos corpos de prova, avaliou-se se a porcentagem de aditivo adicionada estava proporcionando boa consistência da mistura juntamente com a possibilidade de segregação do material. Sendo assim, na segunda parte da água de amassamento foi adicionado uma maior porcentagem de aditivo e na terceira foi acrescentado porcentagens de 0,1 a 0,2% com o intuito de melhorar a consistência dos traços, sendo respeitado o limite máximo de dosagem recomendado pelo fabricante de 1,1%.

O procedimento para moldagem e cura de corpos de prova foi realizado de acordo com as prescrições da NBR 5738 (ABNT^a, 2015). Para cada traço foram confeccionados seis corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. O adensamento foi realizado em uma camada em mesa vibratória, sendo que o tempo de adensamento variou de 10 a 20 segundos, até que a superfície do concreto apresentar um aspecto liso e praticamente não houver o aparecimento de bolhas de

ar na superfície (ABNT, 2003a). A desforma foi executada após 24 horas da concretagem e a cura foi realizada através de imersão em água saturada com cal hidratada.

2.5 Ensaios no estado fresco e no estado endurecido do concreto

A análise do concreto em estado fresco foi executada, em todas as misturas. O método utilizado para a determinação da trabalhabilidade foi o de abatimento do tronco de cone, normatizado pela NBR NM 16889 (ABNT, 2020).

Para a determinação da resistência à compressão do concreto em seu estado sólido, adotou-se como referência a norma NBR 5739 (ABNT, 2018). Para a execução do ensaio, os corpos de prova foram retirados da cura, capeados por meio de enxofre para a regularização da superfície e rompidos, em idades de 7 e 28 dias. Para cada idade (7 e 28 dias) foram ensaiados 3 corpos de prova por traço estudado, totalizando 24 unidades.

A determinação da absorção de água por imersão, foi efetuada seguindo orientações da NBR 9778 (ABNT, 2009b), este ensaio consiste na absorção da água em corpos de prova de concreto.

2.6 Análise de custo simplificado

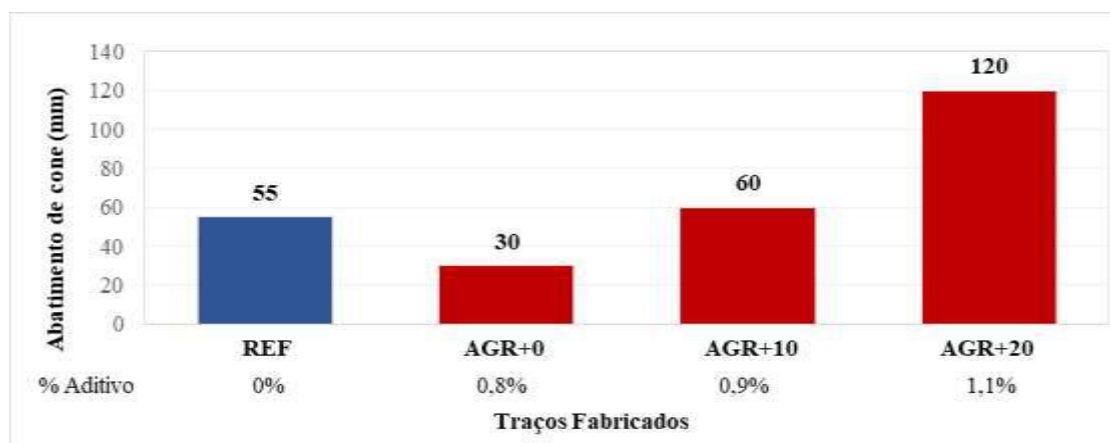
A análise de custo dos traços fabricados foi realizada com base no consumo de materiais para a produção de 1 m³ de concreto. O valor do agregado reciclado, do cimento, da areia e da brita foram coletados por meio da Tabela SINAPI (2020), e o valor do aditivo foi obtido da empresa Erca Industria e Comercio de Produtos Químicos Ltda. Todos os preços foram coletados no mês de outubro de 2020.

3. Resultados e Discussão

3.1. Consistência pelo abatimento do tronco de cone

Os resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone são apresentados na Figura 5.

Figura 5: Abatimento médio do tronco de cone (mm) dos concretos fabricados.



Fonte: Autores (2022).

Analisando a Figura 5, pode-se perceber que o resultado do Slump Test para o concreto referência (REF) foi de 55 mm e não foi incorporado aditivo em sua formulação. Além disso, pode-se observar que mesmo com a adição de aditivo superplastificante, o traço AGR+0 apresentou trabalhabilidade menor que a do concreto referência. A perda de trabalhabilidade nas misturas que contém agregados reciclados também foi constatado por Matias et al. (2013), Pelissari (2016) e Salles (2018).

Convergindo com os estudos de Leite (2001) e de Pelissari (2016), os fatores que podem ter contribuído para o baixo

resultado de abatimento no traço AGR+0 é a textura mais áspera, a forma mais irregular, a granulometria mais contínua e a elevada absorção de água dos agregados reciclados. A alta absorção de água do RCD ligada à sua alta porosidade, ocasiona a redução do fator água/cimento efetivo da mistura, uma vez que os agregados reciclados absorvem parte da água de amassamento (Salles, 2018), dessa forma pode-se concluir que se tem como consequência misturas com abatimento mais baixos.

Outro fator que pode ter contribuído para o baixo valor de abatimento encontrado é que o AGR incorporado na mistura foi utilizado no estado seco, sendo assim, entende-se que o agregado tenha absorvido boa parte da água de amassamento. Entretanto, para os traços AGR+10 e AGR+20 foi possível obter um abatimento superior ao do REF, mesmo utilizando o AGR no estado seco. Este fato se tornou possível devido a maior quantidade de aditivo superplastificante utilizado nessas misturas.

Esses resultados atestam que a utilização de aditivo superplastificante pode provocar o aumento do abatimento do tronco de cone nas misturas contendo AGR. Além disso, corroboram com os resultados encontrados por Matias et al. (2013), que obteve valores de trabalhabilidade desejada, em concretos fabricados com AGR, por meio da utilização de aditivo superplastificante.

Em relação a quantidade de aditivo incorporada, percebe-se que nos traços que tiveram um maior consumo de cimento, houve um aumento mais significativo da trabalhabilidade em relação ao concreto referência. Isto pode ser explicado devido a porcentagem de aditivo adicionado ser calculada com base no consumo de cimento do traço. O aumento do abatimento pode também ter como motivo a maior quantidade de pasta juntamente com a utilização do aditivo superplastificante, pois conforme constatado por Santos (2016), isto promove um efeito lubrificante nas partículas dos agregados e reduz o efeito prejudicial do agregado reciclado na trabalhabilidade do concreto. Além disso, percebe-se que quanto maior o consumo de cimento nos traços, maior foi a porcentagem de aditivo incorporado, o que contribuiu significativamente para o aumento do abatimento.

Observou-se que mesmo na mistura que obteve o mais baixo valor de abatimento, não houve dificuldade para realizar o adensamento e a moldagem dos copos de prova. Para a mesma, realizou-se o adensamento deixando o corpo de prova por um maior tempo na mesa vibratória.

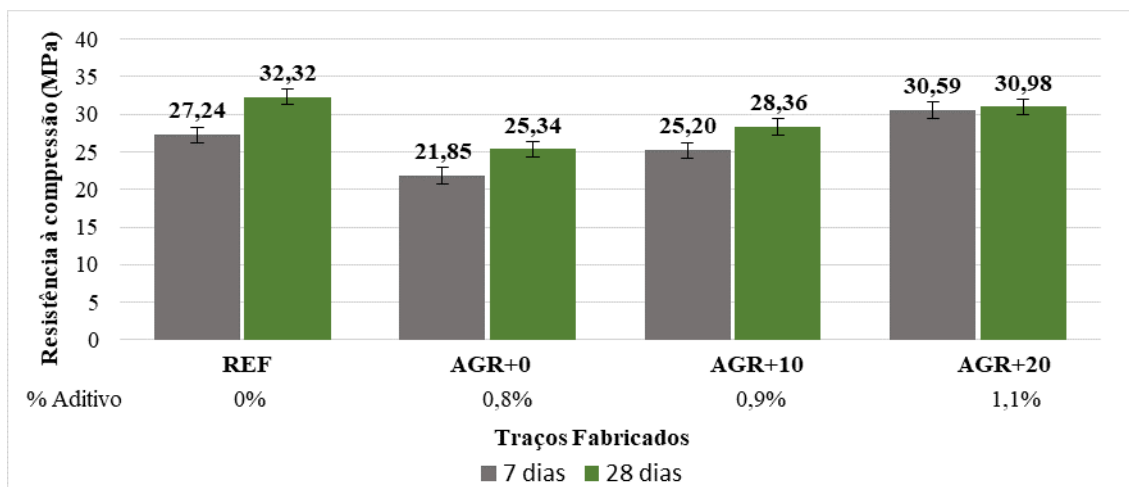
Segundo Leite (2001), um dos fatores que devem ser considerados como parâmetro para limitar o uso do concreto fabricado com agregados reciclados é a maior ou menor facilidade com que os mesmos podem ser adensados e que a medida da consistência por meio do abatimento do tronco de cone não é considerado como bom parâmetro para avaliar a trabalhabilidade do concreto reciclado. Sendo assim, o baixo valor obtido de abatimento no traço AGR+0 não podem ser considerados como critério para restringir o seu uso, uma vez que a misturas se apresentou moldável. Este comportamento corrobora com as constatações realizadas por Leite (2001), Carrijo (2005) e Tenório (2007).

Dessa forma, conclui-se que o traço AGR+10 possui trabalhabilidade mais próxima do traço referência, utilizando 0,9% de aditivo na mistura. E, o traço AGR+20 foi o que apresentou a maior trabalhabilidade, com incorporação de 1,1% de aditivo.

3.2 Resistência à compressão

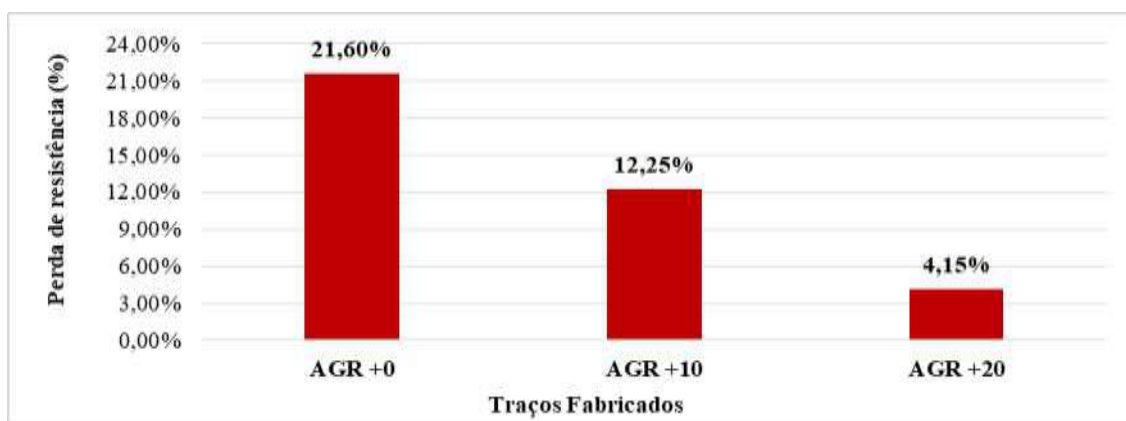
Os resultados de resistência média à compressão aos 7 dias e aos 28 dias, juntamente com os referentes desvios padrões, são fornecidos na Figura 6. A Figura 7 apresenta a porcentagem de perda de resistência aos 28 dias dos concretos fabricados com AGR em relação ao REF.

Figura 6: Resistência média à compressão aos 7 e aos 28 dias (MPa).



Fonte: Autores (2022).

Figura 7: Porcentagem de perda de resistência aos 28 dias dos concretos fabricados com AGR em relação ao concreto referência, considerando os valores médios de resistência.



Fonte: Autores (2022).

Analisando a Figura 6, pode-se perceber que na idade de 7 dias, o concreto que obteve a menor resistência a compressão foi o AGR+0 com 21,85 MPa e o melhor resultado foi obtido no traço AGR+20 com 30,59 MPa. Comparando os traços de RCD com o traço referência e levando em consideração os desvios, pode-se observar que o REF e o AGR+10 obtiveram resultados semelhantes. Além disso, ao analisar os traços dentro da mesma fase, os resultados demonstram que conforme se aumenta o consumo de cimento nas misturas, aumenta-se também a resistência dos concretos.

Aos 28 dias, o concreto referência (REF), conforme esperado, obteve resultado de 32,32 MPa, resistência a compressão acima do valor teórico para a classe C30. Com relação aos traços fabricados com RCD, todos registraram valores médios de resistência abaixo do REF. Entretanto o traço com 20% de adição de cimento obteve resistência a compressão similar ao concreto referência, levando em consideração o desvio padrão.

Os resultados demonstram a ação negativa da porosidade e da baixa resistência dos agregados graúdos de RCD sobre a resistência do concreto, uma vez que é possível observar que a substituição do AGN pelo AGR acarretou em perda de resistência dos traços fabricados, corroboram com estes resultados os estudos de Bazuco (1999), Leite (2001), Tenório (2007).

A perda de resistência citada no parágrafo anterior pode ser vista na Figura 7. Como já foi mencionado, o traço com 20% de adição de cimento obteve resistência próxima ao do concreto referência, portanto pode-se considerar que a perda de

resistência deste em relação ao concreto referência foi desprezível. Os valores percentuais de perda mais altos foram registrados nos traços AGR+0, com 21,60%.

Diversos autores relatam em seus estudos a perda de resistência nos concretos com substituição de agregado natural por agregados reciclados. Os resultados de Salles (2018) apontam perdas de 10% a 81% na resistência a compressão aos 28 dias nos diversos tipos de concretos fabricados com RCD em diferentes porcentagens, sendo que para o traço com 100% de agregado misto a perda foi de 26% aproximadamente. Richardson, Coventry and Graham (2009) encontram perdas de resistência nos concretos com RCD graúdo da ordem de 53%, já Etxeberria et al. (2007) observaram que para a mesma relação água/cimento e 100% de RCD graúdo a queda na resistência foi entre 20 e 25%.

De forma análoga aos resultados na idade de 7 dias, aos 28 dias percebe-se que o incremento de cimento na mistura resultou em aumento da resistência. Tenório (2007) confirma em seu estudo esse comportamento, afirmando que para os concretos produzidos com agregados reciclados a resistência à compressão aumenta à medida que se acrescenta cimento na mistura. Etxeberria et al. (2007) também concluíram que para obter altos valores de resistência a compressão nestes concretos é necessário a utilização de grandes quantidades de cimento.

Com relação à utilização do aditivo, existem estudos que atestam melhoria na resistência à compressão do concreto convencional por meio da incorporação do aditivo superplastificante juntamente com a redução da relação a/c. Kurtz e Hoffmann (2016) obtiveram melhoria de resistência de aproximadamente 67,8% no traço que utilizou aditivo superplastificante e menor relação a/c. Analogamente, Grilo (2014) constatou que à medida que aumenta-se a porcentagem de aditivo superplastificante é possível obter maior resistência à compressão, visto que quanto maior a porcentagem de aditivo menor será a quantidade de água de amassamento necessária, possibilitando reduzir a relação água/cimento e obtendo maiores valores de resistência.

Os resultados dos traços fabricados com AGR convergem com os estudos prévios de Grilo (2014) e de Kurtz e Hoffmann (2016), pois de forma análoga houve também ganhos de resistência à medida que aumentou-se a quantidade de aditivo no traço e reduziu a relação água/cimento, toda via a redução da relação água/cimento ocorreu por meio do aumento do consumo de cimento.

Tendo como referência o traço com fator a/c = 0,6 (AGR+0), o traço com relação a/c = 0,5 (AGR+20) obteve melhoria de aproximadamente 22,3% na resistência e o traço com relação a/c = 0,55 (AGR+10) obteve um ganho de 11,9% na resistência.

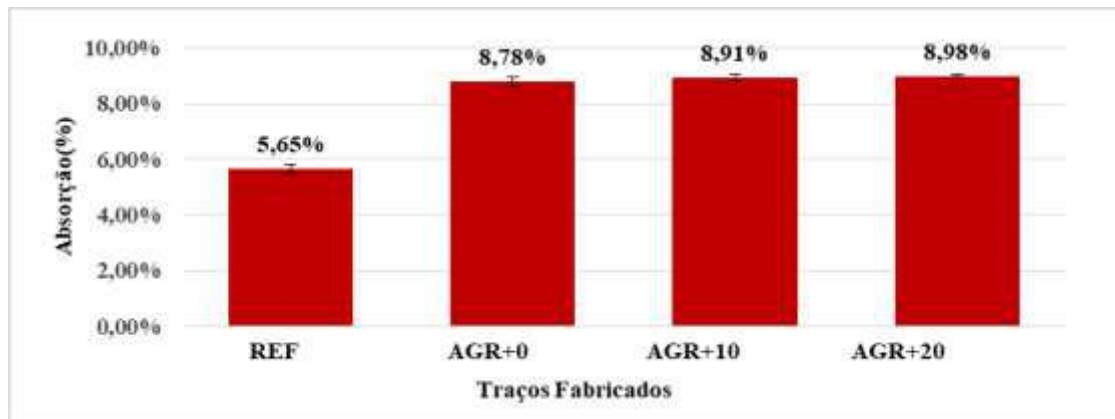
Concluiu-se então que os concreto com 20% de adição de cimento obteve o melhor desempenho entre os traços com RCD. Esse traço conteve maior consumo de cimento e aditivo superplastificante. Logo, infere-se que o ganho de resistência proporcionado pelo aumento de cimento e incorporação de aditivo tenha compensado a perda de resistência causada pela utilização de RCD na mistura, o que converge com os estudos de Matias et al. (2013) que afirmam que os superplastificantes podem ajudar a compensar a perda de resistência de concretos com agregados reciclados.

Contudo, é importante frisar que a incorporação de cimento extra na mistura mitiga os ganhos ambientais advindos da utilização de RCD, quanto maior o consumo de cimento Portland, menos ambientalmente sustentável é o traço. Uma vez que, a produção desse material é notoriamente poluente, gerando gases de efeito estufa. Para um balanço ambiental preciso entre o consumo de cimento e a utilização de RCD é necessária abordagem específica que foge do escopo do presente artigo.

3.3 Absorção de água por imersão

Os valores de absorção de água média aos 28 dias com os respectivos desvios padrões são exibidos na Figura 8.

Figura 8: Absorção de água média aos 28 dias.



Fonte: Autores (2022).

Analisando os resultados obtidos na Figura 8, observa-se que os concretos fabricados com agregado de RCD absorvem mais água que o concreto com agregado natural. Esse resultado é coerente com o resultado do teste de absorção dos agregados mostrados no item 2.3, comprovando que o agregado reciclado é mais poroso que o agregado natural e que isso influencia nas propriedades do concreto no estado endurecido. Corroboram com os resultados dessa pesquisa os achados de Levy and Helene (2004) e Pelissari (2016) que chegaram à conclusão que quanto maior o teor de agregado reciclado no traço, maior será a absorção de água do concreto. As pesquisas de Tenório (2007) e Salles (2018) também chegaram a conclusões similares.

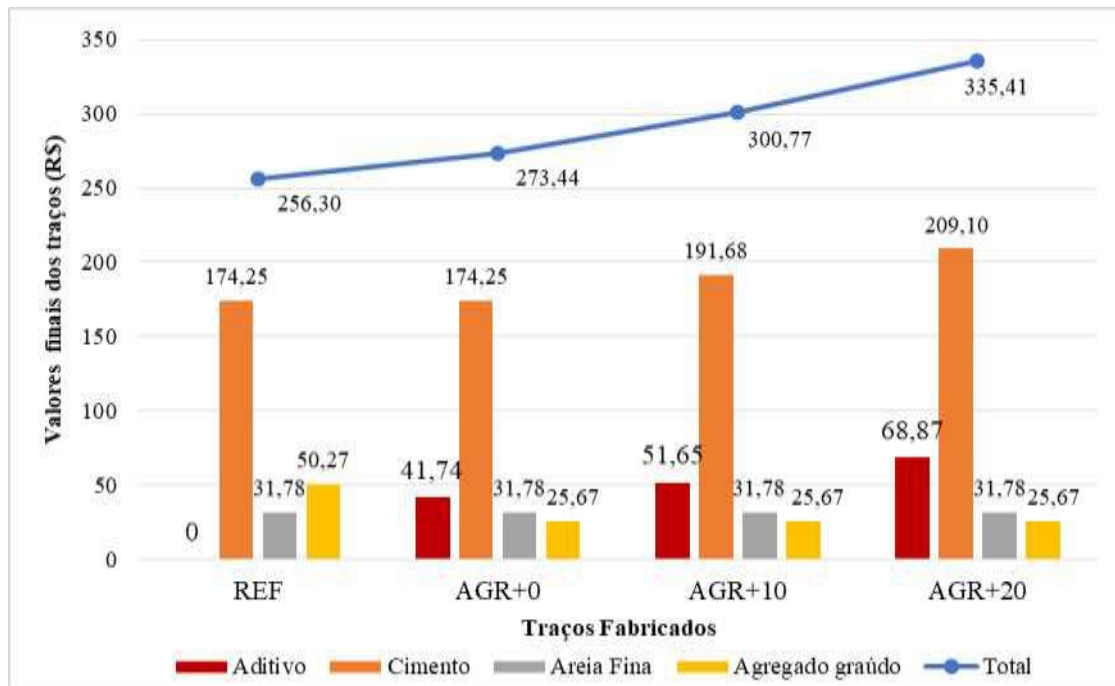
No que tange os concretos com AGR, os resultados foram parecidos – todos próximo de 9,0% de absorção de água – e está condizente com os resultados de Matias et al. (2013) que afirmam que o uso de aditivo não interfere na absorção de água do concreto. Matias et al. (2013) encontraram valores de absorção em torno de 17% em todos os concretos com 100% de RCD tanto nos concretos com aditivo, como também nos concretos sem aditivo. Desta forma, pode-se concluir que a absorção de água dos traços com AGR está relacionada com a porosidade do agregado e não com a quantidade de aditivo utilizado.

Além disso, constata-se que a redução da relação água/cimento por meio da adição de cimento nas misturas não influenciou na absorção de água dos concretos. Estes resultados convergem com o constatado por Tenório (2007), que chegou à conclusão que a alteração da relação água/cimento não interfere na absorção de água dos concretos com composição semelhante fabricados com agregados reciclados.

3.4 Análise de custo simplificada

A análise de custo simplificada é apresentada na Figura 9.

Figura 9: Análise de custo simples para 1 m³ de concreto.



Fonte: Autores (2022).

Pode-se observar que todos os traços produzidos com AGR apresentaram um valor maior que o concreto convencional. Tal fator ocorreu devido ao aumento de cimento na mistura e/ou ao incremento de aditivo superplastificante. Mesmo no traço que não obteve aumento do consumo de cimento (AGR+0) o aditivo apresentou cerca de 15,26% do custo final, e nos traços AGR+10 e AGR+20 esse custo foi de 17,17% e 20,53%, respectivamente.

Baseando no traço AGR+20 que obteve o melhor comportamento e comparando-o com o REF, o incremento de cimento na mistura gerou um aumento no custo de 13,60%, e a incorporação do aditivo produziu um aumento de 26,86%. Sendo assim, pode-se observar que o valor da incorporação de aditivo foi cerca de duas vezes maior do que o do aumento do consumo de cimento, convergindo com a afirmação de Leite (2001), que diz que o aditivo superplastificante pode melhorar a consistência da mistura, entretanto pode interferir diretamente no custo final do concreto.

4. Conclusões

Os resultados da caracterização dos traços de concretos atestaram que é possível substituir 100% do agregado graúdo natural pelo reciclado de RCD e obter características similares ao concreto convencional. Por meio do redimensionamento do quantitativo do traço de concreto com agregado de RCD – mediante adição de aditivo superplastificante e aumento do consumo de cimento – foi possível encontrar diferentes tipos de comportamento para cada um dos traços fabricados. As principais características físicas e mecânicas dos concretos produzidos com AGR foram:

- mesmo utilizando aditivo superplastificante, a trabalhabilidade do traço AGR+0 foi prejudicada pela utilização do AGR. Porém, o baixo valor obtido de Slump não restringiu a utilização deste, uma vez que a mistura se apresentou moldável;
- em relação à resistência a compressão aos 28 dias, somente o traço AGR+20 apresentou resistência próxima ao do REF. Para o traço AGR+0 e AGR+10, a substituição do AGN pelo AGR provocou a redução da resistência, sendo que a maior perda foi registrada no traço AGR+0 com 21,60%;
- o incremento de cimento nas misturas juntamente com a utilização do aditivo superplastificante proporcionou o aumento da resistência para os traços produzidos com AGR, contudo esse aumento do consumo de cimento gera um peso

ambiental negativo. Baseando-se no traço AGR+0, os traços AGR+10 e AGR+20 alcançaram uma melhoria de 11,9 e 22,3% na resistência, na devida ordem;

- os resultados de absorção de água por imersão demonstram que a substituição do AGN pelo AGR afetou o desempenho dos concretos fabricados. Além disso, constatou-se que tanto o incremento de cimento quanto a adição de aditivo nas misturas não interferiram no valor de absorção de água dos concretos, uma vez que o resultado foi semelhante para todos os corpos de prova com AGR.

Diante das análises realizadas, conclui-se que o traço com 20% de adição de cimento foi capaz de atingir propriedades mecânicas semelhantes ao traço convencional. Sendo assim, infere-se que o ganho de resistência proporcionado pelo aumento de cimento e uso de aditivo tenha compensado a perda de resistência provocada pela utilização de RCD na mistura. No que diz respeito às outras formulações de traços, conclui-se que embora não tenham atingido características próximas ao do concreto referência, ainda são passíveis de serem utilizadas para produção de concretos estruturais, visto que a menor resistência desses foi em torno de 25 MPa.

Com base na análise de custo simples, conclui-se que é necessário estudar a incorporação de um aditivo de menor custo e também utilizar agregados reciclados com propriedades melhores para que seja possível reduzir o consumo de cimento nas misturas com RCD.

Como sugestão para estudos futuros, indica-se a avaliação da quantidade e do tipo de aditivo ideal para aplicação em concretos com AGR, bem como analisar a influência desses nas propriedades dos concretos produzidos com agregados reciclados, visto que o alto consumo de aditivo nas misturas pode torná-las inviáveis economicamente. Além disso, é necessário fazer um balanço dos ganhos ambientais, quando do aumento de consumo de cimento e da substituição de agregados naturais por RCD, no intuito de aferir a viabilidade ambiental de tal técnica.

Agradecimentos

Ao Programa Institucional de Apoio à Pesquisa da UEMG (PAPq/UEMG) pelo financiamento de bolsa de pesquisa para estudantes da graduação, à SLU pelo fornecimento do agregado graúdo de RCD, à empresa Erca Industria e Comercio de Produtos Químicos Ltda. pela doação do aditivo superplastificante e ao laboratório de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da UEMG.

Referências

- Angulo, S. C. (2000). *Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados* (Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- Araújo, D. L., Felix, L. P., Silva, L. C., & Santos, T. M. (2016). Influência de agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 11(1), 16-34. 10.5216/reec.V11i1.35467
- Associação Brasileira de Cimento Portland (1998). *ET-67: Parâmetros de Dosagem do Concreto* (3a ed.).
- Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2019). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019*.
- ABNT NBR 16889, de 22 de dezembro de 2020. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 5738, de 28 de janeiro de 2015. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR NM 248, de 30 de julho de 2003. Agregados – Determinação da composição granulométrica. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 7211, de 29 de abril de 2009. Agregados para concreto – Especificação. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR NM 45, de 31 de março de 2006. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

- ABNT NBR 5739, de 30 de maio de 2018. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 9776, de 01 de maio de 1987. Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 9778, de 29 de setembro de 2009. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR NM 53, de 30 de outubro de 2009. Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 16697, de 03 de julho de 2018. Cimento Portland - Requisitos. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 11768, de 25 de outubro de 2019. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (n.d.). O que é entulho? [site]. <https://abrecon.org.br/entulho/mercado/>.
- Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (n.d.). Mercado [site]. Recuperado de <https://abrecon.org.br/entulho/o-que-e-entulho>.
- Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (2020). *Novas perspectivas?* (Nº 75). Revista areia e brita.
- Bazuco, R. S. (1999). *Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Carrijo, P. M. (2005). Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto (Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- Erca (2012). *Boletim Técnico: Fluxer RMX*.
- Etzeberria, M., Vázquez E., Marí A., & Barra M. (2007). Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 37, 735-742. 10.1016/j.cemconres.2007.02.002
- Grillo, R. H. F. (2014). *Estudo da influência de aditivos redutores de água em concretos da construção civil* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, Brasil.
- Kaliyavaradhan, S. K., & Ling, T. (2017). Potential of CO2 sequestration through construction and demolition (C&D) waste—An overview. *Journal of CO2 Utilization*, 20, 234-242. 10.1016/j.jcou.2017.05.014
- Kurtz, C., & Hoffmann, J. C. (2016). Aditivos químicos redutores de água para concreto de cimento Portland. *Revista Caminhos*, (23), 9-29.
- Lafarge Holcim (2017). *Relatório de ensaios de cimento*. Pedro Leopoldo.
- Lauriano, L. A. (2013). *Como anda a gestão da sustentabilidade no setor da construção?* Fundação Dom Cabral.
- Leite, M. B. (2001). *Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição* (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Levy, S. M., & Helene, P. (2004). Durability of recycled aggregates concrete: A safe way to sustainable development. *Cement and Concrete Research*, 34(11), 1975–1980. 10.1016/j.cemconres.2004.02.009
- Malta, J. O. (2012). *Dosagem de concreto produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição* (Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica – EPUFBA, Salvador, BA, Brasil.
- Matias, D., Brito, J., Rosa A., & Pedro, D. (2014). Durability of Concrete with Recycled Coarse Aggregates: Influence of Superplasticizers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 6014011(5), 1–5. 10.1061/(ASCE)MT.1943- 5533.0000961
- Matias, D., Brito, J. Rosa, A., & Predo, D. (2013). Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizer. *Construction and Building Materials*, 44, 101–109. 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.011
- Otsuki, N., Miyazato, S., & Yodsudjai, W (2003). Influence of Recycled Aggregate on Interfacial Transition Zone, Strength, Chloride Penetration and Carbonation of Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(5), 443–451. 10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:5(443)
- Pelissari, V. (2016). *Propriedades de concretos produzidos através da utilização de agregados reciclados de concreto* (Dissertação de Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.
- Richardson, A.E., Coventry, K., & Graham S. (2009). Concrete manufacture with un-graded recycled aggregates. *Structural Survey*, 27, 62-70. 10.1108/02630800910941692
- 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, MG, Brasil.
- Santos, A. A. M. (2016). *Concreto com agregado graúdo reciclado de concreto: dosagem e produção* (Dissertação de Mestrado). Feira de Santana, BA, Brasil.

Sinapi (2020). *Preço de insumos*.

Tenório, J. J. L. (2007). *Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil.

Vieira, G. L., & Molin, D. C. C. D. (2004). Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. *Ambiente Construído*, 4(4), 47-63.