



ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR RCD EM CONCRETOS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.VII-005>

Marco Antônio Assis de Oliveira (*), Marcelo Laédson Morato Ferreira, Edmilson Roque da Silva Júnior, Deivid Kaik de Lima Araujo, Danylo de Andrade Lima

*Universidade Federal de Pernambuco – UFPE; marco.assis@ufpe.br.

RESUMO

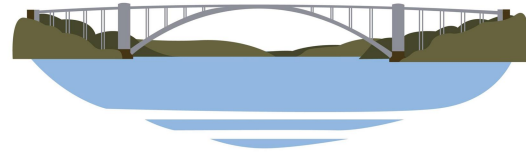
O setor da construção civil é responsável por cerca de 30% do consumo de matéria-prima e 25% da emissão de resíduos em escala mundial. A utilização de resíduos da construção como matéria-prima na confecção de concretos sustentáveis é uma prática viável e benéfica para o meio ambiente, para a sociedade e para a indústria. O propósito desta pesquisa é analisar o desempenho mecânico de um concreto alternativo que utiliza resíduos da construção e demolição (RCD) como substituto parcial do agregado graúdo. É necessário verificar se as propriedades requeridas são atendidas, para que o desempenho seja eficiente em comparação com o concreto convencional. Os traços foram elaborados com substituições de 15%, 30% e 50% dos resíduos, e submetidos a períodos de cura de 7, 14 e 28 dias. Inicialmente, a caracterização física dos materiais foi realizada por meio da análise de granulometria, massa unitária e específica, absorção e módulo de finura. Em seguida, os corpos de prova foram moldados e submetidos a ensaios mecânicos de resistência à compressão simples e tração por compressão diametral. O objetivo é avaliar se o concreto alternativo produzido com RCD é capaz de satisfazer as exigências técnicas e apresentar desempenho equiparável ao do concreto convencional. Os resultados indicam que os corpos de prova que tiveram resíduos RCD substituindo parte do agregado apresentaram valores de resistência semelhantes ou até maiores do que o concreto convencional. No caso do concreto com RCD, o traço de 15% alcançou a maior resistência, atingindo 21,6 MPa, superando os traços de 30% e o convencional após 28 dias de cura. No entanto, o traço com maior substituição do agregado (RCD 50%) não atingiu a resistência exigida pela norma. Conclui-se que o uso de resíduos como substituição de agregados naturais é viável, uma vez que mais de 80% das composições testadas atenderam aos padrões das normas. Isso proporciona benefícios econômicos e ajuda a evitar a extração de recursos naturais e o descarte inadequado de resíduos, promovendo a sustentabilidade e uma relação positiva entre a construção civil e o meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos; Resíduos de Construção e Demolição; Concreto Sustentável.

ABSTRACT

The construction sector is responsible for approximately 30% of global raw material consumption and 25% of waste emissions. The use of construction waste as raw material in the production of sustainable concrete is a viable and beneficial practice for the environment, society, and industry. The purpose of this research is to analyze the mechanical performance of an alternative concrete that uses construction and demolition waste (CDW) as a partial substitute for coarse aggregate. It is necessary to verify if the required properties are met, so that the performance is efficient compared to conventional concrete. Mix designs were prepared with 15%, 30%, and 50% CDW substitutions and subjected to curing periods of 7, 14, and 28 days. Initially, the physical characterization of the materials was carried out through particle size analysis, bulk and specific density, absorption, and fineness modulus. Then, the specimens were molded and subjected to mechanical tests of compressive and split tensile strength. The aim is to evaluate if the alternative concrete produced with CDW is capable of meeting technical requirements and presenting performance comparable to conventional concrete. The results indicate that specimens with CDW waste replacing part of the aggregate presented similar or even higher strength values than conventional concrete. In the case of concrete with CDW, the mix design with 15% substitution achieved the highest strength, reaching 21.6 MPa, surpassing the 30% mixes and the conventional after 28 days of curing. However, the mix design with the highest substitution of aggregate (50% CDW) did not achieve the required strength according to the standard. It is concluded that the use of waste as a substitute for natural aggregates is feasible, since more than 80% of the compositions tested met the standards. This provides economic benefits and helps to avoid the extraction of natural resources and improper disposal of waste, promoting sustainability and a positive relationship between the construction industry and the environment.

KEY WORDS: Solid Waste; Construction and Demolition Waste; Sustainable Concrete.



INTRODUÇÃO

No ramo da construção civil, o uso de materiais compósitos é realizado em larga escala, devido a sua fundamental importância e aplicabilidade em várias etapas da obra. Mazur (2010) define material compósito como a associação de dois ou mais componentes distintos com o intuito de melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais. Assim, o próprio concreto já é considerado um compósito, pois o mesmo apresenta mais de uma fase na sua constituição, como por exemplo, a pasta de cimento e os agregados.

Desse modo, o concreto feito com cimento Portland se fortaleceu como o material construtivo mais utilizado no mundo ao longo do século XX (PEREIRA, 2017). Durante esse período foram construídas pontes, barragens, aeroportos e inúmeras outras construções no Brasil. Associado a essas obras e ao crescimento do país, foram elaboradas normas para garantir a qualidade e a segurança das construções por meio de padrões estabelecidos nas mesmas, um exemplo é a norma NBR 15146-1, onde a mesma regulamenta o controle tecnológico de qualidade do concreto.

Com a grande utilização do concreto como material construtivo nota-se que a parcela de resíduos da indústria da construção civil usada como material de aterro ou despejados indevidamente em terrenos baldios, tem aumentado ao longo do tempo. Isso levou a uma crescente falta de áreas de aterro, terrenos se tornando depósitos de lixo, os custos de despejo correto vêm aumentando. Portanto, o manuseio de resíduos tornou-se uma das questões ambientais mais importantes nos países em desenvolvimento (BEHERA *et al.*, 2014)

A partir daí, a problemática ambiental que envolve a geração de resíduos tomou proporções de ampla magnitude, assim tornou-se prioridade as discussões que buscassem reduzir a produção desses resíduos, deste modo como maneiras de destinação final aos mesmos.

O descarte inadequado dos resíduos da construção e demolição acarretam em diversos prejuízos a paisagem, bem como para o meio ambiente, pois além de poluírem o solo apresentam uma ameaça à saúde pública, pois são usados de abrigo para animais peçonhentos, facilitando a proliferação de doenças (KARPINSK *et al.*, 2009). O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento mecânico de um concreto alternativo a partir da utilização do resíduo da construção e demolição (RCD) como substituição parcial do agregado graúdo, verificando o atendimento das propriedades requeridas, a fim de obter um desempenho eficiente quando comparando a um concreto convencional.

OBJETIVOS

Analisar o comportamento mecânico de um concreto produzido com a substituição parcial do agregado graúdo por resíduos provenientes da construção civil. Avaliar a viabilidade da produção e o desempenho mecânico do concreto em relação às diferentes composições de agregados para uso estrutural. Além disso, verificar a possibilidade de utilização desses resíduos como alternativa na construção civil, contribuindo para a redução do descarte inadequado no meio ambiente. Realizar ensaios de resistência à compressão simples e tração por compressão diametral em corpos de prova com diferentes teores de substituição do agregado graúdo pelo resíduo da construção e demolição (RCD).

METODOLOGIA

Materiais e métodos

Primeiramente foi realizado um levantamento visual na cidade de Pombal-PB, com o intuito de ver quais os tipos de resíduos de construção e demolição existentes. Constatou-se que os dois principais tipos de RCDs encontrados foram os provenientes de matérias cerâmicas e de argamassas, optou-se por trabalhar com o material de argamassas por serem mais facilmente encontrados. Na Figura 1 observa-se o RCD de argamassa.

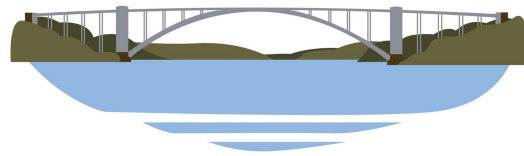


Figura 1: Resíduo encontrado na obra. Fonte: Autores, 2020.

Para realização da pesquisa, foram utilizados materiais como areia fina/média, brita 1, que são comumente usados na construção da região de Pombal. A água utilizada no estudo foi proveniente da rede de abastecimento do município e o aglomerante utilizado foi o cimento Portland CP II Z 32. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Campina Grande - Campus Pombal.

A dosagem dos traços dos concretos em estudo e do concreto convencional foi definida e os corpos de prova foram moldados de acordo com a norma NBR 5738 (2016) para realização dos ensaios de compressão simples e tração. A Figura 2 apresenta o fluxograma com as etapas realizadas na pesquisa.

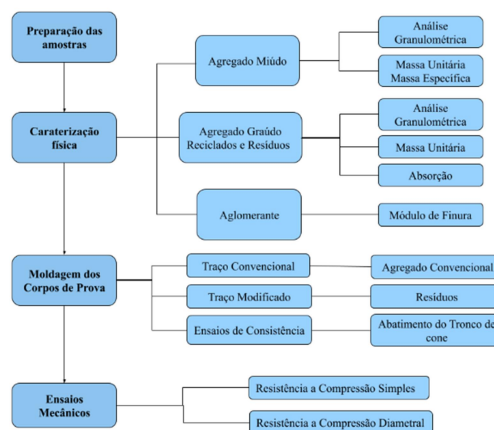


Figura 2: Fluxograma das atividades. Fonte: Autores, 2020.

Foram coletados cerca de 40 kg de resíduo e transportados para a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – Campus Pombal, para serem devidamente preparados. Os mesmos estavam misturados com outros tipos de resíduos da construção e demolição compostos em sua maioria por resíduos cerâmicos, de argamassa, concreto, gesso, plásticos, entre outros.

Realizou-se a classificação de forma preliminar visualizando a amostra do material coletado, composto por um aglomerante cimentício e agregado miúdo, características dos resíduos de argamassa. Foi utilizado apenas um tipo de RCD com a finalidade de obter amostras seguras e precisas.

Caracterização física dos materiais

Foram realizados os ensaios de massa específica (NBR NM 52, ABNT, 2009) e massa unitária conforme a norma NBR 45 (ABNT, 2006), além da absorção dos resíduos. Todos os ensaios foram conduzidos seguindo as normas brasileiras. Para o aglomerante, foi realizado o ensaio de módulo de finura conforme a norma NBR 11579 (ABNT, 2013). Posteriormente, foram realizadas análises granulométricas tanto dos resíduos de RCD quanto do agregado natural, a fim de identificar o tamanho dos grãos presentes. A caracterização física dos materiais utilizados foi realizada por meio de ensaios de peneiramento, massas unitárias e específicas, com o intuito de determinar suas propriedades. Para o aglomerante, foi determinada a finura.



Análise granulométrica

Foi coletada uma amostra de 500g do material e submetida ao processo de peneiramento utilizando um agitador mecânico. Para essa tarefa, foram utilizadas peneiras de diferentes aberturas, seguindo a série normal de 37,5 mm; 19 mm; 4,75 mm; 2,40 mm; 1,20 mm; 0,60 mm; 0,30 mm e 0,15 mm. Em seguida, foi pesada a massa de material retido em cada peneira e o procedimento foi repetido duas vezes para garantir maior precisão dos resultados. O ensaio de granulometria foi realizado com a areia, brita 1 e RCD.

Massa unitária, massa específica e finura

Para determinar a massa unitária dos materiais, utilizou-se a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006). Três amostras dos materiais foram pesadas em um recipiente com volume conhecido e a média dos valores foi calculada, descontando a massa do recipiente. Dividindo a média das massas pelo volume do recipiente, foi possível obter a massa unitária. Além disso, a massa específica da areia e dos resíduos foi obtida de acordo com NBR NM 52 (ABNT, 2009), enquanto a finura do cimento foi determinada conforme a ABNT NBR 11579 (2013). O índice de finura do cimento Portland foi determinado utilizando a peneira 75 μm (n° 200) e corresponde à porcentagem em massa de cimento com dimensões de grãos maiores que 75 μm (fração retida na peneira n°200). A equação para o cálculo do índice de finura foi:

$$F(\%) = \frac{R}{M} * 100 \quad \text{equação (1)}$$

Em que R representa a massa de resíduo retido na peneira de 75 μm e M é a massa inicial do cimento utilizada no ensaio, ambas medidas em gramas.

Absorção de água

Para realizar o ensaio de absorção de água do agregado graúdo, os materiais foram imersos em água por um período de 24 horas e, em seguida, pesados. Conforme as diretrizes da norma NBR NM 52 (ABNT, 2009), os agregados foram levados à estufa, mantidos a uma temperatura de 105 a 110 °C e pesados novamente após 24 horas. Após esse tempo, a amostra foi removida da água, envolta em um pano absorvente para eliminar a água visível da superfície e pesada imediatamente para obter a massa saturada (m_s). Posteriormente, o agregado foi seco em estufa para remover toda a água e, em seguida, pesado novamente para obtenção da massa seca (m). Por meio da equação 2, foi possível calcular a absorção de água do agregado graúdo.

$$A(\%) = \frac{m_s}{m} * 100 \quad \text{equação (2)}$$

Definição dos traços

Utilizando o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), os traços foram determinados a partir dos dados dos agregados, com o objetivo de alcançar a resistência mínima de 20 MPa após 28 dias de cura, conforme exigido pela norma NBR 6118 para fins estruturais. Além das três composições para análise comparativa, foram produzidos corpos de prova de concreto convencional com o mesmo traço para servir como referência. Com base no traço convencional, foram calculadas as proporções para as três composições com substituição parcial do agregado graúdo, conforme ilustra a Tabela 1 em 15%, 30% e 50%. Em seguida, iniciou-se o processo de moldagem dos corpos de prova.

Tabela 1. Nomenclatura dos teores de substituição dos traços. Fonte: Autores, 2023.

Convencional	RCD
Conv. Brita 1	RCD _{15%}
	RCD _{30%}
	RCD _{50%}

Moldagens dos corpos de prova

Após a caracterização dos agregados e do aglomerante, procedeu-se à moldagem dos corpos de prova (CPs) utilizando moldes cilíndricos metálicos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, conforme ilustrado na Figura 3.

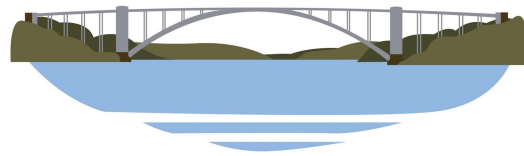


Figura 3: Moldes metálicos. Fonte: Autores, 2020.

A mistura do traço foi realizada em uma betoneira Moto Mil de 120 litros, seguindo a sequência de colocar o agregado graúdo, seguido pelo agregado miúdo e metade da água, misturando por 1 minuto. Em seguida, adicionou-se o cimento e o restante da água, misturando por mais 3 minutos. Logo após o desligamento da betoneira, o concreto fresco foi submetido ao ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (slump test), para verificar a trabalhabilidade requerida, conforme a Figura 4.



Figura 4: Slump test usado para o ensaio de consistência. Fonte: Autores, 2020.

O processo de moldagem foi realizado em três camadas, com cada uma sendo adensada com 25 golpes de haste padrão, seguindo a norma NBR 5738 (2003). Após 24 horas da moldagem, os CPs foram desmoldados. A cura dos corpos de prova foi feita por cura submersa no tanque a céu aberto. Após a cura, os CPs foram submetidos aos ensaios mecânicos de resistência à compressão simples e tração por compressão diametral nas idades de 7, 14 e 28 dias. Para fins de análise comparativa, foram moldados CPs com traço convencional e três composições com substituição parcial do agregado graúdo, calculadas a partir do referencial bibliográfico, em proporções de 15%, 30% e 50%, conforme apresentado na Tabela 1.

Resistência à compressão simples

Para verificar a resistência à compressão simples dos corpos de prova, eles foram submetidos à carga até rompimento em uma prensa hidráulica manual Shimadzu AG-IS equipada com célula de 100 kN, seguindo a norma ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018). Para calcular a resistência, foram medidos a altura e o diâmetro médio de cada corpo de prova, além do valor da carga máxima suportada. Com essas informações, foi possível calcular a resistência do concreto em MPa usando a relação entre a força aplicada e a área da seção transversal do corpo de prova, conforme a equação (3).

$$f_c = \frac{4F}{\pi x D^2} \quad \text{equação (3)}$$

A equação (3) permite calcular a resistência à compressão do concreto em MPa, tendo como base a força máxima alcançada durante o ensaio, expressa em newtons (N), e o diâmetro médio do corpo de prova, expresso em milímetros (mm). O resultado obtido f_c é expresso em mega pascal (MPa).



Resistência à compressão diametral

Para determinar a resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos, eles foram rompidos na prensa hidráulica manual mencionada anteriormente, seguindo a norma NBR 7222 (ABNT, 2011). Foi necessária a utilização de uma chapa metálica para distribuir uniformemente a força em toda a superfície lateral do corpo de prova. A carga foi aplicada de forma contínua e sem choques, com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa / s até a ruptura do corpo de prova. A resistência à tração por compressão diametral foi calculada usando a equação 4.

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi dl} \quad \text{equação (4)}$$

A fórmula para cálculo da resistência à tração por compressão diametral ($f_{ct,sp}$) é expressa pela Equação 4, em que F representa a força máxima obtida no ensaio, expressa em newtons (N); d é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm); l é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm). A resistência à tração por compressão diametral é expressa com três algarismos obtidos e a unidade é o mega pascal (MPa).

RESULTADOS

Agregado miúdo

Com base no Gráfico 1 apresentado abaixo, é possível verificar que a curva granulométrica da areia se encontra dentro dos padrões recomendados, com valores próximos às zonas ideais. Os diâmetros mais significativos foram identificados, e o diâmetro efetivo D_{10} foi de 0,22 mm. Dentro da faixa granulométrica, a areia é classificada como fina (0,15 mm a 0,6 mm) e, de acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2009), a areia fina pode ser considerada uniforme quando o coeficiente de uniformidade (CU) é menor do que 7. Essa uniformidade na granulometria da areia pode ter efeitos positivos nas propriedades do concreto (SOUZA, 2010).

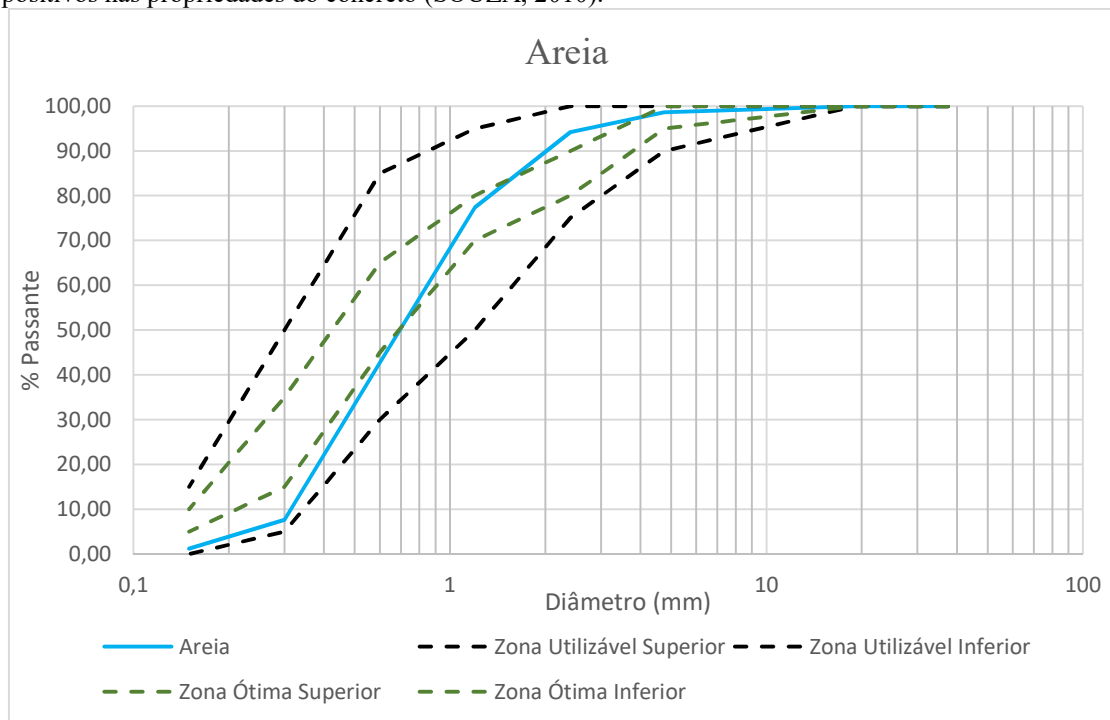


Gráfico 1: Curva granulométrica da areia. Fonte: Autores, 2020.

A partir da medição realizada, foi obtida a massa unitária de $1,41 \text{ g/cm}^3$. Esse resultado indica que os espaços entre os grãos estão preenchidos de forma mais eficiente, o que contribui para a maior densidade do concreto resultante.

Agregado graúdo

A curva granulométrica da brita 1 e do RCD estão apresentadas no Gráfico 2. Pode-se observar ver que a dimensão máxima é de 19 mm, estando assim dentro dos parâmetros estabelecidos na NBR 7211/2009, permitindo sua utilização no concreto.



Comparando as curvas granulométricas da brita 1 e do RCD, verifica-se a semelhança entre os agregados, principalmente nos tamanhos dos grãos a partir da peneira de malha 4,75mm, tendo em vista que o resíduo da construção tem uma porcentagem maior de finos quando comparado a brita 1.

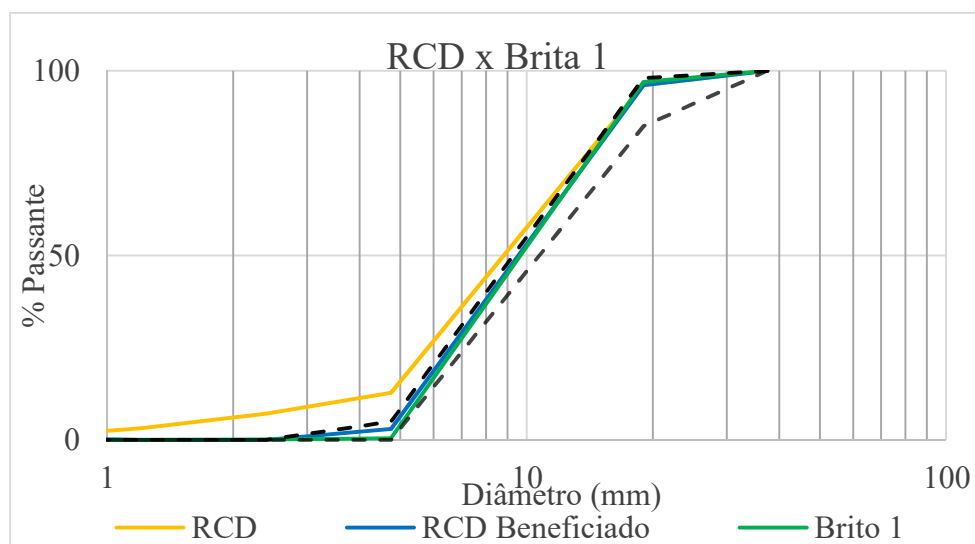


Gráfico 2: Granulometria do RCD x Brita 1. Fonte: Autores, 2020.

A partir da curva granulométrica pode-se constatar que o resíduo tem 92% de sua granulometria classificada como pedregulho segundo a classificação da norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

No Gráfico 2 também é possível identificar os diâmetros representativos do RCD: $D_{10} = 5,2$ mm; $D_{30} = 7,3$ mm; $D_{60} = 10,3$ mm. O RCD está inserido na faixa granulométrica, correspondente a brita 1 que fica ente 9,5 mm a 25 mm. Averigua-se que no processo de britagem o RCD sai com uma granulometria variada contendo partículas com diâmetros menores, isso é refletido na curva granulométrica fora dos limites estipulados pela norma representada pela linha amarela no Gráfico 2, apresentando cerca 3,99% na malha de 1,2 mm. Para solucionar esse problema, o material foi peneirado na malha 4,75 mm com a finalidade de retirar a fração fina, antes de ser usado no traço e passou a ser denominado de RCD Beneficiado (linha azul no Gráfico 2).

Após o peneiramento do RCD pode-se perceber que a distribuição granulométrica do mesmo ficou quase análoga a da brita 1. A partir das curvas granulométricas podemos identificar os diâmetros mais representativos mostrada na Tabela 2.

Tabela 2. Diâmetros mais representativos. Fonte: Autores, 2023.

Parâmetro	Brita 1 (mm)	RCD (mm)
D_{10}	5,2	4,4
D_{30}	7,3	6,5
D_{60}	10,3	10
CC	0,99	0,96
CU	1,98	2,27

Conforme os resultados é possível caracterizar as curvas granulométricas do RCD e da brita 1 como curvas descontínuas de acordo com o valor de coeficiente de curvatura $CC < 1$ exposto na Tabela 11 com ausência de grãos finos. Nota-se que os diâmetros representativos do RCD e da brita 1 são bem similares, o que constata que os materiais têm composições granulométricas semelhantes e consequentemente que o RCD pode ser utilizado como insumo para substituir o agregado graúdo natural (brita 1).



Massa unitária

A Tabela 3 apresentada abaixo mostra as massas unitárias dos agregados naturais e dos resíduos. Tais valores são fundamentais para a determinação das quantidades de materiais utilizados na dosagem do concreto, bem como para a conversão de um traço de massa para volume e vice-versa.

Agregado	Massa Unitária (g/cm ³)
Brita 1	1,45
RCD	1,09

Tabela 3: Dados correspondentes ao ensaio de massa unitária dos agregados graúdos. Fonte: Autores, 2020.

Absorção

Os ensaios de absorção de água, mostrados na Tabela 4, indicaram que o agregado de RCD possui um alto índice de absorção em comparação com o agregado natural (brita 1), chegando cerca de 16 vezes à porcentagem do mesmo. Esse crescimento poderá ocasionar o aumento do teor de água na pasta de concreto, consequentemente aumentando a quantidade de poros, o que pode comprometer as propriedades mecânica do concreto.

Agregado	Absorção (%)
Brita 1	0,6
RCD	9,66

Tabela 4: Absorção de água dos agregados graúdos. Fonte: Autores, 2020.

De acordo com o trabalho de Zhang (2018) ao realizar o ensaio de absorção dos resíduos da construção, submerso por 24h de acordo com norma chinesa (T 0330–2005) obteve valores médios de absorção de 9.18 % corroborando com os dados encontrados na presente pesquisa.

Determinação dos traços e dosagem

Os traços com RCD foram determinados a partir do método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), tendo como base os dados dos ensaios de caracterização e uma resistência de 20MPa. Como pode-se observar na Tabela 5, a relação água/cimento aumenta conforme o acréscimo da quantidade de resíduo na composição para efetuar a correção do traço de acordo com a absorção dos agregados. Isso acontece porque o resíduo possui absorção de água elevada. Na composição de 15% acrescentou-se água em uma proporção de 8,16% ficando assim não muito distante da relação água cimento de referência. Já nas composições de 30 e 50% adicionou-se 14,28% e 22,44% respectivamente, em relação ao traço convencional, esse aumento pode gerar mais espaços vazios com a saída da água no processo de cura, diminuindo assim o desempenho do concreto.

Composição	Traço
RDC 15%	1: 2,28: 2,62: 0,53
RDC 30%	1: 2,28: 2,62: 0,56
RDC 50%	1: 2,28: 2,62: 0,60
Convencional	1: 2,28: 2,62: 0,49

Tabela 5: Dados correspondentes aos traços. Fonte: Autores, 2020.

Ensaio de consistência

O ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*). Determina a consistência e a trabalhabilidade do concreto, que está diretamente ligada à sua capacidade de ser moldado. Na Tabela 6 observa-se que a trabalhabilidade do concreto



com substituição de RCD apresentou diminuição em função do acréscimo do agregado reciclado, isso se deve a sua elevada absorção de água.

Traço	Slump Test (cm)
Conv. Brita 1	7
RCD 15%	7
RCD 30%	6
RCD 50%	5,5

Tabela 6: Dados correspondentes ao ensaio de abatimento. Fonte: Autor, 2020.

Resistência à compressão axial simples

O Gráfico 3 mostra os valores dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial simples para três idades de curas estudadas: 7, 14 e 28 dias. Assim, com base nos ensaios verifica-se que o concreto com RCD nas substituições de 15%, 30% e 50%, ressaltando o traço de 15% que mostrou o melhor desempenho, superando assim o traço convencional após os 14 e 28 dias de cura, isto pode ser constatado a partir da análise do Gráfico 3 exposto abaixo. Ao final dos 28 dias o RCD 15% se mostrou com uma resistência a compressão de 21,61 MPa superando assim o convencional que obteve uma resistência de 21,08 MPa, pode-se verificar que o RCD atingiu resistências mínimas para um concreto de fins estruturais como estipuladas pela Norma NBR 6118 (ABNT, 2014).

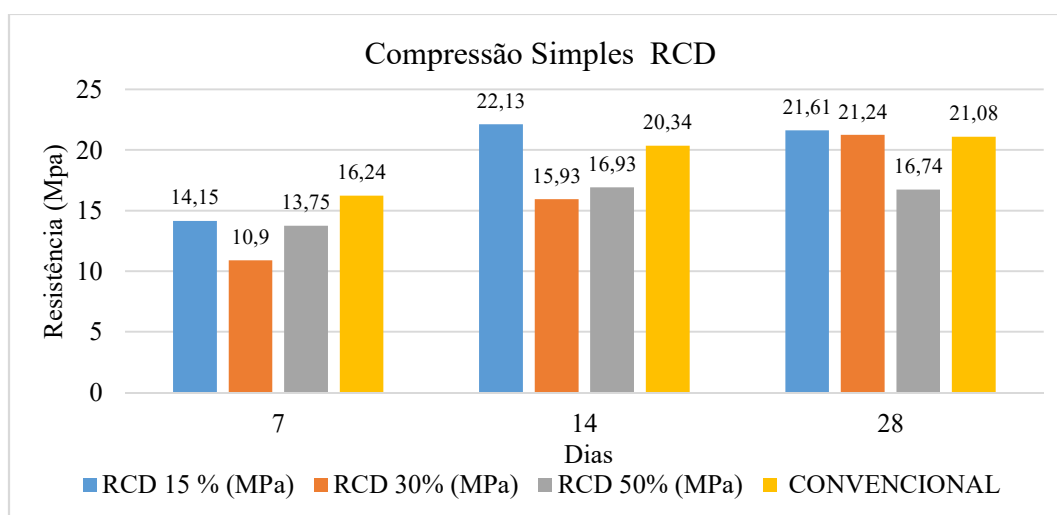


Gráfico 3: Resistência à compressão simples RCD. Fonte: Autores, 2020.

Como pode-se observar no Gráfico 3, o aumento da quantidade de RCD inserido, não resulta em valores superiores para compressão simples, isso se deve ao teor de absorção de água do mesmo e também ao índice de vazios que aumentam de acordo com o grau de adição do agregado reciclado, confirmado pelos resultados obtidos por Poon (2004), fazendo uso de microscopia eletrônica de varredura (MEV) ele constatou que a pasta de cimento tinha uma alta porosidade, devida elevada absorção de água do RCD.

O RCD também possui massa unitária menor do que a do agregado convencional isso acarreta em uma maior distribuição de poros, gerando um concreto que não propicia o alcance de resistências mais elevadas. No entanto, a diferença de resistência entre os traços convencional e de RCD, ambos com a mesma idade de cura, foi relativamente pequena, proporcionando a viabilidade do emprego do agregado na construção civil.

Behera *et al.* (2014) avaliando o desempenho de concretos produzidos com agregados reciclados da construção, em diferentes teores de resíduos e variações e relação a/c, apresentou valores de resistência a compressão de 22 e 20 MPa nas composições de 30% e 50% respectivamente usando uma relação a/c de 0,52. Desse modo, pode-se constatar que os dados corroboram com o presente estudo. vale ressaltar que as resistências apresentadas pelo autor diminuem em função do aumento da proporção resíduo e do aumento da relação a/c.

De acordo com o aumento de porcentagem do resíduo, foi verificado que a resistência diminuía, observa-se que as composições de 15% e 30% de RCD alcançaram a resistência a compressão mínima de concretos para fins estruturais, segundo a ABNT NBR 6118/14.



Resistência à compressão diametral

A ruptura desse ensaio ocorre ortogonalmente à direção da carga aplicada obtendo assim uma tensão-limite por tração. Constatou-se que os traços contendo o agregado de RCD obteve um desempenho aceitável no quesito resistência, mantendo-se bem próximo dos resultados do convencional. Desse modo, vale ressaltar que o traço de 15% atingiu resistência a compressão diametral de 2,94 MPa bem próxima ao resultado do traço convencional que foi de 3,04 MPa aos 28 dias, mostrando que o resíduo se mostrou com um bom desempenho resistência à tração por compressão diametral, como mostra o Gráfico 4 mostrado abaixo.

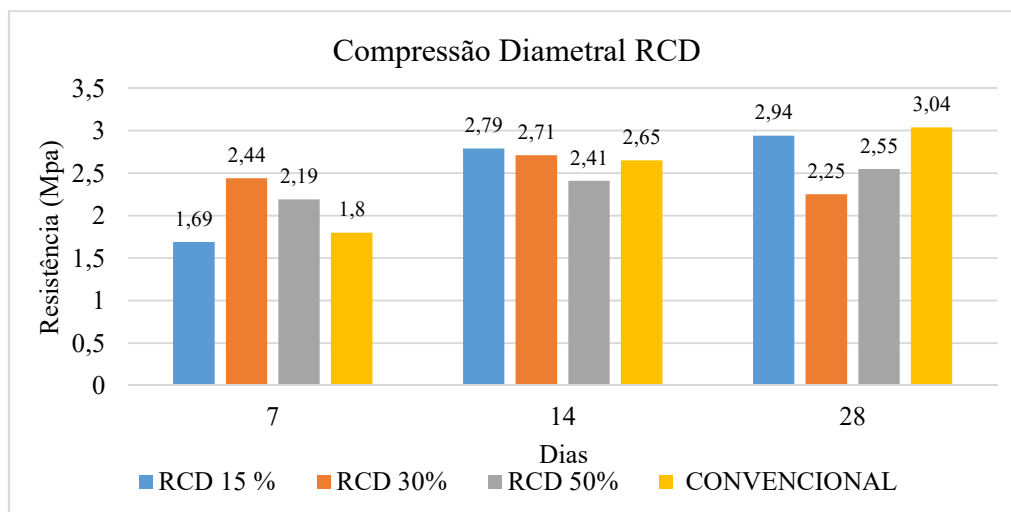


Gráfico 4: Resistência à compressão diametral Resíduo da Construção. Fonte: Autores, 2020.

No ensaio de resistência a compressão diametral o RCD 15% apresentou o menor valor de resistência aos 7 dias de cura, mostrando uma baixa resistência inicial, pode-se ressaltar também os resultados do traço de RCG 30% aos 28 dias que apresentou resistência menor que aos 14 dias, isso pode ter corrido por fatores externos, como mal adensamento na hora da moldagem ou até elevada absorção de água do agregado.

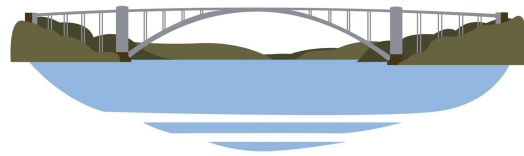
Ao fazer uma comparação entre a resistência à compressão simples e a resistência à compressão diametral, observa-se que a mesma foi menos afetada com a adição de RCD. Esses resultados pode ser explicados pela resistência à tração considerada para os mecanismos de aderência física entre as partículas do concreto, contudo, o uso de agregados demonstrou uma boa aderência entre a pasta e o agregado, em razão da sua forma mais irregular e porosa, mostrando que o mesmo pode ser empregado na substituição do agregado graúdo.

CONCLUSÃO

É possível concluir que a caracterização física dos materiais utilizados como agregado graúdo foi satisfatória, estando dentro dos padrões estabelecidos pelas normas. Os resultados dos ensaios mecânicos indicaram que os concretos produzidos com a adição do resíduo apresentaram desempenho aceitável, chegando a superar em alguns casos os traços convencionais utilizados como referência. Além disso, foi observado que a porcentagem de resíduo influenciou a trabalhabilidade do concreto, afetando o abatimento, porém a consistência manteve-se dentro dos limites estabelecidos. A substituição de 15% do agregado por RCD resultou em discrepância na massa unitária e absorção em relação ao agregado convencional, mas ainda assim foi possível obter valores equivalentes de resistência. Foi constatado que o RCD apresenta alto teor de absorção, o que demanda maior quantidade de água no traço do concreto, porém essa compensação é justificada pelos danos causados pela disposição inadequada desses resíduos. Portanto, a utilização de RCD na produção de concreto pode ser viável economicamente e ambientalmente, tornando-se uma opção sustentável e contribuindo para a redução do uso de recursos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 11579**: Cimento Portland–Determinação da finura por meio da peneira 75 μm (n° 200), Rio de Janeiro, 2013.
2. _____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.



3. _____. **NBR 15146-1**: Controle tecnológico de concreto — Qualificação de pessoal, 2011.
4. _____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, p.238, Rio de Janeiro, 2014.
5. _____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
6. _____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
7. _____. **NBR NM 52**: Agregado Miúdo – Determinação da Massa Especifica e Massa Especifica Aparente. Rio de Janeiro, 2009...
8. _____.
9. _____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
10. _____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.
11. BEHERA, M., BHATTACHARYYA, S.K., MINOCHA, A.K., DEOLIYA, R., MAITI, S. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. **Construction and Building Materials**. v.68, p. 501-516. 2014.
12. KARPINSK, L.A; PANDOLFO, A; REINERER, R.; GUIMARÃES, J.C.B; PANDOLFO, L.; KUREK, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre, RS: Edipucrs, 2009.
13. MAZUR, Rogério Lago. Obtenção e caracterização de compósitos de fibras de carbono/PEKK com aplicações aeronáuticas. 2010. **Tese (Doutorado)** – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2010.
14. PEREIRA. Eric Vallotti. Influência de Fibras de Aço no Comportamento Mecânico e nos Mecanismos de Fissuração de Concretos Autoadensáveis. Rio de Janeiro Julho de 2017 **Dissertação de Mestrado**.
15. SOUZA, D. R. Estudo da influência das características granulométricas dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.