

**UTILIZAÇÃO DE RCD (RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO) COMO
AGREGADO GRAÚDO PARA CONFEÇÃO DE UM CONCRETO
SUSTENTÁVEL.**

**USE OF CDW (CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE) AS A GRADE
AGGREGATE FOR THE CONCRETE OF SUSTAINABLE CONCRETE.**

Laura Ribeiro Paiva *

Vanêssa Cabral de Almeida Batista **

Carolina Fonseca Farias ***

RESUMO

Com o aumento significativo da população nas últimas décadas o setor da construção civil tem vivido um grande avanço, juntamente com esse avanço aumentou-se agressivamente a extração dos recursos naturais para a confecção do concreto, que é o segundo recurso mais utilizado mundialmente, ficando atrás somente da água. O presente trabalho visa buscar a substituição dos agregados naturais por resíduos da construção e demolição que seriam descartados, produzindo um concreto sustentável com função estrutural para obras de pequeno porte, ajudando tanto no âmbito econômico, quanto no social, visto que traria uma redução significativa no custo total da obra e também diminuiria a extração de recursos naturais e os resíduos deixariam de ser descartados, muitas vezes em locais inapropriados. Os resíduos propostos para tal substituição foram os resíduos da construção e demolição (RCD), substituindo parcialmente a brita em 10, 20 e 30%. Os resíduos foram triturados e selecionados conforme a granulometria de maior semelhança aos materiais convencionais. Foram produzidos corpos de prova para 4 traços diferentes, sendo um traço referência que contém cimento, areia, brita e água, e 3 traços com substituições parciais da brita pelos RCDs. Para a avaliação do desempenho dos traços, realizou-se ensaios de compressão e absorção de água aos 7, 14 e 28 dias. Os resultados obtidos atestam a viabilidade das substituições, sendo que se obteve características muito próximas dos concretos com substituições por RCD quando comparadas ao concreto convencional, resultando em um concreto com resistência satisfatória, ambientalmente correto, economicamente viável e socialmente aceito.

Palavras-chave: Resíduo. Sustentabilidade. Reciclagem. Construção. Concreto.

* Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – lauraribeiropaiva@hotmail.com – Graduando em Engenharia Civil.

** Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – vanessa.cabral.25@hotmail.com – Graduando em Engenharia Civil.

*** Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – prof.carolina.farias@doctum.edu.br – Orientadora do trabalho.

ABSTRACT

With the significant increase in population in recent decades, the civil engineering sector has experienced a great advance, along with this advance, the extraction of natural resources for the manufacture of concrete has been aggressively increased, which is the second most used resource worldwide, lagging behind only from water. This work aims to seek the replacement of natural aggregates by construction and demolition waste that would be discarded, producing a sustainable concrete with a structural function for small works, helping both in the economic and social spheres, as it would bring a significant reduction in the total cost of the work and would also reduce the extraction of natural resources and waste would no longer be discarded, often in inappropriate places. The waste proposed for such replacement was construction and demolition waste (CDW), partially replacing gravel in 10, 20 and 30%. The residues were crushed and selected according to the granulometry with the greatest similarity to conventional materials. Specimens were produced for 4 different mixes, with a reference mix containing cement, sand, gravel and water, and 3 mixes with partial replacements of gravel by CDW. To evaluate the performance of the mixes, compression and water absorption tests were carried out at 7, 14 and 28 days. The results obtained attest to the viability of the replacements, with characteristics very similar to those of concrete with replacements by CDW when compared to conventional concrete, resulting in a concrete with satisfactory strength, environmentally correct, economically viable and socially accepted.

Keywords: Residue. Sustainability. Recycling. Construction. Concrete.

1. Introdução

Atualmente o debate sobre o meio ambiente, a ecologia, a relação homem-natureza e a relação empresa-natureza vem sendo exploradas com muita frequência. Tais temas, tem cada dia mais tomado proporções consideráveis devido a consciência do ser humano de estar ameaçando sua própria existência, isso se deve ao descontrole e ao abuso da exploração das fontes naturais de recursos e da grande quantidade de resíduos que vem sendo despejada no mundo, desregulando completamente o ecossistema.

Entre os setores que mais extraem recursos naturais, degradam o meio ambiente e produzem resíduos está o setor da construção civil.

A indústria da construção é indiscutivelmente essencial para o crescimento de uma nação, desempenhando um papel importante e vital para sociedade, transformando necessidades em infraestrutura, (IBRAHIM, 2010) e citado por (LOPES; RUDNICK; MARTINS, 2018). Entretanto o consumo excessivo das matérias primas utilizadas neste meio vem causando uma degradação do meio ambiente excessivamente agressiva.

O concreto é o segundo material mais consumido pelo o mundo, ficando atrás somente da água. E os recursos naturais utilizados para fabricação do mesmo tem sido consumido em massa, o que vem aumentando significativamente a mineração do solo para extração de agregados para a sua fabricação. A partir desse quadro, o governo elaborou uma legislação mais rígida para evitar essas atitudes e penalizar os infratores como a Lei nº 12.305:2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). (FERNANDEZ, 2011)

SAVASTANO e WARDEN (2003), afirmam que grande parte dos resíduos gerados nos diversos setores da economia podem ser reciclados, reutilizados, transformados e incorporados, de modo a produzir novos materiais de construção e atender à crescente demanda por tecnologia alternativa de construção mais eficiente, econômica e sustentável.

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são subprodutos da construção civil e, normalmente compreendem uma grande variedade de materiais, como fragmentos de concreto de cimento Portland, argamassas, blocos de alvenaria, telhas e placas cerâmicas, aço, plástico, papel, madeira, entre outros.

O aproveitamento desses resíduos como matéria prima no setor da construção civil tem sido discutido de forma exaustiva pelas mais diversas linhas de pesquisa em

tecnologia e inovação, tanto para fins ambientais, quanto socioeconômico. (LOPES; RUDNIK; MARTINS, 2018)

O ramo da construção civil consome durante o seu processo uma grande quantidade de material, o que de certa forma acaba gerando em grandes proporções os Resíduos da Construção e Demolição que são mais conhecidos como RCD. No Brasil eles apresentam graves problemas, seja pela disposição irregular destes resíduos, gerando problemas de ordem estética, ambiental e de saúde pública. Bem como, sobrecarregando os sistemas de limpeza pública, podendo representar de 50% a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos – RSU. (ABRELPE, 2014)

De acordo com Karpinski et al (2009, p;13), os resíduos dispostos inadequadamente são um problema socioambiental:

A cadeia produtiva da construção civil é responsável por uma quantidade considerável de resíduos de construção e demolição (RCD) depositados em encostas de rios, vias e logradouros públicos, criando locais de deposições irregulares nos municípios. Esses resíduos comprometem a paisagem urbana, invadem pistas, dificultam o tráfego de pedestres e de veículos, como também a drenagem urbana; além de propiciar a atração de resíduos não inertes, com multiplicação de vetores de doenças e degradação de áreas urbanas, o que afeta a qualidade de vida da sociedade como um todo.



FIGURA 01: Disposição irregular dos resíduos da construção e demolição na cidade de Piraúba-MG.

FONTE: Autor (2021).

A reciclagem dos resíduos de demolição para fins de substituição dos agregados graúdos no concreto, além de diminuir a quantidade despejada em aterros,

faz com que a extração de recursos naturais seja relativamente menor trazendo benefícios diversos ao meio ambiente.

Os resíduos de materiais de construção apresentam de modo geral, uma diversa quantidade de componentes. Tais resíduos podem provir da demolição de uma construção, ou ainda das sobras provenientes da fabricação de materiais para o mercado do ramo, que não são provenientes dos canteiros de obras, entretanto são geradas no meio.

O objetivo geral do presente estudo é avaliar as propriedades técnicas de um concreto sustentável com substituição parcial do agregado graúdo convencional em quatro traços de concreto, por agregados provenientes dos RCD (resíduos da construção e demolição). Obtendo um concreto sustentável com uma resistência mecânica satisfatória.

Segundo HANSEN (1992) e citado por SOUZA, ASSIS e SOUTO (2014), muito pouco concreto demolido é atualmente reciclado ou reutilizado em qualquer parte do mundo. Tendo em vista esta afirmação, foi realizada uma pesquisa de total relevância e interesse para aqueles que acreditam que é preciso buscar medidas alternativas para a construção civil afim de diminuir o impacto desse mercado ao meio ambiente, visto que o mesmo é responsável por mais da metade do volume de resíduos sólidos gerados em meio urbano. Nota-se que esse grande volume se deve ao fato de que praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor são geradoras de entulho.

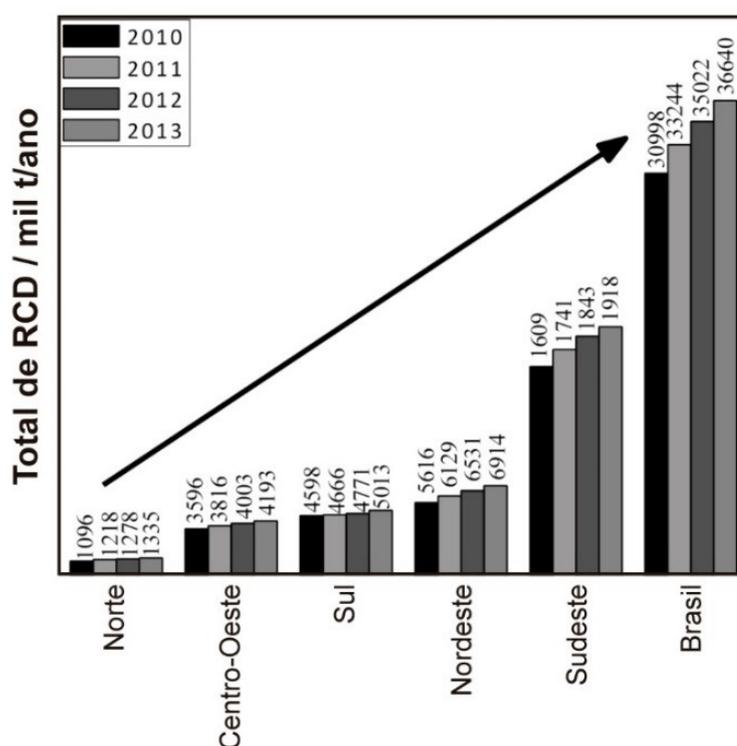


FIGURA 02: Total de RCD coletado no Brasil e por região do Brasil.

FONTE: Brasileiro e Matos (2015).

2. Referencial Teórico

A primeira aplicação significativa de RCD nas construções civis só foi registrada após a segunda guerra mundial, na reconstrução das cidades Europeias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos e os escombros ou entulhos resultantes foram britados para produção de agregados visando atender a demanda na época (LEVY, 1997).

2.1 Triagem do RCD

Muitas vezes quando não se é programado um processo de triagem nos canteiros de obras, o RCD misto acaba sendo recebido nos pátios das usinas de reciclagem. Nesse caso, para se produzir agregados reciclados, é necessário realizar uma triagem eficiente para segregar os materiais indesejáveis (madeira, vidro, cerâmico/vidro, aço, papel, plástico) e contaminantes (gesso, cimento e amianto), para que ao efetuar a substituição do agregado natural para o reciclado nos traços de concreto, obtenha-se um concreto com resistência mais satisfatória.

2.2 Propriedades dos agregados de RCD

- **Trabalhabilidade dos agregados de RCD**

Segundo CABRAL (2007), quando se compara os agregados reciclados com de origem natural observa-se que a sua trabalhabilidade é afetada chegando a apresentar resultados menores, o que pode ser explicado pelo fato de que os agregados reciclados são considerados mais secos que os normais, ocasionando uma maior absorção de água do que o normal, fazendo com que o resultado final apresente um material com uma mistura mais seca pelo fato dos agregados retirarem a água do processo que seria usado no cimento, o que provoca uma menor trabalhabilidade do conjunto.

- **Resistências à compressão dos agregados de RCD**

Segundo HANSEN (1992), em testes realizados com a substituição de agregado natural por reciclado, alcançou grandes resultados em que se pode considerar que o concreto quando submetido a forças de compressão apresentam uma melhoria da resistência em até 33%.

Porém dados demonstrados por CABRAL (2007), a resistência de concretos naturais chega a superar os produzidos com matéria prima reciclável em até 45%, então pode-se dizer que em relação a esta diferença de dados está relacionado ao processo de britagem, assim como a origem do material, além da qualidade do

cimento, que podem vir a originar o surgimento de vazios que conseqüentemente comprometem a sua resistência.

- **Resistências à abrasão dos agregados de RCD**

Quando se cita a abrasão dos materiais, se diz a respeito ao que podemos falar como sendo a capacidade do agregado em se fragmentar quando o mesmo é colocado em contato com outro material (CARRIJO, 2005).

LEITE (2001) considera que os agregados reciclados apresentam uma resistência ao contato e impacto menor, gerando um maior desgaste por abrasão quando comparado aos naturais.

- **Absorção dos agregados de RCD**

Devido à camada de argamassa do concreto original aderida à superfície dos agregados reciclados, eles apresentam propriedades diferentes das apresentadas pelos agregados naturais, principalmente maior absorção de água e maior deformabilidade (LEVY, 1997).

Diversos autores, entre eles HANSEN (1992), relatam que valores típicos para absorção de água de agregados reciclados de concreto situam-se numa faixa que varia de 5 a 10%.

- **Forma dos agregados de RCD**

A forma dos agregados provenientes de RCD tendem a ser mais angulares que dos agregados naturais, esta propriedade é variável de acordo com o tipo de RCD utilizado e de acordo com o maquinário a ser britado o resíduo. O britador de mandíbula, geralmente deixa em um formato angular, enquanto o britador giratório tende a deixar as partículas mais arredondadas.

- **Granulometria dos agregados de RCD**

A granulometria dos agregados naturais e reciclados parecem seguir as mesmas formas, com os agregados reciclados graúdos tendendo a uma granulometria ligeiramente mais grossa, o que resulta em módulo de finura um pouco maior. Mas isso também depende das características dos RCD e do sistema de britagem.

QUADRO 01: Propriedades dos agregados de RCD.	
Trabalhabilidade dos agregados de RCD.	A trabalhabilidade tende a ser menor, visto que os agregados reciclados são considerados mais secos que os normais, ocasionando uma maior absorção de água do que o agregado normal.
Resistências à compressão dos agregados de RCD.	Em testes realizados com a substituição de agregado natural por reciclado, alcançou grandes resultados em que se pode considerar que o concreto com RCD, quando submetido a forças de compressão apresentam uma resistência excepcionalmente satisfatória.
Resistências à abrasão dos agregados de RCD.	Os agregados reciclados apresentam uma resistência ao contato e impacto menor, gerando um maior desgaste por abrasão quando comparado aos naturais.
Absorção dos agregados de RCD.	Devido à camada de argamassa do concreto original aderida à superfície dos agregados reciclados, eles apresentam uma absorção maior que os agregados naturais.
Forma dos agregados de RCD	A forma dos agregados provenientes de RCD tendem a ser mais angulares que dos agregados naturais.
Granulometria dos agregados de RCD	A granulometria dos agregados naturais e reciclados parecem seguir a mesmas tendências, visto que seu processo de britagem e peneiramento são os mesmos.

FONTE: Autor (2021).

2.3 Concreto sustentável com RCD

Para engenharia o conceito de sustentabilidade é utilizar os elementos reciclados de forma correta, preservando o planeta para as gerações futuras, baseado nas soluções socialmente justas, economicamente viáveis, ecologicamente corretas e culturalmente aceitas.

Com cerca de 50% de toda a demanda dos recursos naturais e cerca de 50% de todos os resíduos gerados pela atividade humana, a construção civil está sempre no foco de pesquisas para o desenvolvimento sustentável (HERNANDES, 2006). Com base nestes dados pode-se dizer que a construção civil possui grande influência nos impactos sociais, econômicos e ambientais. Desta forma, pesquisas que buscam a utilização do RCD de maneira tecnicamente viável vêm aumentando bastante no Brasil, porém as mudanças de paradigmas em utilizar materiais não convencionais são, atualmente, um dos principais problemas.

O concreto sustentável traz uma nova utilidade para os resíduos gerados pelas construções e demolições, e conseqüentemente, uma menor exploração de recursos naturais. O concreto com a substituição da brita por RCD vem sendo bastante estudado na última década, vários autores trazem diversas pesquisas com diversos

traços para confecção do mesmo, seja substituindo totalmente ou parcialmente o agregado graúdo convencional pelo agregado graúdo reciclado, e apesar de alguns pesquisadores ressaltarem a baixa resistência do concreto com RCD em relação ao concreto convencional, o mesmo vem quebrando paradigmas e obtendo uma resistência bem satisfatória e interessante. O concreto com agregados reciclados já vem sendo utilizado para fins de pavimentações, argamassas e demais aplicações não estruturais, mas o interesse da presente pesquisa é levantar um traço de concreto com RCD com uma resistência satisfatória, que possa ser estudada para futuramente ser aplicada em peças estruturais em obras de pequeno porte, pois apesar da resistência do mesmo ser um pouco menor do que o convencional, ainda sim é uma resistência com um alto desempenho.

2.4 Propriedades dos concretos com RCD

Assim como as propriedades dos agregados, sejam eles naturais ou reciclados, são influenciadas pela porosidade, as do concreto seguem o mesmo padrão.

A resistência, ductilidade, retração e permeabilidade do concreto sofrem influência direta do número, tipo, tamanho e distribuição dos poros presentes nos agregados, na pasta de cimento e na zona de transição.

Particularmente, a massa unitária, o módulo de elasticidade e a estabilidade dimensionado concreto dependem grandemente da densidade e resistência do agregado (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Em consequência de os agregados reciclados terem propriedades variáveis, os concretos com eles confeccionados também tendem a apresentar variabilidade das propriedades que dependem do agregado. O conhecimento dessas propriedades é tão importante quanto o conhecimento das propriedades do agregado visto que é a partir do entendimento das relações existentes entre esses dois conjuntos de dados que se pode proporcionar o emprego adequado e confiável dos agregados reciclados.

- **Trabalhabilidade e consistência do concreto sustentável**

Observa-se na literatura que, em geral, os concretos confeccionados com agregados reciclados apresentam menor consistência no ensaio de medida pelo abatimento do tronco de cone (slump-test), que é efetuado conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998), e também menor trabalhabilidade do que concretos convencionais de mesmo traço, isso se deve a consistência do concreto ser diretamente influenciada pela porosidade do agregado utilizado.

No caso dos agregados reciclados, a maior presença de grãos mais finos ou pulverulentos, a forma mais angular do grão, a textura superficial mais rugosa e a maior porosidade, permitem aos agregados absorver parte da água da mistura, que de certa forma prejudicam a consistência do concreto.

- **Absorção do concreto sustentável**

Segundo estudos, concretos produzidos com agregados reciclados de RCD apresentam uma perda de trabalhabilidade e aumento do consumo de cimento devido à alta absorção de água desse material, isso se deve aos agregados de RCD apresentarem uma porosidade maior que a do agregado graúdo convencional, além de apresentarem maior absorção de água o concreto de RCD também apresentou maior índice de vazios quando comparados com os concretos convencionais. Essa característica ocorre em função do aumento da relação água/cimento, redução da massa específica, permeabilidade e composição dos agregados reciclados.

- **Resistência mecânica do concreto sustentável**

Os estudos vêm se ampliando em busca de novas informações sobre diferentes aspectos do comportamento de concretos utilizando agregados reciclados. Tem se confirmado que o comportamento do concreto produzido com agregados de RCD não pode ser previsto simplesmente através da sua composição ou densidade, pois há influência dessas e outras propriedades dos agregados na qualidade do concreto (LOVATO, 2007).

O concreto com agregados provenientes do RCD possui uma resistência menor do que os com agregados naturais, o que já é de se esperar devido alta porosidade dos resíduos. Comumente a resistência a compressão de concretos com agregado reciclado é de 5% a 10% mais baixa do que dos concretos com agregados convencionais (HANSEN, 1992), entretanto devemos considerar que esses números são bastante genéricos e podem variar de acordo com o RCD utilizado.

Levando em conta a relação da porosidade com a resistência, pode-se afirmar que o maior limitante da resistência dos concretos reciclados é a porosidade dos mesmos que possuem um alto índice de vazios.

Alguns autores dizem que é totalmente possível o uso do agregado reciclado em aplicações estruturais, desde que, observadas suas particularidades tais como: sua menor resistência, maior deformabilidade e maior permeabilidade, as quais podem vir a serem fatores limitantes em alguns casos.

QUADRO 02: Propriedades do concreto sustentável.	
Trabalhabilidade do concreto sustentável	Observa-se na literatura que, em geral, os concretos confeccionados com agregados reciclados apresentam menor consistência e trabalhabilidade, isso se deve a consistência do concreto ser diretamente influenciada pela porosidade do agregado utilizado.
Absorção do concreto sustentável	Concretos produzidos com agregados reciclados de RCD apresentam uma absorção de água maiores que os concretos com agregados convencionais, isso se deve a porosidade dos RCD.
Resistências mecânica do concreto sustentável	Comumente a resistência a compressão de concretos com agregado reciclado é de 5% a 10% mais baixa do que dos concretos com agregados convencionais devido a alta porosidade dos agregados de RCD.

FONTE: Autor (2021).

3. Metodologia

Estudos bibliográficos e pesquisas com ensaios laboratoriais feitos anteriormente sobre o tema foram contundentes para escolha dos materiais e métodos necessários para a realização do experimento, para que o objetivo proposto fosse alcançado.

O traço escolhido como referência foi retirado do guia de traços de Caldas Branco (1967), traço número 4, o qual atendia a necessidade de um concreto para fundações de pequeno porte, com recomendação de seu emprego para fundações (superficiais ou profundas), pavimentações, reservatórios, marquises, muros de sustentação ou de um modo geral, em todos os serviços em concreto armado expostos à ação do tempo ou da água.

O estudo foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Faculdades Unificadas de Cataguases (Rede Doctum de Ensino), e o RCD utilizado para a confecção do traço de concreto foi obtido de uma demolição que ocorreu na rua Tanguetá, situada no Centro da cidade de Piraúba-MG, os destroços da demolição foram triturados manualmente com o auxílio de uma marreta e peneirados conforme a classificação granulométrica específica dos agregados graúdos naturais do tipo brita 01 (AGR 9,5mm e 19mm) (NBR NM 248:2003), logo após foi efetuada a triagem para retirada dos materiais contaminantes tais como telhas, cerâmica, materiais orgânicos entre outros, e então adicionado ao concreto juntamente com a brita, a areia e o cimento, que foram dosados precisamente através da balança para a preparação do concreto, os materiais foram adicionados de forma parcial, juntamente com a água,

misturando e fez-se a exsudação para o melhor contato entre aglomerante e agregado.



FIGURA 03 E 04: Peneiramento e triagem dos RCD.

FONTE: Autor (2021).



FIGURA 05 E 06: Adição e exsudação dos agregados e aglomerante.

FONTE: Autor (2021).

Após a preparação dos concretos, foi realizada a análise do estado plástico através do SLUMP-TEST (ABNT NM 67, 1998) para cada traço a ser estudado, conforme Caldas Branco (1967), o traço escolhido foi balanceado para moldagem manual e para o ensaio de recalque foi previsto e atendido o abatimento máximo de 12 cm. Em seguida, após à verificação e ter atendido com excelência a exigência ao abatimento máximo proposto por Caldas Branco (1967), foi pincelado óleo vegetal no interior do corpo de prova, mais especificamente no tronco e na placa base, este processo foi necessário para facilitar o desmolde do concreto.



FIGURA 07 E 08: ensaio de abatimento do tronco do cone, Slump-Teste.

FONTE: Autor (2021).

O molde foi preenchido com duas camadas do concreto confeccionado, e a cada camada foi adensada com 15 golpes distribuídos uniformemente com haste padronizada para adensamento conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015), com o intuito de retirar as bolhas de ar que, eventualmente possam ter ficado alojadas podendo atrapalhar a resistência final do concreto. Para a última camada utilizou-se a colher de pedreiro para rasar a parte do concreto que estava irregular ao cilindro, logo após deu-se leves batidas no exterior do corpo de prova para melhor adensamento do concreto, com a colher de pedreiro.



FIGURA 09: Adensamento das camadas de concreto nos corpos de prova.

FONTE: Autor (2021).

Foram confeccionados corpos de prova de 10 cm de diâmetro para cada traço a ser estudado em suas respectivas idades de rompimento, depois de moldados e

decorridas as 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e armazenados de forma submersa em uma mistura de água com cal, para ocorrer o processo de cura do concreto conforme a NBR 5738 (ABNT, 2003), com 3 corpos de prova para cada respectiva idade de rompimento, sendo 7, 14 e 28 dias, após a cura dos corpos de prova confeccionados, realizamos o ensaio de compressão axial conforme a NBR 5739 (ABNT,2007) para cada grupo de corpos de prova e seus respectivos traços.



FIGURA 10: Cura dos corpos de prova.

FONTE: Autor (2021).

3.1 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados e sua proveniência estão demonstrados no quadro 03.

QUADRO 03: MATERIAIS UTILIZADOS.	
MATERIAL	DETALHES
Cimento Portland	Cimento Todas Obras CPIII Votoran.
Areia	Proveniente do Rio Pomba (MG).
Brita	Região da zona da mata (MG).
RCD	Demolição em Piraúba (MG).
Água	Abastecimento público da cidade de Cataguases-MG.

FONTE: Autor (2021).

Para este estudo, o material utilizado foi o RCD triturado no tipo brita 01, o qual passou pelo peneiramento vibratório para que fosse utilizado somente o resíduo que estivesse contido entre as peneiras de 9,5mm e 19mm. Com posse do material na granulometria correta, o mesmo passou por um processo de limpeza para retirada do excesso de solo, e então pela triagem para a retirada de materiais indesejáveis e contaminantes. Portanto o RCD utilizado foi devidamente preparado para que sua

granulometria fosse de extrema semelhança à brita 01. A figura 11 mostra o RCD e a brita 01 convencional, demonstrando a semelhança entre ambos.



FIGURA 11: Semelhança entre o RCD e a brita 01.

FONTE: Autor (2021).

O traço com a relação dos materiais utilizados em quilograma (Kg) está apresentado na tabela 01.

TABELA 01: RELAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS EM QUILOGRAMA.

TRAÇO	CIMENTO (Kg)	AREIA (Kg)	BRITA 01 (Kg)	RCD (Kg)
1	1,000	2,170	2,940	0,000
2	1,000	2,170	2,058	0,882
3	1,000	2,170	2,352	0,588
4	1,000	2,170	2,646	0,294

FONTE: Autor (2021).

As porcentagens de substituições de cada traço estão apresentadas na tabela 02.

TABELA 02: PORCENTAGEM DE SUBSTITUIÇÃO EM CADA TRAÇO.

TRAÇO	%RCD
1	-
2	30
3	20
4	10

FONTE: Autor (2021).

3.2 Ensaio de Compressão

Os corpos de provas foram rompidos em prensa hidráulica manual no laboratório de materiais de construção das Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases, o corpo de prova foi posicionado de modo que seu eixo ficasse centralizado com a máquina, para que a resultante das forças passasse pelo seu

centro. As faces dos pratos de carga foram limpas antes do corpo de prova ser colocado em posição de ensaio, o ajuste da distância entre os pratos de compressão visa facilitar a introdução e o alinhamento do corpo de provas, além de o fixar a máquina. A carga foi aplicada continuamente, sem choques, até que o corpo de provas se rompesse, conforme ilustrado na figura 12, de acordo com as diretrizes da NBR 5739 (ABNT,2007), para determinar a resistência característica à compressão dos traços de concreto. Para cada um dos 4 traços estudados foram confeccionados 3 corpos de provas para 07 dias, 3 corpos de provas para 14 dias e 3 corpos de provas para 28 dias, contabilizando um total de 36 corpos de provas.



FIGURA 12: Ensaio de resistência à compressão.

FONTE: Autor (2021).

A obtenção da Resistência (Mpa) a partir da carga (kN) que o corpo de prova foi solicitado, foi calculada pela equação 01.

$$R = \frac{F \cdot 10}{A}$$

EQUAÇÃO 01: Resistência à partir da carga.

Onde:

R= resistência (Mpa);

F= carga (kN);

A= área da seção= $78,53982\text{cm}^2$

3.3 Ensaio de Absorção de Água

Para a determinação da quantidade de água absorvida pelos corpos de prova, seguiu-se a NBR 9778 (ABNT,2009), para este ensaio foi pesado cada grupo de 3 corpos de prova após o desmolde, um grupo de cada traço, e colocados submersos a

mistura de água com cal e então pesados novamente na data de 28 dias, conforme a figura 13.



FIGURA 13: Ensaio de absorção de água.

FONTE: Autor (2021).

A obtenção da absorção de água em porcentagem a partir das médias das massas dos corpos de prova, foi obtida pela equação 02.

$$Aa = \frac{Msat - Ms}{Ms} * 100$$

EQUAÇÃO 02: Absorção de água.

Onde:

Aa= absorção de água (%);

Ms= massa seca (g);

Msat= massa saturada (g);

4. Resultados

4.1 Ensaio de Compressão

Foram rompidos os corpos de provas nas respectivas idades, 7, 14 e 28 dias, seguindo todas as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2007). A tabela 03 mostra os resultados gerados em cada idade com os respectivos desvios padrões para os grupos rompidos.

TABELA 03: Resistência a compressão.						
Traço	7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
	Resistência (Mpa)	Desvio Padrão	Resistência (Mpa)	Desvio Padrão	Resistência (Mpa)	Desvio Padrão
Concreto convencional	8,34	0,6566	15,46	0,4299	17,05	0,4527
Concreto com 30% RCD	6,47	0,3225	12,36	0,9477	15,46	0,7680
Concreto com 20% RCD	7,58	0,3759	10,31	1,0991	14,52	0,9378
Concreto com 10% RCD	6,96	1,0719	13,33	1,3787	16,16	1,9718

FONTE: Autor (2021).

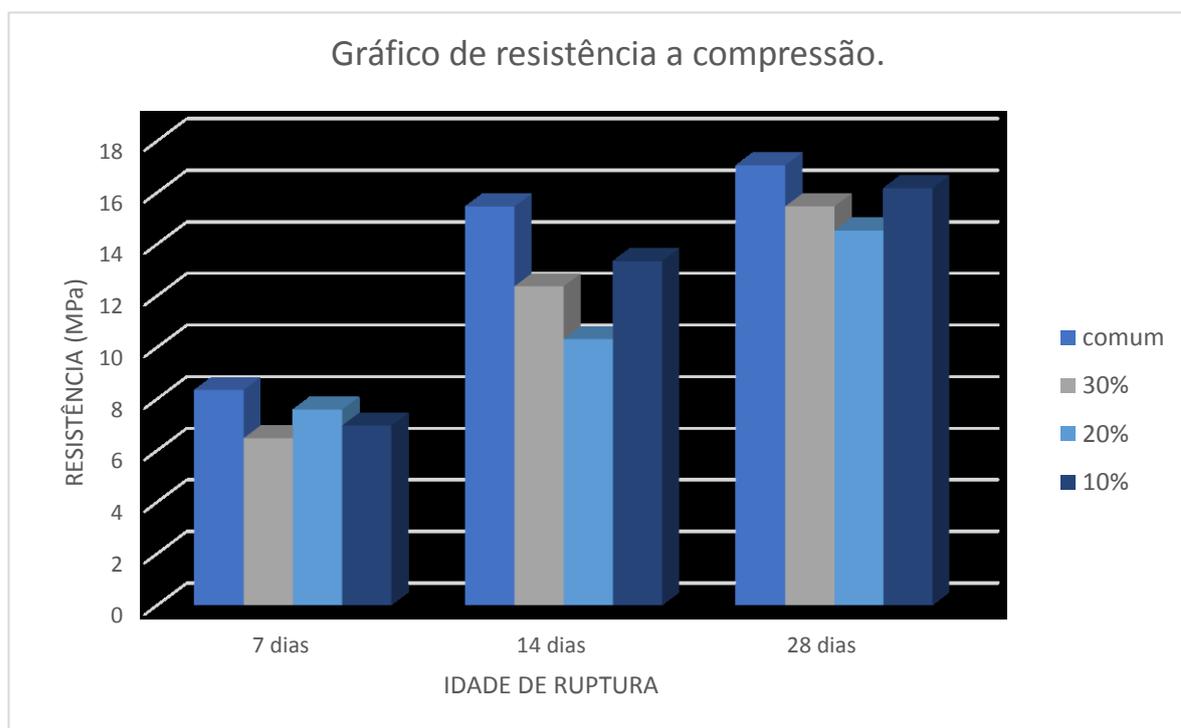


FIGURA 14: Gráfico de resistência a compressão.

FONTE: Autor (2021).

Conforme mostra a figura 14 com o gráfico de resistência a compressão, os resultados dos corpos de prova com substituições parciais da brita 01 por RCD, apresentaram resistência a compressão um pouco menor do que os corpos de prova com o traço referência proposto por Caldas Branco (1967), o que já era esperado, pois assim como citado por Hansen (1992), os concretos com substituições por RCD tendem a ter uma resistência a compressão entre 5% a 10% mais baixa do que dos concretos com agregados convencionais.

4.2 Ensaio de Absorção de Água.

A tabela abaixo mostra os resultados obtidos para cada grupo de 3 corpos de provas na idade de 28 dias.

Traço	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção (%)
Concreto convencional	10401,0	10550,0	1,433
Concreto com 30% RCD	10321,0	10518,0	1,909
Concreto com 20% RCD	10391,0	10561,0	1,636
Concreto com 10% RCD	10498,0	10646,0	1,410

FONTE: Autor (2021).

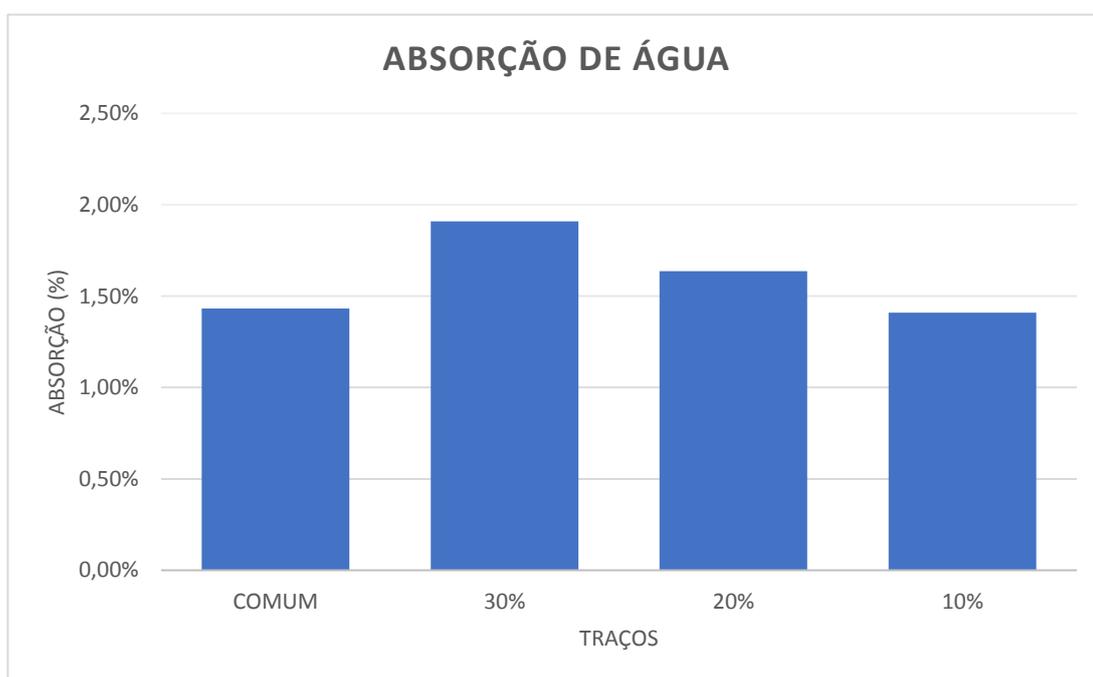


FIGURA 15: Gráfico de absorção de água.

FONTE: Autor (2021).

Todos os traços estudados apresentaram absorções de água na ordem de 1% a 2%, assim como foi ilustrado na tabela 04 e na figura 15 com o gráfico de absorção de água.

Analisando os resultados de absorção de água obtidos pelo ensaio realizado, verifica-se que os traços apresentaram pouca variação entre si, havendo um pequeno acréscimo para os traços que contêm resíduos na sua composição.

4.3 Avaliação dos Traços

Os traços estudados puderam ser comparados através das resistências médias a compressão e através da absorção média de água. A partir desses resultados foi possível avaliar o comportamento dos traços com substituições parciais em 30, 20 e 10% pelos resíduos em relação ao traço original.

5. Conclusão

Após a análise dos resultados obtidos, foi possível verificar que o concreto com as substituições propostas apresenta uma alta viabilidade de aplicação. Com um efeito totalmente benéfico para o meio ambiente, dando um destino totalmente sustentável aos resíduos da construção e demolição que seriam descartados, e diminui a extração dos agregados na mineração.

Os traços de concreto estudados atenderam satisfatoriamente aos três pilares da sustentabilidade, sendo um material ambientalmente correto (pois deixaria de ser disposto ao meio ambiente incorretamente, gerando contaminação a natureza e diminuiria a mineração para extração de brita), socialmente possível (sendo um material com uma possibilidade de acessibilidade para a população de todas as classes sociais, com ênfase nas classes médias/baixas, que possuem pouca renda e difícil acesso aos agregados naturais devido a situação econômica) e economicamente viável (com uma grande possibilidade de mercado para um produto feito a partir de resíduos, que no cenário que vivemos hoje, não tem descarte correto).

Ao compararmos o concreto sustentável com o concreto proposto por Caldas Branco (1967), tem-se uma resistência um pouco menos eficaz, entretanto, os resultados obtidos nos corpos de prova com RCD ainda assim apresentam uma resistência satisfatória, tendo como referência principal o traço com 30% de substituição do agregado convencional pelo agregado reciclado, o qual se teve um desempenho excelente, com possibilidade de aplicação em diversos setores da engenharia civil. No entanto abre-se um viés para estudos sobre os resultados obtidos e a possibilidade de utilização, com uma resistência e trabalhabilidade satisfatória, um concreto sustentável para possíveis estruturas.

6. Referências

ANGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NM 67: **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998, 8 p.

_____. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003, 6 p.

_____. NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009, 9 p.

_____. NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003, 6 p.

_____. NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007, 9 p.

_____. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009, 8 p.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2014**. São Paulo: Abrelpe, 2014.

BACMI, J.M. et al (1993) citado por BAZUCO, R.S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. Orientador: Prof. Dr. Janaíde Cavalcante Rocha. 2000. 128 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 1999.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **RESOLUÇÃO N°307**, pg 01-02, 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf>. Acesso em: 30 de abril de 2021.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica, Teresina/PI, ano 2015, p. 178-189, 21 mar. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/8v5cGYtby3Xm3Snd6NjNdtQ/?lang=pt#>. Acesso em: 25 ago. 2021.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do rcd**. Tese apresentada á escola de engenharia de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor em ciência da engenharia ambiental (2007).

CALDAS BRANCO, Abilio de Azevedo Caldas Branco. **12 TRAÇOS EM SEQUÊNCIA**: Concreto: dosagem em "pêso" ou volume. Rio de Janeiro: [s. n.], 1967.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. São Paulo: USP, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2005

FERNANDEZ, J. A. B. **Resíduos da Construção Civil**. Técnicos e Planejamento e Pesquisa/IPEA, Agosto de 2011.

HANSEN, T. et al (1992) citado por SOUZA, L.M.; ASSIS, C.D.; SOUTO, S.B.G. **Agregado reciclado: um novo material da construção civil**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria-RS, v. 18, p. 273-278, 1 abr.

2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2236117011297>. Acesso em: 28 maio 2021.

HERNANDES, T.Z. **LEED - NC como sistema de avaliação da sustentabilidade: uma perspectiva nacional?** Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia da Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006, 134p.

IBRAHIM et al (2010) citado por LOPES, João Pedro; RUDNIK, Thaina; MARTINS, Carlos Humberto. Utilização de resíduos industriais para a produção de concreto sustentável. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Maringá, v. 14, ed. 2, p. 216-228, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/index>. Acesso em: 20 maio 2021.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo, 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

KARPINSKI, L. A. et al. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Porto Alegre. Tese de doutorado em engenharia civil, programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LEVY, S.M. **Reciclagem de entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concreto.** 145p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LOPES, João Pedro; RUDNIK, Thaina; MARTINS, Carlos Humberto. Utilização de resíduos industriais para a produção de concreto sustentável. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Maringá, v. 14, ed. 2, p. 216-228, 2018.

LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto.** 2007. 180 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais.** São Paulo, Ed. PINI, 1994.

MOTTA, A. **Sobre Certificado de Sustentabilidade.** Site Revista Memo, 2013. Disponível em: <http://www.revistamemo.com.br/arquitetura/certificado-de-sustentabilidade-para-a-construcao-civil/>. Acesso em: 25 junho 2021.

PETERSEN, L. et al (2005) citado por ANGULO, S.C.; FIGUEIREDO, A.D. **Concreto: Ciência e Tecnologia: Concreto com agregados reciclados.** [S. I.]: Ibracon-SP, 2011. cap. 47.

SAVASTANO, Jr.; WARDEN, P. G. et al (2003) citado por LOPES, João Pedro; RUDNIK, Thaina; MARTINS, Carlos Humberto. Utilização de resíduos industriais para a produção de concreto sustentável. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Maringá, v. 14, ed. 2, p. 216-228, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/index>. Acesso em: 20 maio 2021.