



Utilização de Agregados Reciclados no Concreto para fins Estruturais

¹Celso Fernando Boeira Benicio; ²Vanda Zago Lupepsa

¹Discente do curso de Engenharia Civil da UNIPAR

²Docente do curso de Engenharia Civil da UNIPAR

Resumo

O setor da construção civil tem a necessidade urgente de avanços tecnológicos. O despejo de resíduos no meio ambiente e a extração de matéria prima tende, a cada vez, aumentar as quantidades retiradas e depositadas no meio ambiente. Este trabalho apresenta um estudo sobre as alternativas de utilizar os resíduos da construção civil em forma de agregado reciclado para substituição parcial do agregado natural no concreto. Foram realizados ensaios, em laboratórios, com substituição de 25% do agregado natural pelo agregado reciclado, para verificação das propriedades e da composição do material reciclado e a diferença, no concreto, sobre a resistência a compressão e quanto a trabalhabilidade do material. O resultado, para a dosagem com substituição de 25%, foram satisfatórios, tanto na trabalhabilidade, quanto na resistência a compressão, com valores equivalentes à dosagem de referência e sem grandes prejuízos à trabalhabilidade.

Palavras-chave: Concreto, Sustentabilidade, RCC.

Abstract

The civil construction sector is in urgent need of technological advances. The dumping of residues into the environment and the extraction of raw materials tend to increase the amounts removed and deposited in the environment. This work presents a study on the alternatives of using civil construction waste in the form of recycled aggregate to replace the natural aggregate in concrete. Tests were carried out in laboratories with the replacement of 25% of natural aggregate by recycled aggregate, to verify the properties and composition of the recycled material and the difference in concrete on the compressive strength and workability of the material. The results for the dosage with substitution of 25% were satisfactory both in terms of workability and compressive strength, with values equivalent to the reference dosage and without major losses in workability.

Keywords: Concrete, Sustainability, RCC.



1 Introdução

O setor da construção civil consome significativa quantidade de recursos naturais, com 40% do total de energia e gera 50% do total de resíduos produzidos no mundo. De acordo com Eguchi *et al* (2007), a construção civil é considerada um dos maiores agentes de degradação do meio ambiente (OIKONOMOU, 2005).

São muitas as fontes de resíduos gerados na construção civil; como a falta de qualidade de bens e serviços, o que acarreta em perdas de materiais e que os mesmos saiam na forma de entulho, resultando em aumento da quantidade de resíduos gerados (LEITE, 2001).

Além dos resíduos de construção, há também resíduos de demolição, que podem ser causados pelo crescimento econômico e populacional da cidade e pela necessidade de manutenção, restauração e reforma estrutural (CARRIJO, 2005).

A Construção Civil é responsável por grande parte da geração de resíduos sólidos, isto é uma grande problemática para o ambiente e o ecossistema, em virtude da falta de controle das obras e proveniente de demolições de construções. Uma das alternativas para redução desses resíduos no ambiente é a utilização do mesmo como agregado reciclado ou alternativo, utilizando parcialmente ou por completo, tendo assim uma nova composição de concretos (BAZUCO 1999).

Tendo em vista os crescentes problemas ambientais impulsionados pelas questões de desenvolvimento sustentável nos últimos anos, a construção civil precisa passar por grandes mudanças. A reciclagem de resíduos de construção e demolição é outra opção para reduzir o consumo de matéria-prima e energia e o impacto dos resíduos no meio ambiente. Nos últimos anos, por razões políticas, econômicas e ecológicas, a reciclagem de resíduos tem sido incentivada em todo o mundo (SGANDERLA 2019).

Este trabalho tem o intuito de verificar a funcionalidade da utilização do RCC (Resíduo da Construção Civil), para a promoção da sustentabilidade. O objetivo é verificar se a resistência a compressão do concreto, com a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado, sofre alguma alteração na resistência.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Agregados

Segundo Serpa (2019), agregado é um tipo de material granular, não pegajoso, com atividade química quase nula, e consiste em uma mistura de partículas de vários tamanhos. O termo "agregado" é geralmente usado na tecnologia de concreto; em outros ramos da construção, dependendo da situação, os nomes específicos são: fíler, pedra britada, bica-corrída, rachão etc.

2.1.1 Classificação

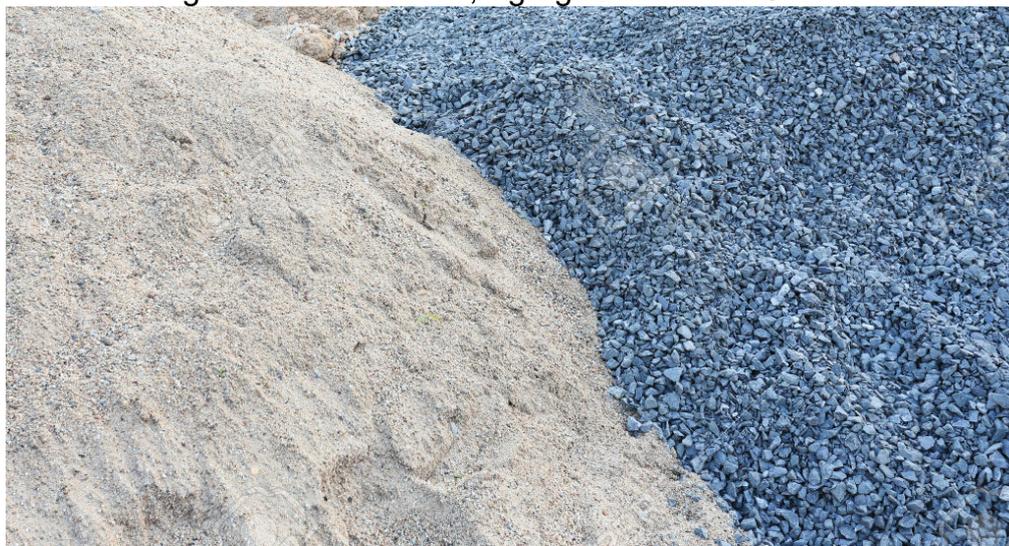
Conforme Bauer (1979), os agregados são classificados de acordo com a fonte, tamanho de partícula e peso específico aparente. No Quadro 01 podemos observar as classificações dos agregados.

Quadro 01: Classificações dos agregados

Fonte	Naturais, aqueles que se encontram na natureza na granulometria ideal
	Industriais, aqueles que são obtidos através de processos industriais, advindo de rocha, escória de alto-forno e argila
Tamanho	Agregado Miúdo, são as areias
	Agregado Graúdo, cascalho e britas
Densidade	Leves, argila expandida e vermiculita, com massa específica inferior a 2000kg/m ³
	Médios, pedregulho, pedra britada e areias, massa específica entre 2000kg/m ³ e 3000kg/m ³
	Pesados, magnetita, barita e hematita, com massa superior a 3000kg/m ³

Fonte: BAUER, adaptado pelo Autor (2021).

Figura 1: Areia e Brita, Agregado Miúdo e Graúdo



Fonte: Britaja (2017)

2.1.2 Agregado Graúdo

O agregado graúdo é um material granular derivado de rocha, o que foi comprovado com características inertes e semelhantes; as partículas passam por uma tela de malha com aberturas nominal 152 mm e mantidos em uma peneira de 4,8 mm, como gravilha, brita e pedra britada (NBR 7211, 2009).

Os autores Mehta e Monteiro relatam que o agregado graúdo é: " O termo refere-se a partículas agregadas maiores do que 4,75 mm (peneira nº 4). Cascalho é agregado grosso produzido pela decomposição natural do intemperismo da rocha. "(MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 11).

Pedra britada é o agregado graúdo mais comumente usado no Brasil, com mais de 50% de aproveitamento O consumo total de agregado graúdo em concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994). No passado, era comum misturar brita 1 e 2 para fazer concreto,

mas, hoje, no Brasil, a maior parte do concreto utilizado nas obras atuais utiliza apenas brita 1 na sua produção. A brita comum é geralmente obtida por esmagamento de rochas, como basalto, gnaiss e granito (BASTOS, 2011).

2.1.3 Agregado Miúdo – Areias

A areia é um agregado miúdo que pode ser derivado de recursos naturais, como leitos de água, rios, sedimentos eólicos, margens de rios e cavernas ou processos artificiais como trituração. Quando extrair materiais de recursos naturais, na maioria dos casos, é por meio de dragagem e processo de escavação e bombeamento (HAGEMANN, 2011).

Pela NBR 7225 (1993), agregado fino é denominado: "brita fina, cascalho grosso, médio e fino, areia grossa, areia média e fina, tamanho nominal entre 4,8 mm e 0,075mm (NBR 7225, 1993, p. 02)

Em termos do tamanho de suas partículas, a areia é dividida em faixas de tamanho de grão. Esta é a classificação da NBR 7225/1993 é a seguinte:

- Areia Fina: de 0,075 a 0,42 mm;
- Areia Média: de 0,42 a 1,2 mm;
- Areia Grossa: de 1,2 a 2,4 mm.

No mesmo segmento, a NBR 7211 (2005) estipula que agregado fino é uma espécie de: "Agregado cujas partículas passam por uma tela de malha 4,75 mm e são retidas em peneira com malha de 150 µm." (NBR 7211, 2005, p. 03).

De acordo com as três distribuições de tamanho de partícula propostas por Bauer (2001) Zona de tamanho de grão de areia:

- Areia fina: de 0,15 a 0,6 mm;
- Areia média: de 0,6 a 2,4 mm;
- Areia grossa: 2,4 a 4,8 mm.

Como insumo para construção, a areia pode ser usada para confeccionar argamassas, concreto de cimento Portland, concreto betuminoso usinado a quente, base de paralelepípedos, filtros para tratamento de água e efluentes, entre outras utilizações. (HAGEMANN, 2011).

2.2 Concreto de Cimento Portland

O concreto é um dos materiais de construção depois da pedra, argila e madeira o mais antigo conhecido pelo homem, sua utilização no nicho da construção é indispensável. Em suma, pode-se dizer que o concreto é uma espécie de pedra artificial, que pode se moldar com a criatividade construtiva humana. Isso pode desenvolver um material que, endurecido, possui resistência semelhante à rocha natural, e em estado fresco, permite ser modelado nas mais diversas formas e tamanhos. Pode-se utilizá-lo em casas de tijolos, nas rodovias, nas pontes, nos prédios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, em engenharia sanitária, até mesmo em plataformas de petróleo móveis. (PEDROSO, 2009).

Para Helene e Andrade (2010), o concreto de cimento Portland é o mais importante material de construção estrutural atual. Na mistura de concreto, o cimento Portland, em contato com a água, forma uma pasta que tem a propriedade de aglutinante, podendo, assim, agregar várias partículas de variados tamanhos, nas primeiras horas, podendo ser moldado em qualquer forma geométrica. Com o tempo, a mistura endurece devido a uma reação química irreversível, ganhando resistência mecânica que pode transformá-la em

materiais que possuem excelente desempenho estrutural. No Brasil, assim como em outros países do mundo, o concreto tem papel de destaque, é o principal e o mais consumido material de construção.

Figura 2: Insumos que em conjunto resulta no concreto



Fonte: Zago (2019).

2.2.1 Constituição do Concreto de Cimento Portland

Os objetivos gerais do concreto podem ser expressos simplesmente como escolhas do material certo, entre os materiais disponíveis, e determinar a combinação mais econômica; desde que o concreto produzido atenda às características mínimas de desempenho estabelecido (MEHTA; MONTEIRO; 1994).

O concreto é um material de construção misturado em uma quantidade razoável de aglomerante, agregados e água. Depois de misturar o concreto obtêm-se plasticidade suficiente para ser usado para operações de processamento, transporte e lançamento devido à reação entre o ligante e a água; a coesão e a resistência são obtidas ao longo do tempo. Em alguns casos, os aditivos adicionados mudarão suas propriedades físicas e químicas (ALMEIDA, 2002).

2.2.2 Cimento

O cimento Portland de renome mundial foi descoberto no Reino Unido em 1824, a produção industrial teve início a partir de 1850 (BASTOS, 2011).

Segundo a Associação de Cimento Portland do Brasil, "Cimento pode ser definido como um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água. Na forma de concreto, torna-se pedra artificial, que pode obter a forma e o volume de acordo com a necessidade de cada peça." (ABCP, 2002).

É conhecido como um produto fino, o cimento é o protagonista entre os elementos do concreto, pois é o responsável pela transformação da mistura de materiais que compõem o concreto chegando ao produto final desejado. Após seu enrijecimento, mesmo que venha a ter contato novamente com água, o cimento Portland não se decompõe (ABCP, 2002).

Nesse mesmo segmento, Bauer (1979), informa que o cimento Portland é composto pelos seguintes produtos: "É obtido pela pulverização de clínquer constituído, essencialmente, de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfatos de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego. O clínquer é um produto de natureza

granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente” (BAUER, 1979, p. 35)

O cimento, em sua maior parte, é composto por clínquer e adições, sendo assim seu principal componente, presente em todos os tipos de cimento. O clínquer é composto por calcário e argila. A propriedade básica dele é que, em contato com a água, ele tem característica ligante e que endurece depois do seu contato com água (BASTOS, 2011).

Os tipos de cimentos existentes no Brasil variam de acordo com sua composição, como cimento comum, materiais compostos, alto-forno, pozolânico, alta resistência inicial, resistência ao sulfato, o de cor branca e o de baixo calor de hidratação. Os mais comumente usados na construção são CII E-32, CII F 32 e CIII-40. O cimento CPV-ARI também é amplamente utilizado em fábricas com estruturas pré-fabricadas (BASTOS, 2011).

Diferentes tipos de cimento têm sua própria nomenclatura e são baseados em sua resistência à compressão sendo de 25, 32 ou 40 MPa. No comércio, o cimento é fornecido em sacos de 50 kg, exceto o cimento ARI, que também pode ser fornecido em sacos de 40 kg (BASTOS, 2011).

2.3 Resíduos da Construção Civil (RCC)

A Resolução CONAMA n° 307, que entrou em vigor no ano de 2002, define: “Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

A reciclagem de materiais de construção desenvolveu-se, basicamente, nos últimos anos, mas existem registros de sua prática nos tempos antigos. De acordo com LEVY (1997), vários autores alemães relataram que há relatos de uso de agregados reciclados para obras nas cidades do Império Romano. Na Alemanha, por volta de 1860, eles utilizaram os blocos de concreto de cimento Portland restantes para a produção de artefatos específicos.

No entanto, Wedler e Hummel (1946) apud Levy (1997) relataram que apenas, em 1928, a pesquisa começou de forma sistemática para avaliar a influência do consumo de cimento, volume de água e tamanho de partícula agregado, de alvenaria moída.

No entanto, apenas a primeira aplicação principal usando fragmentos reciclados é registrada após a Segunda Guerra Mundial, na reconstrução de várias cidades europeias; seus edifícios foram completamente demolidos e os entulhos resultantes ou escombros, usinados ou britados foram usados para produção de agregados reciclados. Pode-se dizer que, a partir de 1946, o desenvolvimento tecnológico de reciclagem de entulho da construção civil teve início.

Pera (1996) também relatou que o desenvolvimento da tecnologia de reciclagem de concreto de demolição começou na década de 1940.

Desde então, a pesquisa e o uso de agregados reciclados vêm progredindo. A importância emergiu gradualmente. Estimada em cerca de 50 milhões de toneladas de concreto demolido todo ano na Comunidade Econômica Europeia (E. R. L., Em 1979, Apud HANSEN, 1992). Nos Estados Unidos, estima-se que haja 60 milhões de toneladas anualmente de concreto demolido. (WILSON et al., 1976 e 1979, apud HANSEN, 1992).

No Japão, o total é estimado em cerca de 10-12 milhões Toneladas (KARAA, 1986, apud HANSEN, 1992)

Eliminação inadequada de resíduos gera problemas decorrentes do processo de construção como o esgotamento de aterros sanitários (estes resíduos atingem mais de 50% do volume dos aterros), obstrução do sistema de drenagem urbana e difusão de insetos e roedores. Também causa poluição a água subterrânea; se infiltram no solo metais altamente tóxicos e há o desperdício de sucata reciclável, agredindo aos municípios e saúde a pública. (BLUMENSCHHEIN, 2007).

Figura 3: Descarte incorreto de resíduos da construção e demolição, próximo ao aeroporto de Cascavel.



Fonte: CATVE – Cascavel TV Educativa (2019)

A Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2002), classifica os resíduos gerados pela construção civil em quatro classes, pode-se observar no Quadro 02.

Quadro 02: Classes dos Resíduos da Construção e Demolição

Classe A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, por exemplo, tijolos, concreto, etc.
Classe B	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis para outras indústrias, por exemplo, plástico, papel, gesso, etc.
Classe C	Resíduos para os quais não há tecnologia desenvolvida viável que permite sua reciclagem.
Classe D	Resíduos perigosos, por exemplo, tintas, solventes ou contaminados, por exemplo, materiais provenientes de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Fonte: O Autor (2021).

Esta Resolução foi sendo atualizada, para definir com mais clareza a classe para a destinação de certos resíduos que causassem maiores danos ao meio ambiente por contaminação e risco à vida humana. A resolução CONAMA 348 (2004), foi modificada por causa do material amianto, introduzindo-o na Classe D dos resíduos perigosos. Essa

resolução fez com que a produção de matérias de amianto fosse abolida, sendo comprovado o grande nível de nocividade à saúde humana que esse insumo apresenta.

A reciclagem de Resíduos da Construção Civil (RCC), cada vez mais, se torna imprescindível e essencial ao meio ambiente, e, de certa maneira, esses resíduos são devolvidos como substituto de novas matérias-primas extraídas do meio ambiente. No entanto, ainda não é tanto difundida esta prática, pois as pesquisas em novas tecnologias não têm alcançado um grande ganho financeiro, assim, não tendo muita mobilização do departamento.

Figura 4: Operário verificando e separando resíduos de construção e demolição



Fonte: ABRECON (2016)

2.3.1 Agregados Reciclados

A NBR 15116 (2004) define agregado reciclado como material granular provenientes do tratamento de resíduos de construção ou demolição na engenharia civil, dos quais apresenta as características técnicas aplicadas na construção e engenharia de infraestrutura.

Este padrão divide os agregados em Agregado de Resíduos de Concreto (ARC) e Agregado de Resíduos Mistos (ARM). O primeiro corresponde ao agregado reciclado composto, pelo menos, 90% de fragmentos à base de cimento Portland de granulação grossa e pedra. O último é a maioria dos compostos com massa inferior a 90% detritos e rochas à base de cimento Portland. Além disso, este padrão estipula: “O agregado deve ser obtido a partir de resíduos da categoria A especificada na Resolução 307 (CONAMA, 2002)”.

Considerando que os agregados não afetam apenas a trabalhabilidade do concreto, mas também suas características físicas, mecânicas e de durabilidade, diversos autores, descobriram que é importante avaliar os agregados reciclados dos resíduos separadamente. De acordo com Quebaud e Buyle-Bodin (1999 apud LEITE, 2001), a quantidade de agregado reciclado depende dos materiais que chegam ao centro de reciclagem e o tipo de processamento usado, como o tipo de britador e equipamento para remoção de impurezas.

O agregado artificial vem de materiais previamente processados. Geralmente são provenientes de rejeitos industriais e urbanos e de resíduos de construção e demolição,

ou seja, são agregados produzidos artificialmente, geralmente, após algum tipo de tratamento e, posteriormente, utilizados na fabricação de concreto (SOUZA, 2006).

O aumento da demanda no campo da engenharia civil levou a um aumento na demanda por concreto. Isso promove o aumento do consumo de matéria-prima, o que leva à diminuição da reserva natural. A fim de minimizar o impacto no meio ambiente, diferentes materiais e resíduos estão sendo usados como agregado reciclado em vez de agregado natural para fazer concreto. Entre eles são enfatizados resíduos de construção e demolição (RCD). Como o RCD é gerado dentro da cidade, pode haver uma grande vantagem competitiva em logística, em relação aos agregados naturais e reciclados.

No entanto, em ambos os casos, é preciso de produção em massa para que sejam as operações lucrativas, o que faz, muitas vezes, que as atividades sejam incompatíveis com a necessidade de ocupação da estrutura urbana. (ANGULO et al., 2003).

Figura 5: Agregado Reciclado



Fonte: HB Ambiental (2020)

3 Metodologia

Através da revisão bibliográfica, legislação, literatura e normatização sobre a utilização de agregados provenientes da reciclagem de resíduos da construção e demolição foi realizado um estudo sobre as possibilidades da utilização dos agregados reciclados na composição de novos concretos.

Os meios de caracterização deste projeto são baseados em testes de laboratórios a fim de conhecimento do agregado graúdo reciclado e também do agregado graúdo natural, os quais serão utilizados na dosagem do concreto. Verificada a caracterização dos agregados pela NBR NM 248 (2003), feito o ensaio de acordo com a norma de caracterização dos agregados, as amostras dos materiais foram separadas de acordo com a NBR 16915 (2021), conferindo a classificação dos agregados conforme a NBR 7211 (2009). A massa específica do agregado miúdo foi averiguada de acordo com a NBR 16916 (2021) e a massa específica do agregado graúdo foi encontrada pela NBR 16917 (2021). A massa unitária em estado compactado do agregado graúdo foi apurada pela NBR 16972 (2021).

Foi realizada uma verificação sobre a composição do agregado reciclado de RCC a partir de uma porção do material, para a obtenção de quais os materiais que compõem o material a ser utilizado nos ensaios. Esta verificação é necessária para identificação da diversidade do material como brita natural, cerâmica, argamassa ou mesmo impurezas.

A dosagem do concreto foi de acordo com Lupepsa (2019). Após a dosagem, foi realizada a mistura dos materiais manualmente. Então, elaborada uma dosagem de referência para comparação com a dosagem com substituição de 25% em massa do agregado natural por agregado reciclado; após foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump Test) conforme a NBR 16889 (2020) e foram moldados os 4 corpos de prova de cada dosagem com traço 1 para cimento, 1,04 para areia, 3,62 para brita e 0,52 para água de acordo com a NBR 5738 (2016). Após os 28 dias de cura submersa, foi realizado o ensaio de resistência à compressão de acordo com a NBR 5739 (2018).

Com os resultados, foram comparados, com a dosagem de referência, a sua resistência e as propriedades do concreto com utilização de agregado reciclado.

4 Resultado e Discussão

4.1 Propriedades dos agregados utilizados

4.1.1 Origem dos agregados

O agregado reciclado de RCC que foi adquirido, em Cascavel/PR, de uma empresa regulamentada desde o ano de 2015, que fornece agregados beneficiados em variadas granulometrias de acordo com as normas vigentes, desde areia, brita 0, brita 1, brita 2 e rachão. Os resíduos são materiais da construção civil advindos de demolição ou reformas, armazenados em espaço adequado para prosseguirem para britagem. Este material, após retiradas as impurezas, madeiras e armações que possam estar unidas ao material, é colocado no britador e após a britagem é despejado em uma peneira graduada que, conforme a granulometria, é direcionado para cada esteira que será encaminhada para a pilha de sua graduação. Desta maneira, os agregados já britados saem das esteiras prontos e devidamente separados para venda. A Figura 06 mostra a usina fixa de reciclagem da empresa que forneceu os agregados.

Figura 06: Usina fixa de reciclagem de RCC da empresa fornecedora do agregado.



Fonte: Future (2018)

4.1.2 Composição do agregado reciclado

Para conhecimento das propriedades dos agregados naturais e reciclados, ao iniciar os primeiros ensaios em laboratório, foi visível a observação de diferenças entre os dois. Conforme mostra a Figura 07, aparentemente as granulometrias são equivalentes.

Figura 07: Agregado Natural a esquerda e Agregado Reciclado a direita, utilizados para o estudo.



Fonte: O Autor (2021).

Para iniciar o ensaio, primeiramente, foi realizado a verificação de materiais que compõem o agregado graúdo reciclado que foi utilizado para substituição do agregado graúdo natural no concreto. A composição do material utilizado esta apresentada de acordo com o Quadro 03.

Quadro 03: Composição do agregado reciclado

COMPONENTE	PERCENTUAL
Agregado natural	17,36%
Cerâmica polida	7,1%
Cerâmica vermelha	17,57%
Argamassa	57,19%
Finos ou impurezas	0,78%

Fonte: O Autor (2021).

A composição foi definida do agregado graúdo reciclado a partir de separação tátil e visual dos materiais presentes, conforme descrito na Metodologia, para identificação dos materiais componentes, a qual pode se observar na Figura 08.

Figura 08: Composição do Agregado Reciclado



Fonte: O Autor (2021).

O agregado reciclado possui parte da sua composição também em agregado natural, sendo assim não só composto por materiais frágeis como cerâmica e argamassa. O agregado reciclado possui composição variada, incluídas algumas impurezas ao percentual de 0,78% como pregos, pequenos pedaços de madeira, poliestireno expandido, em partículas bem pequenas em função da peneira em que os agregados reciclados são separados na usina de reciclagem.

4.1.3 Desigualdade entre o agregado natural e o reciclado

Com os ensaios laboratoriais dos agregados graúdos reciclado e natural, nota-se algumas diferenças encontradas entre as propriedades dos mesmos. Diferenças, as quais, são destacadas em relação às massas específicas e diferença de massa/volume dos materiais.

Tanto com o agregado reciclado e o natural foram realizados os mesmos ensaios para que pudesse ser realizado um comparativo entre eles. Também foi feita análise do agregado miúdo para coleta de dados para a elaboração da dosagem do concreto.

A massa específica do agregado miúdo foi realizada de acordo com a NBR 16916 (2021). Na figura 09, pode-se ver o ensaio de massa específica pelo frasco de Chapman.

Figura 09: Ensaio de massa específica do agregado miúdo.



Fonte: O Autor (2021).

Os ensaios de massa unitária compactada do agregado graúdo natural e do agregado graúdo reciclado, mostram a diferença entre massa e volume dos materiais, onde agregado graúdo natural apresentado um volume de $11,5\text{dm}^3$ e a massa de $21,85\text{kg}$, resultando em $1,9\text{g/cm}^3$ e o agregado graúdo reciclado com o mesmo volume, apresenta uma massa de $15,9\text{kg}$, resultando em $1,38\text{g/cm}^3$, abaixo pode-se ver a execução do ensaio na Figura 10.

Figura 10: Ensaio de massa unitária compactada dos agregados graúdos reciclado e natural.



Fonte: O Autor (2021).

O ensaio de massa específica saturada com superfície seca realizado com a mesma quantidade de massa para os agregados natural e reciclado, mostra que o agregado reciclado apresenta massa inferior ao agregado natural, 1407g , pois o mesmo agregado natural sendo menos poroso, apresentou 1343g em saturação na observação, da Figura 11, o ensaio de massa específica.

Figura 11: Ensaio de massa específica saturada com superfície seca



Fonte: O Autor (2021).

Figura 12: Ensaio em balança hidrostática



Fonte: O autor (2021).

O agregado reciclado, composto com mais da metade de argamassa, tem massa específica inferior à do agregado natural. O agregado natural, de acordo com os ensaios, tem uma massa específica maior que a do agregado reciclado e menor porosidade, visto que sua absorção foi relativamente menor e a dimensão máxima dos agregados natural e reciclado são iguais.

Quadro 04: Características do agregado graúdo, natural e reciclado.

CARACTERÍSTICA	AGREGADO NATURAL	AGREGADO RECICLADO
Dimensão máxima	19mm	19mm
Massa específica seca	2,77g/cm ³	1,89 g/cm ³
Massa específica saturada	2,81g/cm ³	2,07g/cm ³
Massa específica aparente	2,90g/cm ³	2,32 g/cm ³
Massa unitária compactada	1,85 g/cm ³	1,33 g/cm ³
Absorção de água	1,56%	9,83%

Fonte: O Autor (2021).

Apesar da dimensão máxima do agregado, natural e reciclado, serem as mesmas, a curva granulométrica do agregado reciclado e do natural se diferenciam de acordo com o percentual retido em cada peneira, mas se mantendo dentro do mesmo padrão granulométrico, apresentado nos Quadros 05 e 06. Isto é possível pela usinagem do agregado reciclado que segue uma padronização granulométrica.

Quadro 05: Granulometria agregado graúdo natural

GRANULOMETRIA - AGREGADO GRAÚDO NATURAL							
PENEIRAS ABNT (mm)	MASSA RETIDA (g)		%RETIDA INDIVIDUAL			%RETIDA ACUMULADA	% PASSANTE ACUMULADA
	M1	M2	M1	M2	Md		
25 mm	0	0	0	0	0	0	100
19 mm	52,62	47,71	5,26	4,77	5,02	5,02	94,98
12,5 mm	501,75	507,00	50,17	50,70	50,44	55,46	44,54
9,5 mm	319,38	292,07	31,94	29,25	30,6	86,06	13,94
6,3 mm	112,9	135,70	11,29	13,57	12,43	98,49	1,51
Fundo	13,25	17,52	1,32	1,85	1,59	100	0
	999,9	1000	100	100	100		

Fonte: O Autor (2021).

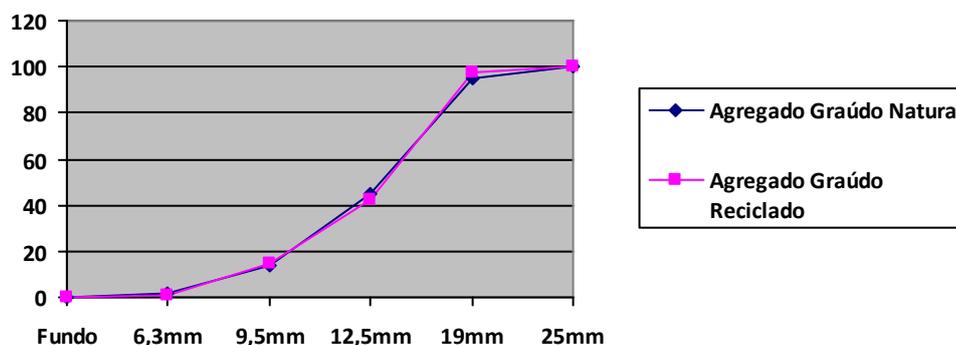
Quadro 06: Granulometria do agregado graúdo reciclado

GRANULOMETRIA – AGREGADO GRAÚDO RECICLADO							
PENEIRAS ABNT (mm)	MASSA RETIDA (g)		%RETIDA INDIVIDUAL			%RETIDA ACUMULADA	% PASSANTE ACUMULADA
	M1	M2	M1	M2	Md		
25 mm	0	0	0	0	0	0	100
19 mm	23,9	22,77	2,39	2,28	2,34	2,34	97,66
12,5 mm	503,8	603,55	50,38	60,36	55,37	57,71	42,29
9,5 mm	315,96	238,48	31,6	23,85	27,72	85,43	14,57
6,3 mm	151,88	129,67	15,2	12,97	14,08	99,51	0,49
Fundo	5,29	5,32	0,53	0,53	0,53	100	0
	1000	999,79	100	100	100		

Fonte: O Autor (2021).

Para verificação da granulometria, foram realizados dois peneiramentos, sendo M1, o resultado do primeiro, e, M2, resultado do segundo. Md é a média entre M1 e M2 e o valor utilizado para realização da curva granulométrica. É possível observar a curva granulométrica do material natural e do reciclado no Gráfico 01.

Gráfico 01: Curva granulométrica dos agregados natural e reciclado.



Fonte: O Autor (2021).

4.2 Dosagem do Concreto em massa

A dosagem do concreto foi estabelecida de acordo com Lupepsa (2019), pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), portanto, a dosagem do concreto se apresenta conforme abaixo:

Cimento : areia : brita : água
1 : 1,04 : 3,62 : 0,52

A composição da dosagem de concreto em quantidade reduzida para 0,02m³ de concreto, para o ensaio de abatimento de tronco de cone e também para moldagem de 4 corpos de prova, com 10cm de diâmetro por 20cm de altura, a serem rompidos aos 28 dias, apresentado na Figura 11.

Figura 11: Materiais utilizados na dosagem de referência



Fonte: O Autor (2021)

Após a separação da dosagem de referência, foi feita a mistura dos insumos e moldados 4 corpos de prova, com para rompimento das amostras aos 28 (vinte e oito) dias.

Após, foi, executada a mistura com percentual de 25% de substituição e moldados 4 corpos de prova. Como exemplo, na Figura 12, pode ser verificada a moldagem dos corpos de prova de concreto normal e concreto com a substituição de 25% do agregado natural por reciclado.

Figura 12: Corpos de prova de concreto 100% de agregado natural. Corpos de prova de concreto com 25% de agregado reciclado



Fonte: O Autor (2021).

4.3 Trabalhabilidade

Conforme Ambrozewicz (2012), a trabalhabilidade do concreto é verificada de acordo com a capacidade que o concreto pode ser moldado ou manuseado. Foi verificada a trabalhabilidade através do ensaio de abatimento de tronco do cone. Ao executar o ensaio de acordo com a NBR 16889 (2020), pode-se perceber que, como absorção de água no agregado reciclado é superior à absorção do agregado natural, assim, alterando sua trabalhabilidade, torna-se mais consistente. Na Figura 11 observa-se o ensaio de acordo com a NBR 16889 (2020).

Figura 11: Ensaio de abatimento de tronco de cone



Fonte: O Autor (2021).

No Quadro 07, notam-se os resultados dos ensaios quanto à diminuição do abatimento do tronco do cone do concreto com substituição em relação ao concreto com o agregado natural.

Quadro 07: Resultados dos ensaios de abatimento de tronco de cone

Amostra	Natural	25%
ABATIMENTO (CM)	17	15
DIMINUIÇÃO DO ABATIMENTO (%)	0	11,76

Fonte: O Autor (2021).

Ao substituir 25% do agregado natural pelo agregado reciclado, o abatimento do tronco do cone teve 15cm, resultando em 11,76% de diminuição no abatimento, tornando-o um pouco mais consistente, mas ainda com uma razoável trabalhabilidade.

Estes resultados, foram obtidos sem a utilização de aditivos. Visando a substituição simples do material natural pelo reciclado, sem prejuízo das propriedades e de sua resistência a compressão.

4.4 Resistência à compressão

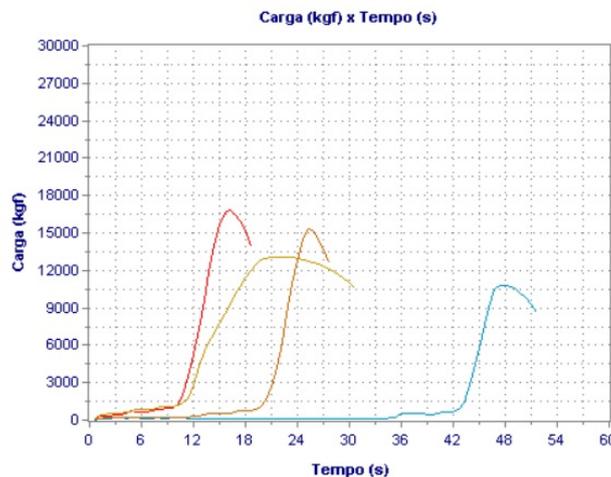
Os ensaios de rompimento foram realizados na idade proposta de 28 (vinte e oito) dias. Coletados os resultados, foi realizado o comparativo entre a dosagem de referência e a dosagem com substituição do agregado natural. No Quadro 08, pode-se perceber os resultados do ensaio de rompimento e, nos Gráficos 02 e 03, a relação entre carga (kgf) e tempo (segundos).

Quadro 08: Resistência à compressão alcançada

IDADE	NATURAL (MPa)	25% (MPa)
28 DIAS	21,00	20,01

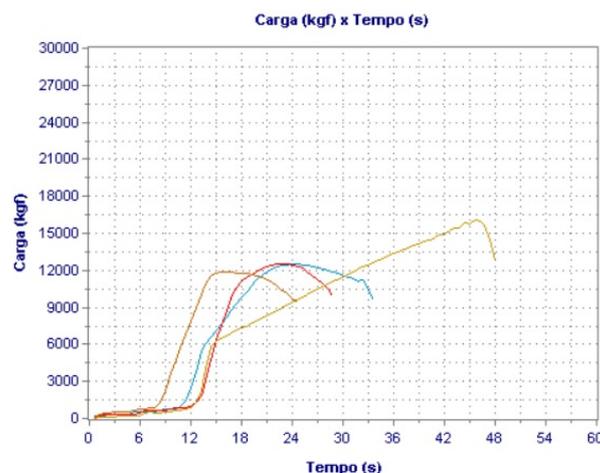
Fonte: O Autor (2021)

Gráfico 02: Ensaio de resistência à compressão do agregado natural



Fonte: O Autor (2021).

Gráfico 03: Ensaio de resistência à compressão do agregado reciclado



Fonte: O Autor (2021).

A resistência à compressão atingida mostra que é possível a utilização do agregado reciclado em substituição parcial do agregado natural, e que a resistência da



dosagem de referência atingiu 21 MPa e a dosagem, com 25% de substituição, atingiu 20,01 MPa, o que é suficiente para ser utilizado em elementos estruturais, pois, de acordo com a NBR 8953 (2015), a resistência do concreto estrutural tem que ser maior ou igual à 20 MPa.

5 Conclusão

De acordo com os estudos feitos e revisão bibliográfica, é possível verificar a necessidade e o grande potencial de utilização dos agregados reciclados provenientes de RCC, em variadas funções e aplicações do concreto com agregado reciclado.

Nos ensaios das dosagens de referência e a com substituição, verifica-se que as diferenças entre o agregado natural e o agregado reciclado, se dão em relação à massa específica e também na absorção de água. No ensaio de abatimento de tronco de cone, existe diferença na absorção de água, pois, enquanto a dosagem de agregado natural é mais moldável, na dosagem com substituição do agregado natural, ela fica mais consistente, diminuindo a trabalhabilidade.

Em relação à resistência a compressão, foi verificado que, com a substituição do agregado natural em 25%, é possível a utilização em concretos estruturais, pois foi alcançada a resistência de 20,01 MPa.

Assim, conclui-se que é possível e viável a utilização do concreto com substituição de agregado natural por agregado reciclado, proveniente de RCC, sem a necessidade de aditivos plastificantes, sem grandes prejuízos à trabalhabilidade e resistência à compressão do concreto.

Ressalta-se, também, que, quanto mais pesquisas forem realizadas para comprovar a efetividade do uso do RCC no concreto, maior será a possibilidade de serem criadas legislações para valer o seu uso.

O grande desafio do mundo, e das próximas gerações, será a gestão de resíduos, pois toda evolução ocorre de forma acelerada, assim como, a geração de resíduos. Destinar de forma mais inteligente, para que não seja um problema, mas uma solução para reduzir a extração de materiais da natureza e promover a minimização do despejo de resíduos no meio ambiente, é um tema que a sociedade tem que parar e pensar principalmente, os órgãos governamentais.

A utilização de RCC pode reduzir o acúmulo de resíduos no meio ambiente e promover o mercado de usinas de reciclagem de RCC.

6 Referências

ALMEIDA, Luiz C. de. **Concreto: Notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV- Concreto armado**. 24p. Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil Departamento de Estruturas, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, ABCP, Boletim Técnico BT-106, 2002.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738 (2016)**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

_____ **NBR 5739 (2018)**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2018.

_____ **NBR 7211 (2019)**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

_____ **NBR 7225 (1993)**: Materiais de pedra agregados naturais. Rio de Janeiro, 1993.

_____ **NBR 15116 (2004)**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR 16889 (2021)**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2021.

_____ **NBR 16915 (2021)**: Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2021.

_____ **NBR 16916 (2021)**: Agregado Miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

_____ **NBR 16917 (2021)**: Agregado Graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

_____ **NBR 16972 (2021)**: Determinação de massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

_____ **NBR NM 48 (2003)**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. **Resíduos da construção e demolição: geração de emprego e renda**. 11 de outubro de 2016. Disponível em <<https://abrecon.org.br/residuos-da-construcao-e-demolicao-geracao-de-emprego-e-renda/>> Acesso em 05 de julho de 2021.

BASTOS, Paulo Sergio dos Santos. **Fundamentos do Concreto Armado**. 88p. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Bauru, São Paulo, 2011

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. LTC, 5. ed. Rio de Janeiro, 2001.

BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. **Manual Técnico: Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiro de Obras**. Brasília: Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE/DF. Brasília, 2007.



BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002**. Brasília, 2002. Disponível em: [HTTP://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html). Acesso em 18 de Abril de 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004**. Brasília, 2004. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>>. Acesso em 05 de Julho de 2021.

BRITAJA. **Areia de Brita: Uma oportunidade que merece atenção**. 06 de agosto de 2017. Natal, 2017. Disponível em: <<http://britaja.com.br/2017/08/06/areia-de-brita-uma-oportunidade-que-merece-atencao/>> Acesso em 04 de Julho de 2021.

CARRIJO, Priscila Meireles. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2005. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-11052006-143829/pt-br.php>. Acesso em 18 de Abril de 2021.

CASCAVEL TV EDUCATIVA - CATVE. **Descarte irregular de entulho próximo ao Aeroporto de Cascavel**. Cascavel, 2019. Disponível em: <<https://catve.com/noticia/6/247906/descarte-irregular-de-entulho-e-registrado-proximo-ao-aeroporto-de-cascavel>>. Acesso em 18 de Abril de 2021.

EGUCHI, Kiyoshi; *et al.* Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 7, p. 1542-1551, July 2007. Holanda, 2007.

FUTURE RECICLAGEM INTELIGENTE. **História da empresa**. Informação verbal. 2021.

HAGEMANN, Sabrina. Elicker. **Materiais de Construção Básicos**. Instituto Federal Sul Rio-Grandense Universidade Aberta Do Brasil. Programa de Fomento ao uso das Tecnologias de Comunicação e Informação nos Cursos de Graduação – TICS. Ministério da Educação. [S.l], [2011]. Pelotas, 2011.

HANSEN, T. C. Recycling of Demolished Concrete and Masonry. **RILEM Report 6**. \ Ed Chapman & Hall, 316p. London, 1992.

HB AMBIENTAL, **Agregados reciclados de construção civil, posso utilizar?** 15 de abril de 2020. Araucária, 2020. Disponível em: <<http://www.hbambiental.com.br/agregados-reciclados-de-construcao-civil-posso-utilizar/>> Acesso em 05 de Julho de 2021.

LEITE, Monica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.



Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/21839>. Acesso em 05 de Julho de 2021.

LEVY, Salomon Mony. **Reciclagem do Entulho de Construção Civil, para Utilização como Agregado de Argamassas e Concretos**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 146p. São Paulo, 1997. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000747896>. Acesso em 05 de Julho de 2021.

LUPEPSA, Vanda Zago. **Análise da resistência à compressão e da trabalhabilidade do concreto com substituição parcial do agregado gráúdo natural por agregado gráúdo reciclado de demolição**. 2019. 77 f. v. 1, Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade (PSU) Mestrado Acadêmico Associado, Sustentabilidade, Universidade Estadual de Maringá. Umuarama, 2019.

MEHTA, Paulo Kumar; MONTEIRO, Paulo. José Melaragno. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. Pini, 573 p. São Paulo, 1994.

OIKONOMOU, N D. Recycled concrete aggregates. **Cement & Concrete Composites**, v. 27, n. 2, p. 315-318, feb. 2005. Disponível em: [https://www.scirp.org/\(S\(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1480112](https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1480112). Acesso em 05 de Julho de 2021.

PERA, J. State of the Art Report - Use of Waste Materials in Construction in Western Europe. In: **Workshop - Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil**. São Paulo, 1996. pp. 1-20.

ZAGO, Cassiano. **Concreto, Argamassa ou Pasta de Cimento?** ZEng. Campinas, 2019. Disponível em: <<https://www.zengcampinas.com.br/post/concreto-argamassa-ou-pasta-de-cimento>>. Acesso em 05 de Julho de 2021.