

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG

ENGENHARIA CIVIL

GUSTAVO HENRIQUE MENDES DE SOUSA

**REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)
COMO AGREGADO EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

VARGINHA

2020

GUSTAVO HENRIQUE MENDES DE SOUSA

**REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)
COMO AGREGADO EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS-MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Professor Ivan Franklin Junior.

VARGINHA

2020

GUSTAVO HENRIQUE MENDES DE SOUSA

**REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)
COMO AGREGADO EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas Gerais – UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Professor Me. Ivan Francklin Junior.

Membro da banca examinadora I

Membro da banca examinadora II

OBS:

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me iluminar em toda essa trajetória, alcançando meus objetivos e me concedendo saúde para ir atrás dos mesmos.

A minha família, em especial meus pais Henrique e Clara e minha irmã Priscila, pelo apoio, suporte e compreensão por tudo que presenciaram nessa jornada.

As minhas avós por cada oração em meu oferecimento, a cada final de semana que não estive presente por estar estudando, mas sendo compreendido e recebendo o apoio de ambas.

Ao meu finado avô Orlando Figueiredo, por ter me inspirado e influenciado a amar o setor da Construção Civil.

Aos meus amigos que me apoiaram e estiveram comigo em todos os momentos, sejam eles de reclamações e dificuldades ou de comemorações e pequenas conquistas.

Ao meu orientador e professor Ivan Francklin Junior, pelas palavras, conselhos, materiais fornecidos e compartilhados, e por ter se esforçado a me auxiliar na realização deste trabalho.

A todos os professores que se dedicaram e agregaram nessa fase de graduação, por todos os momentos que nos proporcionaram aprendizagem, gentilezas e nos mostrarem a grandeza que são como pessoas.

RESUMO

O setor da construção civil no Brasil com seu desenvolvimento ao decorrer do tempo tem gerado em constante escala um volume considerável de resíduos, denominados Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Esses resíduos em sua grande maioria são descartados de forma irregular no Brasil, onde 50% dos municípios do país ainda destinam os resíduos para lixões ou locais irregulares segundo a ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição). Com a geração desses resíduos surgiu a necessidade de propor uma utilização alternativa a esses materiais, desde que suas propriedades atendam alguns parâmetros normativos da construção civil. Essa utilização de materiais reciclados na composição de um novo concreto tem sido investigada no intuito de avaliar a redução de impactos ambientais, além de gerar produtos com qualidade e economicamente viáveis na construção civil. O presente trabalho objetivou analisar a resistência especificada do concreto com o uso de agregado reciclado de construção e demolição (RCD), substituindo agregado natural pelo agregado reciclado, assim analisando seus comportamentos. Os resultados de caracterização dos agregados assim como os obtidos nos concretos produzidos no estudo foram satisfatórios, seguindo parâmetros normativos, a qual foi possível realizar os comparativos nos ensaios de resistência utilizando cimento CP V-ARI.

Palavras-Chave: Construção civil. Concreto. Resíduos.

ABSTRACT

The civil construction sector in Brazil with its development over time generated on a constant scale an increased volume of waste, called Construction and Demolition Waste (RCD). Most of this waste is disposed of irregularly in Brazil, where 50% of the country's municipalities still send waste to landfills or irregular places according to ABRECON (Brazilian Association for the Recycling of Construction and Demolition Waste). With the generation of these residues, the need arose to propose an alternative use to these materials, as long as their properties meet some normative parameters of civil construction. This use of recycled materials in the composition of new concrete has been investigated in order to assess the reduction of environmental impacts, in addition to generating products with quality and economically viable in civil construction. The present work aimed to analyze a concrete resistance using recycled construction and demolition aggregate (RCD), replacing natural aggregate with recycled aggregate, thus analyzing its habits. The results of characterization of the aggregates as well as those obtained in the tests obtained in the study were satisfactory, following normative parameters, which made it possible to make comparisons in the resistance tests using the CP V.

Keywords: *Civil construction. Concrete. Waste.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Tipos de resíduos classificados de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).....	10
Figura 02 – Produtos reciclados e suas devidas aplicações	15
Figura 03 – Volume de resíduos de construção e demolição	23
Figura 04 – Britador da empresa Ecovia.....	24
Figura 05 – (a) conjunto de peneiras miúdo (b) conjunto de peneiras graúdo.....	25
Figura 06 – Ensaio de massa específica do cimento.....	27
Figura 07 – (a) massa específica agregado miúdo natural (b) massa específica agregado miúdo reciclado	29
Figura 08 – Agregados graúdos naturais e reciclados nos cestos	30
Figura 09 – Agregados graúdos naturais e reciclados submersos	30
Figura 10 – Amostra de cimento CPV utilizado no estudo.....	32
Figura 11 – Amostra areia natural utilizada no estudo	33
Figura 12 – Amostra areia reciclada utilizada no estudo	33
Figura 13 – Amostra brita convencional utilizada no estudo	34
Figura 14 – Amostra brita reciclada utilizada no estudo.....	34
Figura 15 – Realização do Slump Test	37
Figura 16 – Suportes para regularizar as superfícies	38
Figura 17 – Prensa utilizada para ensaio de resistência.....	38
Figura 18 – Prensa utilizada para ensaio de resistência a tração.....	40
Figura 19 – Curvas granulométricas dos agregados utilizados no estudo	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Normas nacionais relacionadas ao RCD.....	11
Quadro 02 – Principais subclasses de materiais	13
Quadro 03 – Classes de agressividade ambiental	17
Quadro 04 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto. .	18
Quadro 05 – Comparações entre concreto reciclado e concreto com agregado natural, utilizando a mesma relação água/cimento e 100% de substituição de agregado.....	19
Quadro 06 – Efeitos do ARC sobre as propriedades mecânicas do concreto	19
Quadro 07 – Efeitos do ARC no concreto fresco	20
Quadro 08 – Efeitos do ARC no concreto endurecido.....	20
Quadro 09 – Proporção da dosagem para concretagem	36
Quadro 10 – Quantidade de material utilizado na produção dos concretos	36
Quadro 11 – Ensaio granulométrico primeira amostra areia natural	42
Quadro 12 – Ensaio granulométrico segunda amostra areia natural	43
Quadro 13 – Ensaio granulométrico primeira amostra areia reciclada.....	43
Quadro 14 – Ensaio granulométrico segunda amostra areia reciclada	44
Quadro 15 – Ensaio granulométrico primeira amostra brita natural	44
Quadro 16 – Ensaio granulométrico segunda amostra brita natural.....	45
Quadro 17 – Ensaio granulométrico primeira amostra brita reciclada	45
Quadro 18 – Ensaio granulométrico segunda amostra brita reciclada.....	46
Quadro 19 – Análise granulométrica dos agregados	46
Quadro 20 – Teor de umidade agregado miúdo natural.....	47
Quadro 21 – Teor de umidade agregado miúdo reciclado.	48
Quadro 22 – Massas específicas dos materiais.....	48
Quadro 23 – Resultados do ensaio de consistência (Slump test).	49
Quadro 24 – Resistência à compressão das amostras de concreto.	49
Quadro 25 – Resistência a tração.....	50
Quadro 26 – Absorção de água dos concretos.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	7
2.1 Objetivo Geral	7
2.2 Objetivos Específicos	7
3 JUSTIFICATIVA	8
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
4.1 Classes de RCD	9
4.2 Materiais alternativos como agregado no concreto	11
4.3 Propriedades dos concretos estruturais	15
4.3.1 Profissional responsável pelo projeto estrutural	16
4.4 RCD como componente em concreto de cimento Portland	18
4.5 Análise da resistência em concretos contendo agregados de RCD	21
5 METODOLOGIA	23
5.1 Descrição do local para obtenção do RCD	23
5.2 Caracterização física dos materiais	24
5.2.1 Composição granulométrica	25
5.2.2 Teor de umidade.....	26
5.2.3 Massa específica	26
5.2.3.1 Massa específica do cimento	26
5.2.3.2 Massa específica do agregado miúdo	28
5.2.3.3 Massa específica do agregado graúdo	29
5.3 Materiais utilizados na produção dos concretos	31
5.3.1 Cimento Portland	31
5.3.2 Agregados miúdos.....	32
5.3.3 Agregados graúdos.....	34
5.3.4 Água	35
5.4 Definição dos traços	35
5.5 Avaliação das propriedades do concreto no estado fresco	36
5.6 Avaliação das propriedades do concreto no estado endurecido	37
5.6.1 Resistência à compressão	37
5.6.2 Resistência à tração	39
5.6.3 Absorção de água	41

6 RESULTADOS	42
6.1 Análise granulométrica	42
6.2 Teor de umidade	47
6.3 Massa específica	48
6.4 Avaliação do concreto no estado fresco	48
6.5 Avaliação das propriedades do concreto no estado endurecido	49
6.5.1 Resistência a compressão	49
6.5.2 Resistência a tração por compressão diametral	49
6.5.3 Absorção de água	50
7 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é responsável por elevado consumo de recursos naturais. Para a produção de agregados sejam eles, miúdos ou graúdos, a exploração desses recursos pode gerar diversos impactos negativos para o meio ambiente.

Na busca por minimizar esses impactos, tanto da exploração quanto do descarte, buscam-se alternativas sustentáveis. A reutilização e aplicação dos resíduos da construção e demolição em novos materiais é uma opção para pesquisas e estudos a fim de substituir os agregados convencionais e dar utilidade para o resíduo que seria descartado.

Os resíduos principalmente da construção e demolição fornecem uma variedade de materiais usados anteriormente em diferentes aplicações da construção civil. São materiais cerâmicos, polímeros e metálicos, misturados em volume em diferentes concentrações. Dessa forma, a incorporação de RCD é uma boa opção para reduzir o uso e o consumo desordenado de recursos naturais e o impacto resultante dos entulhos para a sociedade.

Deste modo, estudos voltados para essa temática tem se tornado relevantes, descobrindo o aproveitamento e reciclagem de RCD como incorporadores no concreto, principalmente como agregados, a fim de proporcionar um novo destino a esses materiais, tendo reduções econômicas e analisando suas propriedades mecânicas, desempenho e aplicações de mercado.

Segundo Nagalli (2014), a viabilidade técnica de aproveitamento de um material em processo de reciclagem está condicionada às suas condições de preservação ou às suas características. Desse modo, as matérias-primas secundárias (resíduos) devem ser identificadas, classificadas, reduzidas (em volume, em forma física ou química) e separadas.

Este trabalho tem por finalidade caracterizar os materiais provenientes de uma empresa localizada no município de Varginha-MG, na qual recicla resíduos da construção e demolição, e posteriormente analisar algumas das possibilidades de aplicação desses materiais na elaboração de concretos, além de realizar comparações com concretos convencionais, levantando em consideração a viabilidade econômica e aprovação do material de RCD segundo as normas técnicas vigentes.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo foram divididos em duas etapas, sendo elas objetivo geral e objetivos específicos.

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivos avaliar a utilização de resíduos gerados no município de Varginha como forma alternativa para substituição de agregados naturais na produção de concretos com cimento Portland, e analisar seu comportamento em relação as propriedades físicas.

2.2 Objetivos Específicos

Para a realização dos itens propostos no objetivo geral foram definidos alguns parâmetros a serem seguidos como objetivos específicos:

- Descrição da forma de coleta da empresa Ecovia, no município de Varginha-MG, assim como transporte e produção;
- Realizar a amostragem dos RCDs de acordo com a ABNT NBR NM 26;
- Caracterizar fisicamente os RCDs seguindo os procedimentos estabelecidos pelas normas de construção civil;
- Produzir os concretos utilizando os RCDs como agregado miúdo e graúdo;
- Analisar as propriedades dos concretos no estado fresco e no estado endurecido.
- Verificar a viabilidade de utilização dos RCDs como agregado por meio de análises comparativas entre o Concreto Convencional e o Concreto Alternativo de RCD, para concretos sem funções estruturais.

3. JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento das cidades brasileiras aumenta a demanda por obras mais sofisticadas, estradas e novas indústrias, essa demanda leva a um maior consumo de recursos naturais e a destinação final desses resíduos normalmente é feita de forma incorreta, causando problemas socioambientais (GUERRA, 2016).

Com isso o crescimento populacional, as áreas urbanas e a infraestrutura complementar exigem quantidades crescentes desses materiais de construção, para atender as necessidades do setor, na qual utiliza muitos recursos naturais, gerando resíduos significativos, levando a alguns impactos ambientais. Atualmente, existe um grande problema econômico e ambiental relacionado aos resíduos que a construção civil produz no mercado, e uma possível alternativa para reduzir esses problemas é reutilizá-los.

A reutilização desses resíduos é essencial para minimizar impactos ambientais, seja pela redução do volume de resíduos e, conseqüentemente, pelas áreas de armazenamento, quanto pela geração de novos materiais e dedução de custos. Dessa forma a reutilização de RCD torna-se uma solução sustentável e economicamente viável de forma a possibilitar a minimização de impactos ambientais e efetivar a reutilização dos recursos naturais, reduzindo seu consumo, e conseqüentemente possibilitando benefícios financeiros, além da geração de novos empregos e soluções regionais com o descarte apropriado para esses resíduos a serem gerados.

4. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

4.1 Classes de RCD

O setor da construção civil produz resíduos provenientes das perdas ocorridas durante o processo da construção ou de demolição, aumentando ainda mais o impacto ambiental causado pelo setor (LOPES et al, 2018). Dessa forma, houve a necessidade de regulamentação da gestão dos resíduos e a criação de leis para o setor, resultando então a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), (FERNANDEZ, 2011).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução N° 307 de 05/07/02- DOU de 17/07/02, estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, tendo para esse fim definido as especificações de resíduos da construção civil.

De acordo com a resolução CONAMA n° 307 (2002), os resíduos da construção civil são classificados da seguinte forma:

- Classe A: são resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, sendo: de construção, demolição, reformas de pavimentação, inclusive solos provenientes de terraplanagem, reformas de edificações sendo componentes cerâmicos, argamassas e concreto, de processo de fabricação e demolição de pré-moldados produzidos nos canteiros de obras;
- Classe B: são resíduos recicláveis para outras destinações, como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros e madeira;
- Classe C: resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem;
- Classe D: são resíduos que possam causar danos ao meio ambiente e à saúde pública, como por exemplo: tintas, solventes e óleos.

A Figura 1 ilustra a classificação dos resíduos de acordo com o CONAMA, dando exemplos de seus respectivos materiais.

Figura 1: Tipos de resíduos classificados de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).



Fonte: Resíduo All, 2017.

O processo de beneficiamento do entulho pode ser efetuado em canteiro, o qual seria ideal por evitar o transporte do material, e também, por usinas recicladoras. Os materiais reutilizados em canteiro são processados por máquinas que trituram os entulhos de construção separando os agregados finamente peneirados. Hoje no Brasil, este maquinário é desenvolvido por pequenas e grandes empresas e distribuído para várias construtoras. As recicladoras por si, não fabricam o entulho, mas recebem entulhos provenientes da região e ficam responsáveis por transformar o material com granulometria semelhante à areia e pedrisco (LOPES et al, 2018).

Foram publicadas em 2004 as primeiras normas nacionais relacionadas aos RCD. As especificações da ABNT podem ser vistas no Quadro 1.

Quadro 1 - Normas nacionais relacionadas ao RCD.

NORMA	TÍTULO
NBR 10004/04	Resíduos Sólidos – Classificação
NBR 15112	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação
NBR 15113	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação
NBR 15114	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Área de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação
NBR 15115	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos
NBR 15116	Agregados reciclados de resíduos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural

Fonte: Morand, 2016.

4.2 Materiais alternativos como agregado no concreto

O concreto é o resultado da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), água e agregados (pedra e areia), sendo que o cimento ao ser hidratado pela água, forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados (pedra e areia), formando um bloco monolítico (PORTAL DO CONCRETO, 2014).

O setor da Construção Civil é um grande gerador de resíduos, assim é de extrema importância incentivar construções futuras passarem a utilizarem métodos e materiais que estão aliados com a preservação do meio ambiente. Métodos e técnicas de racionalização,

classificação e reaproveitamento de resíduos através do processo de reciclagem, além da preocupação de um descarte adequado para o resíduo gerado no canteiro de obra.

De acordo com Dal Molin (2005), a utilização de adições minerais é bastante antiga e sua difusão se deu através da execução de várias obras com cinzas vulcânicas na Grécia e no império romano, onde o monte Vesúvio era a principal fonte das cinzas vulcânicas utilizadas.

Pensando na escassez dos agregados naturais, estão sendo desenvolvidos os chamados agregados artificiais, fabricados preferencialmente de resíduos industriais. Os materiais geralmente utilizados como agregados para concreto são provenientes de fontes naturais não renováveis, exemplo o cimento Portland, que detém uma utilização mundial em volumes extremamente elevados.

Dessa maneira, os resíduos e subprodutos industriais estão se tornando cada vez mais comuns e muitos são reaproveitados de forma a gerar uma apreciável economia energética e de custo ao invés de serem enviados aos aterros causando danos ao meio ambiente (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Modro (2009), este consumo desenfreado, caso não seja contido, poderá provocar uma estagnação das fontes destes materiais, sendo importante então, promover uma substituição destes por materiais provenientes de fontes alternativas.

Os materiais são divididos em subclasses, as quais estão descritas no Quadro 02.

Quadro 2: Principais subclasses de materiais.

CLASSE	SUBCLASSE
Metais	<ul style="list-style-type: none"> A. Ferro e aço B. Ligas não ferrosas e superligas (aplicações aeroespaciais) C. Compostos intermetálicos (materiais estruturais de alta temperatura)
Cerâmicas	<ul style="list-style-type: none"> A. Cerâmicas estruturais (materiais estruturais de alta temperatura) B. Refratários (materiais resistentes à corrosão, isolantes térmicos) C. Cerâmica branca (porcelanas) D. Vidros E. Cerâmicas para aplicações elétricas (capacitadores, isolantes, transdutores, etc.) F. Cerâmicas ligadas quimicamente (cimento e concreto)
Polímeros	<ul style="list-style-type: none"> A. Plásticos B. Cristais líquidos C. Adesivos
Compósitos	<ul style="list-style-type: none"> A. Compósitos particulados (pequenas partículas dispersas em um material diferente) B. Compósitos laminados (tacos de golfe, raquetes de tênis) C. Compósitos reforçados com fibras (fibra de vidro e fibra de carbono)

Fonte: Heck, N. C., & dos Santos.

Dentre esses materiais encontrados no setor da construção, muitos possuem potencial de reciclagem como o vidro, plásticos, metais, concreto, tijolo e madeira apresentados no Quadro 2. Alguns desses materiais sofrem transformações quando aquecidos a determinada temperatura, como o vidro, plástico e metal. Já materiais como concreto ou tijolos podem ser triturados e usados como agregado em uma nova alvenaria. A madeira também pode ser reutilizada, um exemplo são painéis prensados fabricados a partir do resíduo serrado. De acordo com Oliveira (2015), é importante que se tenha uma avaliação de sustentabilidade analisando alguns critérios, pois a utilização desse tipo de material para a fabricação de um novo produto não deve comprometer a sua qualidade,

durabilidade e desempenho. Pois, se o material a ser reciclado não contribui com as suas propriedades para o desempenho do produto final, não é possível afirmar que o produto é sustentável, já que não possuirá um bom desempenho ou função.

O CBCS (2009), Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis, levanta algumas questões a serem pontuadas a respeito dos problemas da reciclagem e do uso de materiais reciclado, como:

- a) O processo de reciclagem pode ter elevado impacto ambiental;
- b) A vida útil do produto reciclado pode ser reduzida em comparação a do original;
- c) O produto com conteúdo reciclado pode apresentar risco ambiental por contemplar resíduo perigoso.

Busca-se utilizar resíduos como matéria-prima em substituição aos materiais tradicionais afim que esse insumo alternativo apresente padrões de desempenho compatíveis com a sua utilização. A reciclagem de materiais proporciona menor energia utilizada nos seus processos de fabricação comparadas à produção original.

A utilização de agregados alternativos vem ganhando notoriedade e chamando atenção do mercado nos tempos atuais, a fim de preservar o meio ambiente e diminuição de resíduos. O Figura 2 apresenta um resumo das diferentes características e aplicações dos agregados reciclados, entre eles estão a areia reciclada, pedrisco reciclado, brita reciclada, bica corrida e rachão.

Figura 2: Produtos reciclados e suas devidas aplicações.

Imagem	Produto	Características	Uso recomendado
	Areia reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
	Pedrisco reciclado	Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
	Brita reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.
	Bica corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente).	Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos.
	Rachão	Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.

Fonte: ABRECON, 2016

4.3 Propriedades dos concretos estruturais

De acordo com a ABNT 12655(2015), concreto de cimento Portland é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água). Para os efeitos desta Norma, o termo “concreto” se refere sempre a “concreto de cimento Portland”.

Concreto estrutural refere-se a toda gama das aplicações do concreto como material estrutural. Podem ser caracterizados três elementos distintos de concreto estrutural:

- Elementos de concreto simples estrutural: elementos estruturais elaborados com concreto que não possuem qualquer tipo de armadura, ou que a possuam em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado, NBR 6118.
- Elementos de concreto armado: são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.
- Elementos de concreto protendido: são aqueles nos quais parte das armaduras é alongada por equipamentos especiais de protensão com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado limite último, ELU.

4.3.1 Profissional responsável pelo projeto estrutural

Com base a ABNT 12655(2015), cabem a este profissional as seguintes responsabilidades, a serem explicitadas nos contratos e em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente, com remissão explícita para determinado desenho ou folha da memória:

a) registro da resistência característica à compressão do concreto, f_{ck} , obrigatório em todos os desenhos e memórias que descrevem o projeto tecnicamente;

b) especificação de f_{ckj} para as etapas construtivas, como retirada de cimbramento, aplicação de protensão ou manuseio de pré-moldados;

c) especificação dos requisitos correspondentes à durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados, durante sua vida útil, inclusive da classe de agressividade adotada em projeto (Quadro 3 e 4);

d) especificação dos requisitos correspondentes às propriedades especiais do concreto, durante a fase construtiva e vida útil da estrutura.

O Quadro 3 apresenta análises e riscos que devem ser tomados como critérios referentes ao ambiente a qual será realizado o projeto.

Quadro 3: Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Marinha ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	
<p>1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).</p> <p>2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.</p> <p>3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.</p>			

Fonte: ABNT. NBR 6118.

O Quadro 4 apresentado abaixo correlaciona a classe de agressividade utilizada como parâmetro de projeto e a qualidade do concreto para uma boa execução.

Quadro 4: Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água / cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m ³	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

Notas:

1. O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir os requisitos estabelecidos na NBR 12655.
2. CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
3. CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT. NBR 6118.

4.4 RCD como componente em concreto de cimento Portland

Segundo Leite (2001), quando se estuda a viabilidade técnica da utilização de novos materiais, como é o caso do agregado reciclado, devem-se avaliar todas essas propriedades para analisar o comportamento desses materiais na estrutura do concreto.

As características mais importantes a serem avaliadas para a utilização de agregados em concretos são a composição granulométrica, a absorção de água, a forma e a textura, a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e os tipos de substâncias prejudiciais presentes nos agregados (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A resistência é a propriedade do concreto de maior relevância a ser analisada para técnicos da área de construções. A porosidade do concreto é um fator que prejudica a resistência através de uma relação inversa, ou seja, quanto mais poros, menos resistência (PRETTO et al. 2017).

Os Quadros 5, 6, 7 e 8 apresentados a seguir mostram estudos comparativos entre as propriedades dos concretos produzidos com agregado reciclado e dos concretos convencionais, produzidos com agregado natural (PRETTO, 2017).

Quadro 5: Comparações entre concreto reciclado e concreto com agregado natural, utilizando a mesma relação água/cimento e 100% de substituição de agregado.

Resistência à compressão	Redução em até 25%
Resistência à tração direta e na flexão	Redução em até 10%
Módulo de elasticidade	Redução em até 45%
Retração por secagem	Aumento em até 70%
Fluência	Aumento em até 50%
Absorção de água	Aumento em até 50%
Profundidade de carbonatação	Similar
Resistência ao congelamento e degelo	Reduzida
Penetração de cloretos	A mesma ou ligeiramente aumentada
Abatimento	O mesmo ou ligeiramente reduzido

Fonte: Pretto, 2017.

O Quadro 6 apresenta o comportamento dos agregados reciclados diante as suas propriedades mecânicas inseridas como componente em concreto.

Quadro 6: Efeitos do ARC sobre as propriedades mecânicas do concreto.

Propriedades	Possibilidades de mudanças esperadas de misturas similares usando agregados virgens	
	Utilização de agregado graúdo reciclado	Utilização de agregado graúdo e miúdo reciclados
Resistência à compressão	5% a 24% menor	15% a 40% menor
Varição da resistência	maior	maior
Módulo de elasticidade	10% a 33% menor	25% a 40% menor
Fluência	30% a 60% maior	30% a 60% maior
Resistência à tração	10% menor	10% a 20% menor
Permeabilidade	200% a 500% maior	200% a 500% maior
Coefficiente de expansão	Menor que o esperado para o uso de agregados graúdos	Menor que o esperado para o uso de agregados graúdos
Peso específico	5% a 10% menor	5% a 10% menor

Fonte: Pretto, 2017.

Diante comportamento dos agregados reciclados como componentes no concreto, o Quadro 7 apresenta seus efeitos relacionados ao estado fresco.

Quadro 7: Efeito do ARC no concreto fresco.

Propriedades	Possibilidades de mudanças esperadas de misturas similares usando agregados virgens	
	Utilização de agregado graúdo reciclado	Utilização de agregado graúdo e miúdo reciclados
Demanda de água	Maior	Muito maior
Retração por secagem	20% a 50% maior	70 a 100% maior
Trabalhabilidade	Menor	Menor

Fonte: Pretto, 2017.

O Quadro 8 apresenta o comportamento dos agregados reciclados no estado do concreto endurecido.

Quadro 8: Efeito do ARC no concreto endurecido.

Propriedades	Possibilidades de mudanças esperadas de misturas similares usando agregados virgens	
	Utilização de agregado graúdo reciclado	Utilização de agregado graúdo e miúdo reciclados
Taxa de corrosão	Maior	Maior
Resistência ao gelo-degelo	Varia de acordo com a porosidade	Varia de acordo com a porosidade
Carbonatação	65% maior	65% maior
Resistência aos sulfatos	Depende da mistura	Depende da mistura

Fonte: Pretto, 2017.

De acordo com Pretto (2017), nos dois estudos apresentados pelos Quadros 5 e 6, a resistência à tração foi a propriedade mecânica que teve a menor variação, enquanto que o módulo de elasticidade de concretos com agregados reciclados foi a propriedade que teve a maior redução em relação ao concreto convencional. Para Tseng (2010), essas variações

são favoráveis à utilização de concretos com ARC em pavimentos, pois o compósito apresenta uma boa resistência à tração e um módulo de elasticidade reduzido.

Segundo Cordeiro (2013), em seu estudo sobre agregados graúdos reciclados na composição de concretos, a variação do módulo de elasticidade está condicionada à resistência do concreto, ou seja, quanto maior a resistência do concreto, maior a diferença entre os módulos de elasticidade dos concretos naturais e os que contêm agregados reciclados. Sobre a resistência à tração, Leite (2001) conclui, através de ensaio de tração por compressão diametral e tração na flexão, que a redução da resistência à tração se relaciona com a dimensão dos agregados reciclados, ou seja, agregados com dimensões maiores tendem a ser mais frágeis devido a suas constituições.

4.5 Análise da resistência em concretos contendo agregados de RCD

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008), as principais características a serem analisadas para a reutilização de agregados reciclados em concretos são a composição granulométrica, a absorção de água, a forma e a textura, a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e os tipos de substâncias prejudiciais presentes nos agregados.

De acordo com Leite (2001), quando se estuda a viabilidade técnica da utilização de novos materiais, como é o caso do agregado reciclado, deve ser avaliados todas essas propriedades para analisar o comportamento desses materiais na estrutura do concreto.

A utilização dos agregados de RCD irá influenciar nas condições de dosagem e na própria trabalhabilidade do concreto. Por isso, deve-se ter em mente como os agregados de RCD influenciam as características do concreto no estado fresco. É importante ressaltar a dificuldade que se tem para determinar a relação água/cimento efetiva do concreto utilizando esses materiais reciclados e os efeitos esperados na sua consistência.

Em relação à resistência à compressão, o maior limitante é o próprio agregado reciclado, por ele ser o principal responsável pelo aumento da porosidade no sistema (TENÓRIO, 2007). Poon e Chan (2007) concluíram que a resistência à compressão dos concretos produzidos com agregados reciclados diminui conforme se reduz a massa específica. Ainda de acordo com os autores, esta redução da massa específica é obtida com o aumento da absorção dos concretos reciclados. Segundo Lima (1999), concretos com reciclado apresentam resistência igual ou menor às de concretos convencionais. Em apenas alguns casos específicos, a resistência pode ser maior. A perda de resistência de concretos

com agregado reciclado de concreto pode chegar a 30 %, enquanto que para concretos com reciclado de alvenaria pode chegar a 50 %, dependendo da composição e do consumo de cimento. De acordo com Rao et al. (2007), além da relação a/c, a resistência à compressão dos concretos reciclados é influenciada pela composição do resíduo utilizado para produzir o agregado de RCD, pela taxa de substituição, e ainda pela condição de utilização do agregado reciclado (saturado ou não saturado).

5. METODOLOGIA

Neste tópico serão descritos os métodos utilizados na pesquisa, realizada no município de Varginha-MG, assim como os materiais apresentados que visam atender os objetivos propostos anteriormente, analisando suas propriedades e características. Portanto, a metodologia utilizada para realização da pesquisa, obedeceu às seguintes etapas, desde a realização da visita a empresa e obtenção da matéria-prima, passando pelo processo de caracterização dos materiais a serem utilizados para a produção dos corpos de prova de concreto e seus respectivos ensaios de caracterização, além de fazer uma análise comparativa entre os concretos obtidos nesta pesquisa.

5.1 Descrição do local para obtenção do RCD

O RCD utilizado foi obtido na empresa Ecovia Reciclagem De Resíduos Da Construção Civil Ltda. Me, localizada na Estrada Varginha – 090, próximo ao bairro Jardim Corcetti I no município de Varginha-MG. Os proprietários da empresa são José Rodrigo Souza, a qual foi concedida entrevista e acompanhamento na visita ao local, e seus tios José Maurílio dos Reis e Antônio Carlos dos Reis.

A Ecovia é uma empresa que iniciou sua atuação no ano de 2015, na qual recebe em seu pátio diversos tipos de materiais e resíduos, como plásticos, metais, madeira, papelão, gesso, vidro, isopor e materiais de construção que são lançados dentro das caçambas. Dessa forma, antes de identificar o entulho que irá para a máquina trituradora, é feita separação manual dos volumes das caçambas como apresentada na Figura 3.

Figura 3: Volume de resíduos da construção e demolição.



Fonte: O Autor, 2020.

Resíduos como concretos, argamassa, blocos de concreto, apresentados na Figura 3, são triturados e assim dão origem a produtos como areia reciclada, pedrisco reciclado, brita reciclada, rachão reciclado e misto tipo bica corrida, que são vendidos a preços 30% abaixo do mercado. Já os resíduos de materiais cerâmicos como telhas, manilhas e tijolos depois de triturados e moídos, são tratados e destinados a aterros e obras similares.

O processo de produção é mecanizado, como apresentado abaixo na Figura 4, embora o padrão tecnológico seja rústico.

Figura 4: Britador da empresa Ecovia – Varginha.



Fonte: O Autor, 2020.

5.2 Caracterização física dos materiais

O processo para obter dados relacionados às propriedades físicas dos agregados utilizados, tanto os convencionais quanto os de RCD serão descritos para estabelecer parâmetros comparativos de eficiência e durabilidade entre eles.

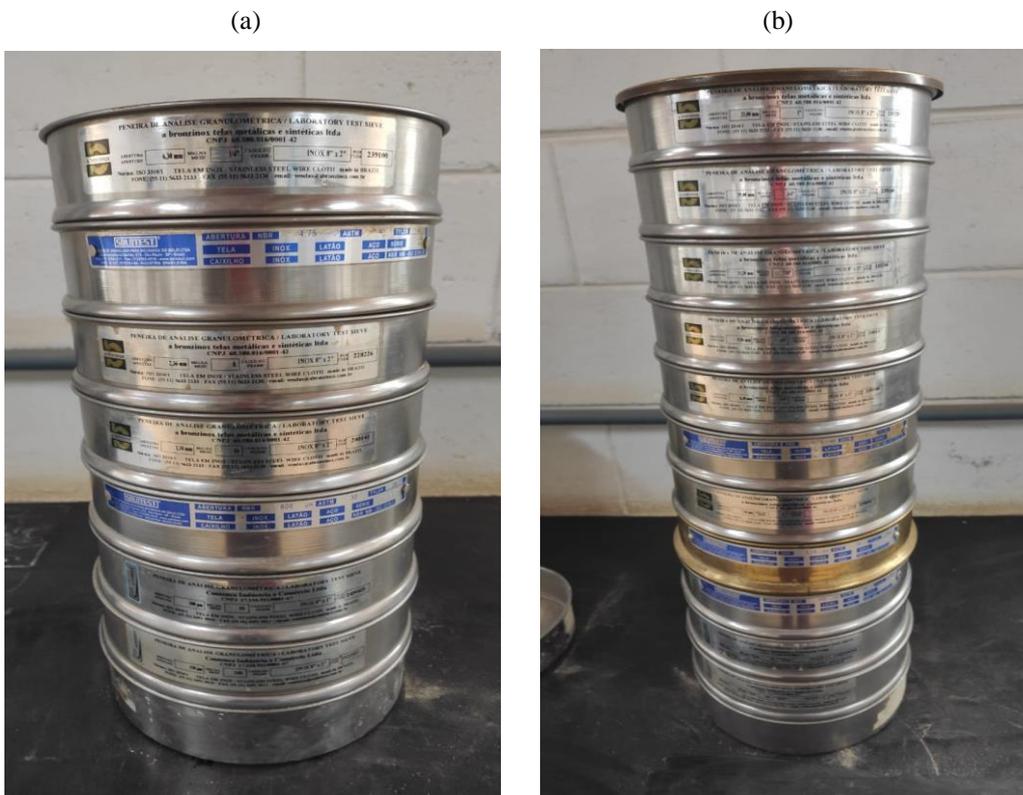
Foram realizados ensaios em laboratório para os materiais utilizados para elaboração dos corpos de prova, sendo eles, cimento, agregados miúdos e graúdos. Os ensaios realizados foram para determinação de massa específica, granulometria, teor de umidade e absorção. Ensaios esses efetuados no Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, situado no município de Varginha – MG.

5.2.1 Composição granulométrica

Segundo Silva (2005), a determinação da granulometria dos agregados é realizada por peneiramento e pesando a fração retida em cada peneira. Além disso, permite a identificação de escassez de partículas de determinado tamanho de material, corrigindo então se for considerado relevante.

Os ensaios de granulometria são recomendados pela ABNT NBR NM 248:2003, Agregados - Determinação da composição granulométrica. A realização destes ensaios tem grande importância pois as propriedades físicas e mecânicas do concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido, são influenciadas pela geometria dos grãos, módulo de finura, pela dimensão máxima característica e pela superfície específica dos agregados. Para a realização dos ensaios granulométricos para os agregados miúdos e graúdos foram seguidos parâmetros definidos pela ABNT NM 248:2003, onde as peneiras, previamente limpas, foram preparadas obedecendo à série normal, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. A Figura 5 apresenta o conjunto de peneiras utilizado para os ensaios granulométricos dos agregados miúdos e graúdos respectivamente.

Figura 5: (a) conjunto de peneiras miúdo (b) conjunto de peneiras graúdo.



Fonte: O autor, 2020.

O módulo de finura também foi definido a partir do ensaio granulométrico, ainda de acordo com a ABNT NM 248:2003, na qual o módulo de finura é muito importante para saber das dimensões dos grãos (superfície específica). É calculado pela soma das percentagens cumulativas mantidas em peneiras de série normal e dividindo a soma por 100, como apresentado na Equação 1 a seguir.

Equação (1)

$$MF = \frac{\sum \% R.A \text{ das peneiras de série normal}}{100}$$

5.2.2 Teor de umidade

O teor de umidade no agregado utilizado na construção civil é de grande importância, pois se há uma quantidade de água em excesso, pode diminuir a resistência final do concreto, assim como se há falta de água também prejudica sua qualidade final. Recomendados pela ABNT NBR 9939:2009.

Teor de umidade do agregado é por definição a relação expressa em porcentagem entre a massa total da água envolvida na superfície dos grãos dos agregados a qual preenche os poros permeáveis do agregado em relação a sua massa seca. É realizado para corrigir a água de amassamento do concreto e informar a relação água/cimento com exatidão. O cálculo realizado para determinação do teor de umidade é apresentado de acordo com a Equação 2.

Equação (2)

$$T = \frac{Pa}{Ps} \times 100$$

Onde:

T = teor de umidade (%);

Pa = peso da água (kg);

Ps = peso material seco (kg).

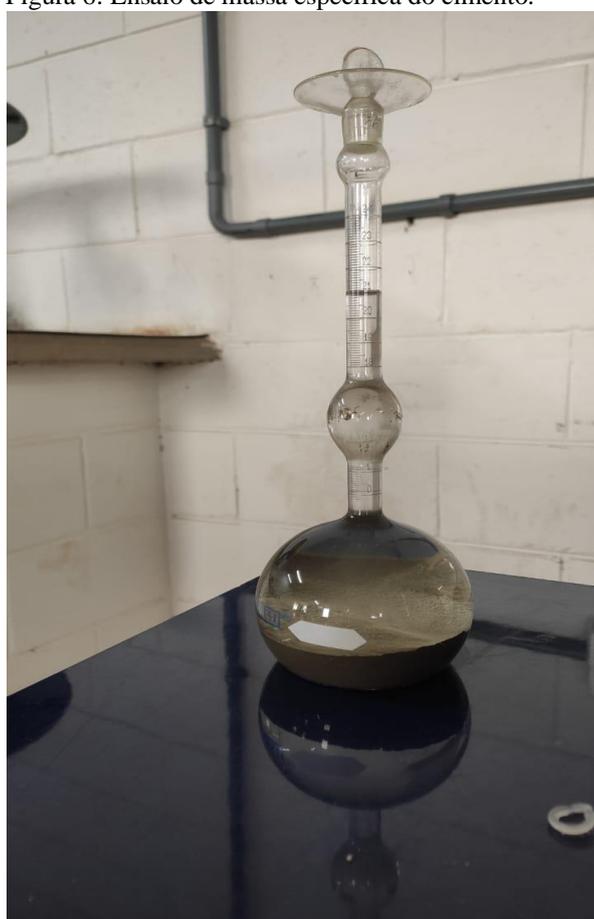
5.2.3 Massa específica

Massa específica, segundo da norma NBR NM 52 (ABNT, 2009), é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis.

5.2.3.1 Massa específica do cimento

A massa específica do cimento é determinada de acordo com a ABNT NBR NM 23:2000, na qual é utilizado o método conhecido como frasco volumétrico de Le Chatelier. O ensaio de determinação da massa específica consiste em especificar o volume ocupado pela massa do cimento, desconsiderando os vazios entre os grãos, com o objetivo de conhecer a proporção do cimento nas massas de concreto, facilitando o cálculo da quantidade de cimento na produção da massa. Para início da realização do ensaio foi utilizado querosene, na qual foi inserido no frasco 0,5cm³. Logo após a colocação do querosene no frasco, foi adicionado 60g de cimento Portland CPV-ARI. Depois foi analisada e feita medição volumétrica final apresentada no frasco. A realização do ensaio é apresentada na Figura 6 e o resultado obtido é calculado pela Equação 3.

Figura 6: Ensaio de massa específica do cimento.



Fonte: O autor, 2020.

$$\rho = \frac{m}{VF - VI}$$

Onde:

ρ = massa específica (g/cm³);

m = massa (g);

VF = volume final (cm³);

VI = volume inicial (cm³).

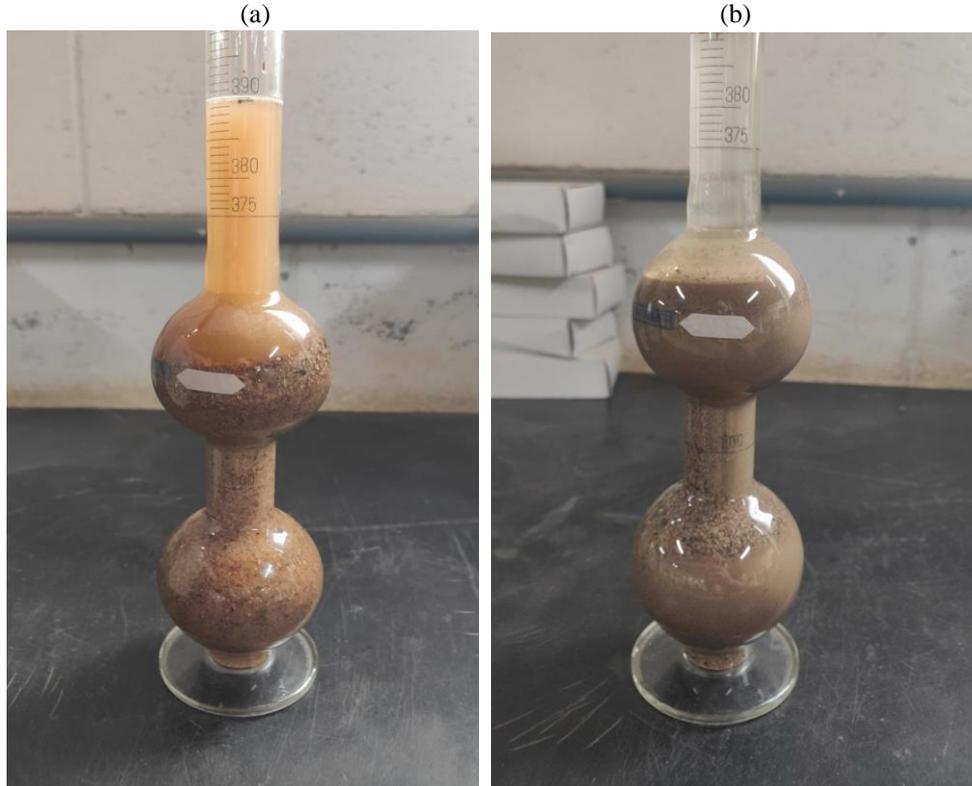
5.2.3.2 Massa específica do agregado miúdo

É a massa da unidade de volume excluindo-se os vazios entre grãos e os permeáveis. Sua determinação é feita através do picnômetro ou do frasco de Chapman, preferencialmente.

Segundo Petrucci (1970), a massa específica real do agregado miúdo gira em torno de 2,65 Kg/dm³. Determinação da massa específica do agregado miúdo é feita por meio do frasco Chapman de acordo com a ABNT NBR 9776:1987.

Para realização do ensaio foi utilizado um frasco de vidro, na qual foi preenchido até a marca de 200 cm³ presente no frasco com água destilada. Em seguida é acrescentado aos poucos 500g do agregado miúdo, na qual o material foi retirada da estufa para que se tenha a amostra seca. Após inseridos os materiais com o auxílio de um funil, é feita a leitura do volume, apresentado na Figura 7, logo após essa leitura é calculada a massa específica de acordo com a Equação 4.

Figura 7: (a) massa específica agregado miúdo natural (b) massa específica agregado miúdo reciclado.



Fonte: O autor, 2020.

Equação (4)

$$\rho = \frac{m}{VF - VI}$$

Onde:

ρ = massa específica (g/cm³);

m = massa (g);

VF = volume final (cm³);

VI = volume inicial (cm³).

5.2.3.3 Massa específica do agregado graúdo

O agregado graúdo teve sua massa específica determinada através do ensaio preconizado pela ABNT NBR NM 53:2009, pelo método da balança hidrostática, sendo primeiramente lavado para remoção de pó e qualquer material da superfície do agregado, ficando em seguida em estado de repouso para saturação por 24 horas. Para realização do ensaio foram apresentados massa específica do agregado seco, massa específica do agregado na condição saturado, superfície seca, massa específica aparente e absorção de água. Ensaio realizado no laboratório do Centro Universitário do Sul de Minas, UNIS/MG,

na qual foram utilizados recipientes, balança hidrostática e a estufa da instituição. A Figura 8 apresenta os agregados grãos naturais e reciclados antes de serem saturados, já a Figura 9 mostra os agregados grãos no processo de saturação que ocorreu durante 24 horas.

Figura 8: Agregados grãos naturais e reciclados nos cestos.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 9: Agregados grãos naturais e reciclados submersos.



Fonte: O autor, 2020.

A massa específica real é calculada de acordo com a equação 5 seguir.

$$d = \frac{m}{m_s - m_a}$$

Onde:

d = massa específica do agregado seco (g/cm³);

m = massa ao ar da amostra seca (g);

m_s = é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g);

m_a = é a massa em água da amostra (g).

5.3 Materiais utilizados na produção dos concretos

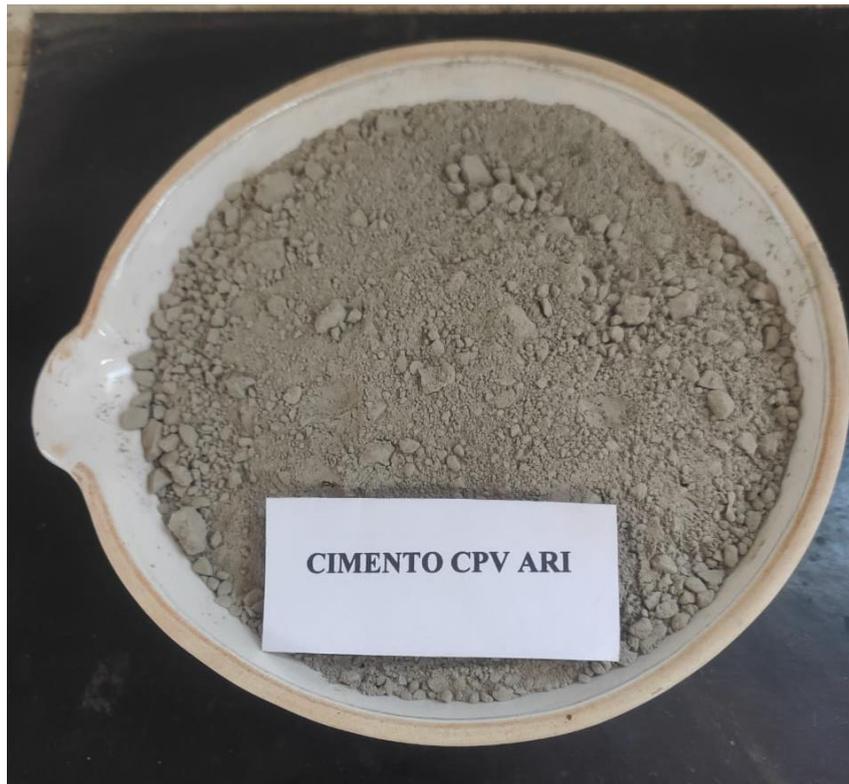
Para realização deste estudo, foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento CPI ARI
- Agregado Miúdo (Areia Fina)
- Agregado Miúdo (RCD)
- Agregado Graúdo (Brita 19 mm)
- Agregado Graúdo (RCD)
- Água

5.3.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial CPV – ARI, fornecido em sacos de 40kg, fabricado pela empresa CAUÊ. Foi escolhido pois de acordo com suas características físicas, ele adquire resistência mais rapidamente, sendo assim uma boa opção para fabricação de concretos. A Figura 10 apresenta amostragem do cimento utilizado.

Figura 10: Amostra de cimento CPV utilizado no estudo.



Fonte: O autor, 2020.

5.3.2 Agregados Miúdos

O agregado miúdo natural utilizado nas dosagens foi uma areia natural fina, procedente do Areal São Cristovam, localizado no município de Varginha-MG. A amostragem é apresentada na Figura 11.

Já o agregado miúdo reciclado na qual foi utilizado para substituição do agregado miúdo natural nas dosagens foi fornecido pela empresa Ecovia, também localizado no município de Varginha-MG. A Figura 12 representa sua amostragem.

Figura 11: Amostra areia natural utilizada no estudo.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 12: Amostra areia reciclada utilizada no estudo.



Fonte: O autor, 2020.

5.3.3 Agregados graúdos

O agregado graúdo natural, utilizado no estudo, foi uma brita “granítica” com diâmetro máximo de 19mm, procedente do Areal Mendes Picheli, localizado no município de Elói Mendes-MG.

O agregado graúdo de RCD também foi fornecido pela empresa Ecovia, assim como o agregado miúdo reciclado.

As Figuras 13 e 14 representam respectivamente as amostras de agregados graúdos naturais e reciclados.

Figura 13: Amostra brita convencional utilizada no estudo.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 14: Amostra brita reciclada utilizada no estudo.



Fonte: O autor, 2020.

5.3.4 Água

A água de amassamento utilizada nas dosagens foi fornecida pelo laboratório de materiais localizado na cidade universitária do Centro Universitário do Sul de Minas, UNIS-MG, município de Varginha-MG.

5.4 Definição dos traços

O traço referência foi definido com a proposta de realizar um comparativo entre o resultado do concreto convencional em relação aos resultados obtidos com os demais concretos produzidos com agregados reciclados. Foi utilizado o método da ACI/ABCP, que tem por objetivo obter o consumo mínimo ideal de argamassa com base no princípio da análise da área superficial específica do agregado fino e do menor índice de vazios do agregado graúdo, visando reduzir a relação a/c.

Visando analisar o comparativo entre os materiais e suas propriedades quando utilizados para produção de concreto, objetivou-se pela determinação de um único traço para os três tipos de concretos a serem produzidos, assim o abatimento definido como 60mm, podendo variar ± 10 mm. A resistência característica à compressão desejada aos 28 dias de idade foi definida em aproximadamente 30 MPa, sem uso de adições e/ou aditivos,

porem para as análises foram utilizadas 7 dias de idade. O Quadro 9 apresenta o traço utilizado para a análise.

Quadro 9: Proporção da dosagem para concretagem.

Materiais	Cimento	Areia	Brita	A/C
Traço em massa	1	1,33	2,33	0,475

Fonte: O autor, 2020.

Os corpos de prova de concreto constituem-se de moldes na qual apresentam forma cilíndrica com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, tendo um volume de 15,708 dm³. Com uma quantidade de 4 corpos de prova para cada traço, a partir do volume de um molde foi possível chegar as quantidades de materiais consumidos, para o traço convencional, contendo 50% de substituição por agregados reciclados, e posteriormente 100% de substituição. O Quadro 10 mostra a quantidade de material utilizada por traço.

Quadro 10: Quantidade de material utilizado na produção dos concretos.

Concreto	Quantidade de materiais (Kg)					
	Cimento	Areia Natural	Areia Reciclada	Brita Natural	Brita Reciclada	Água
Referência	5,34	13,24	0	16	0	3,44
50 % RCD	5,94	6,62	6,62	8	8	3,84
100 % RCD	5,20	0	12,77	0	15,28	3,85

Fonte: O autor, 2020.

Para a produção do concreto, primeiramente se deve executar a limpeza dos equipamentos como: betoneira, moldes dos corpos de prova, peneiras entre outros. Foi realizada a dosagem de massa de cada material, foram combinados primeiramente os materiais secos, em seguida a água. Com todos os materiais já adicionados na betoneira, o tempo de mistura dos materiais foi de aproximadamente 5 minutos.

Logo após a produção do concreto foram confeccionados os corpos de prova, de acordo com a ABNT NBR 5738:2015. Após 24 horas os corpos de prova foram desenhados e submerso para cura.

5.5 Avaliação das propriedades do concreto no estado fresco

Foi verificada no estado fresco do concreto a consistência pelo abatimento do tronco de cone. Os ensaios de abatimento do tronco de cone de Abrams foi realizado de acordo com as recomendações da ABNT NBR NM 67:1998, e consiste em compactar três

camadas, na qual são distribuídos uniformemente 25 golpes por camada, utilizando uma haste de socamento. O molde é retirado cuidadosamente na direção vertical e é medido o abatimento do concreto, sendo que a medida deve atender os $60\text{mm} \pm 10\text{mm}$. A Figura 15 apresenta realização do ensaio.

Figura 15: Realização do Slump Test.



Fonte: O autor, 2020.

5.6 Avaliação das propriedades do concreto no estado endurecido

As propriedades do concreto no estado endurecido são influenciadas pelas propriedades no estado fresco, daí, a importância de se efetuar um controle rigoroso enquanto fresco para que reflita nas qualidades adequadas estabelecidas em projeto.

Foram moldados 4 corpos-de-prova cilíndricos 10cm x 20cm para cada um dos três traços estudados. As propriedades dos concretos no estado endurecido analisadas neste trabalho foram Resistência à compressão e Resistência à tração por compressão diametral.

5.6.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão dos concretos foi avaliada através da ruptura de corpos de prova cilíndricos (100 mm de diâmetro e 200 mm de altura) em prensa, de acordo com

as determinações da ABNT NBR 5739: 2018. Após a cura dos corpos-de-prova em câmara úmida os mesmos foram retirados a idade de 7 dias. Os corpos-de-prova tiveram suas extremidades regularizadas através de dois suportes emborrachados, apresentados na Figura 16. A prensa utilizada para o ensaio foi do laboratório de materiais do Centro universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, Figura 17.

Figura 16: Suportes para regularizar as superfícies.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 17: Prensa utilizada para ensaio de resistência.



Fonte: O autor, 2020.

Para obter o resultado foram medidos por paquímetro o diâmetro e altura de cara corpo de prova submetido ao ensaio, e calculado a área da base do corpo de prova, apresentado pela Equação 6. E logo após o cálculo da resistência a compressão, Equação 7.

Equação (6)

$$AB = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Onde:

AB = área da base (mm²);

D = diâmetro (mm);

Equação (7)

$$RC = \frac{F \times 1000}{AB}$$

Onde:

RC= resistência a compressão (Mpa);

F= força (tonelada)

AB = área da base (mm²);

5.6.2 Resistência à tração

O ensaio de resistência a tração, teve seus parâmetros estabelecidos diante da ABNT NBR 7222:2011, na qual se obtém os resultados de tração através da compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos de concreto.

A máquina utilizada para os ensaios de resistência à tração por compressão diametral foi a mesma prensa elétrica/hidráulica utilizada no ensaio de resistência a compressão, como mostra a Figura 18 a seguir.

Figura 18: Prensa utilizada para ensaio de resistência a tração.



Fonte: O autor, 2020.

O calculo para chegar ao valor da resistência a tração através da compressão diametral é determinado de acordo com a Equação 8.

Equação (8)

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times l}$$

Onde:

$f_{ct,sp}$ = resistência à tração por compressão diametral (MPa);

F = força máxima obtida no ensaio(N);

D = diâmetro do corpo de prova (mm);

l = comprimento do corpo de prova (mm).

5.6.3 Absorção de água

Para realização da verificação de quanto os corpos de provas absorveram de água, assim que retirados do tanque onde estavam submersos foi realizada em balança a pesagem desses corpos de prova. Depois da medição os corpos de prova foram levados para uma estufa, na qual ficaram durante 24 horas. Passado as 24 horas em estufa foram realizados o registro de suas massas secas, conforme a ABNT NBR 9778:2009. A Equação 9 apresenta o cálculo para determinar a porcentagem de água absorvida pelo corpo de prova.

Equação (9)

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

Onde:

AA= absorção de água (%);

Mu = massa do corpo-de-prova inicial úmida (g);

Ms = massa do corpo-de-prova seca (g).

6. RESULTADOS

Diante ensaios realizados, obteve-se informações para a análise dos resultados obtidos, proporcionando um melhor entendimento do comportamento dos materiais escolhidos para estudo, assim como os resultados obtidos nos concretos para o comparativo a ser apresentado.

6.1 Análise Granulométrica

Foram realizados o peneiramento de duas amostras por agregado, assim feitos os ensaios granulométricos dos agregados miúdos naturais e reciclados, e também dos grãos naturais e reciclados. Foi analisada a quantidade de material retida em cada peneira, e respectivamente o material retido foi pesado em uma balança, assim foi possível realizar os cálculos das porcentagens retida e acumulada em cada das peneiras utilizadas em serie.

Os Quadros 11 e 12 apresentam os ensaios granulométricos com as duas amostras de agregado miúdo natural respectivamente.

Quadro 11: Ensaio granulométrico primeira amostra areia natural.

Agregado Miúdo - Convencional			
Peneira	Massa Gramas	% Retida	%R.A
6.3	0.002	0.20	0
4.8	0	0	0
2.4	0.019	1.89	2
1.2	0.072	7.19	9
0.6	0.528	52.75	62
0.3	0.282	28.17	90
0.15	0.088	8.79	99
Fundo	0.01	0.99	100
Total	1.001	100	

Fonte: O autor, 2020.

Quadro 12: Ensaio granulométrico segunda amostra areia natural.

Agregado Miúdo - Convencional			
Peneira	Massa Gramas	% Retida	%R.A
6.3	0.004	0.40	0

4.8	0.002	0.20	0
2.4	0.014	1.40	2
1.2	0.078	7.83	9
0.6	0.470	47.09	62
0.3	0.316	31.66	90
0.15	0.102	10.22	99
Fundo	0.012	1.20	100
Total	0.998	100	

Fonte: O autor, 2020.

Os Quadros 13 e 14 apresentam os ensaios granulométricos com as duas amostras de agregado miúdo reciclado.

Quadro 13: Ensaio granulométrico primeira amostra areia reciclada.

Agregado Miúdo- RCD			
Peneira	Massa Gramas	% Retida	%R.A.
6.3	0.004	0.4	0
4.8	0.016	1.6	2
2.4	0.173	17.3	19
1.2	0.164	16.4	36
0.6	0.188	18.8	55
0.3	0.180	18	73
0.15	0.171	17.1	90
Fundo	0.104	10.4	100
Total	1.000	100	

Fonte: O autor, 2020.

Quadro 14: Ensaio granulométrico segunda amostra areia reciclada.

Agregado Miúdo- RCD			
Peneira	Massa Gramas	% Retida	%R.A.
6.3	0.004	0.4	0
4.8	0.022	2.2	3

2.4	0.262	26.2	29
1.2	0.192	19.2	48
0.6	0.186	18.6	67
0.3	0.164	16.4	83
0.15	0.092	9.2	92
Fundo	0.086	8.6	101
Total	1.008	100.8	

Fonte: O autor, 2020.

Para os agregados graúdos foram realizados os mesmos ensaios, mas com serie de peneiras diferentes dos materiais finos. Os Quadros 15 e 16 são referentes as britas naturais.

Quadro 15: Ensaio granulométrico primeira amostra brita natural.

Agregado Graúdo – Convencional			
Peneira (mm)	Massa Gramas	% Retida	%R.A
25	0	0	0
19	0	0.00	0
12.5	0.424	84.46	84
9.5	0.06	11.95	12
6.3	0.018	3.59	4
4.75	0	0.00	0
2.36	0	0	0
1.18	0	0	0
0.6	0	0	0
0.3	0	0	0
0.15	0	0	0
Fundo	0	0	0
Total	0.502	100	100

Fonte: O autor, 2020.

Quadro 16: Ensaio granulométrico segunda amostra brita natural.

Agregado Graúdo – Convencional			
Peneira (mm)	Massa Gramas	% Retida	%R.A
25	0	0	0
19	0.01	2.01	2
12.5	0.404	81.12	81
9.5	0.06	12.05	12
6.3	0.024	4.82	5
4.75	0	0.00	0
2.36	0	0	0
1.18	0	0	0
0.6	0	0	0
0.3	0	0	0
0.15	0	0	0
Fundo	0	0	0
Total	0.498	100	100

Fonte: O autor, 2020.

Os Quadros 17 e 18 apresentam os ensaios granulométricos com as duas amostras de agregado graúdo reciclado.

Quadro 17: Ensaio granulométrico primeira amostra brita reciclada.

Agregado Graúdo - RCD			
Peneira (mm)	Massa Gramas	% Retida	%R.A
25	0	0	0
19	0	0	0
12.5	0.394	78.8	79
9.5	0.062	12.4	12
6.3	0.044	8.8	9
4.75	0	0	0
2.36	0	0	0
1.18	0	0	0
0.6	0	0	0
0.3	0	0	0
0.15	0	0	0
Fundo	0	0	0
Total	0.500	100	100

Fonte: O autor, 2020.

Quadro 18: Ensaio granulométrico segunda amostra brita reciclada.

Agregado Graudo - RCD			
Peneira (mm)	Massa Gramas	% Retida	%R.A
25	0	0	0
19	0.008	1.61	2
12.5	0.312	62.65	63
9.5	0.078	15.66	16
6.3	0.092	18.47	18
4.75	0.008	1.61	2
2.36	0	0	0
1.18	0	0	0
0.6	0	0	0
0.3	0	0	0
0.15	0	0	0
Fundo	0	0	0
Total	0.498	100	100

Fonte: O autor, 2020.

Analisando as duas amostras de cada agregado submetido aos ensaios, verificou-se que não houve grandes variações da primeira amostra para a segunda. Dessa forma foram utilizadas apenas as primeiras amostras de cada agregado utilizado para a elaboração das curvas granulométricas. O Quadro 19 apresenta os ensaios granulométricos das amostras, e os módulos de finuras de cada agregado, assim como suas dimensões máximas.

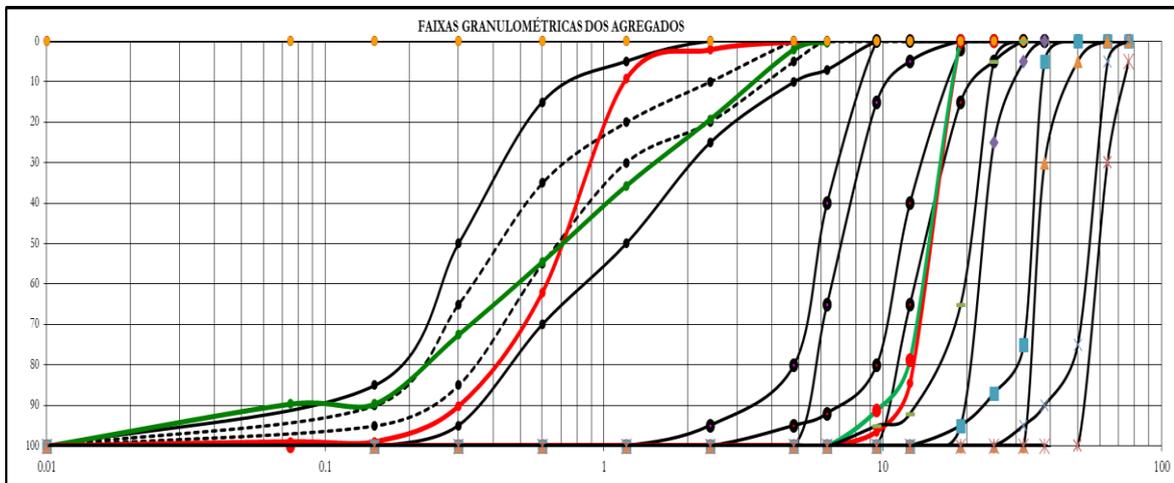
Quadro 19: Análise granulométrica dos agregados.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS NM 248												
Peneira (mm)	Miúdo Convencional			Miúdo Reciclado			Graúdo Convencional			Graúdo Reciclado		
	(gr)	% Ret	%Acum.	(gr)	% Ret	%Acum.	(gr)	% Ret	%Acum.	(gr)	% Ret	%Acum.
76												
64												
50												
38												
32												
25							0.000	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0
19							0.000	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0
12.5							0.424	84.5	84.5	0.394	78.8	78.8
9.5							0.060	12.0	96.4	0.062	12.4	91.2
6.3	0.002	0.20	0.20	0.004	0.40	0.40	0.018	3.6	100.0	0.044	8.8	100.0
4.8	0.000	0.00	0.20	0.016	1.60	2.00	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
2.4	0.019	1.90	2.10	0.173	17.30	19.30	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
1.2	0.072	7.19	9.29	0.164	16.40	35.70	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
0.6	0.528	52.75	62.04	0.188	18.80	54.50	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
0.3	0.282	28.17	90.21	0.180	18.00	72.50	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
0.15	0.088	8.79	99.00	0.171	17.10	89.60	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
0.075	0.000	0.00	99.00	0.000	0.00	89.60	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
Fundo	0.010	1.00	100.00	0.104	10.40	100.00	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
Total	1			1			0.502			0.5		
Módulo de finura	2.63			Módulo de finura 2.74			Modulo de Finura 6.96			Modulo de Finura 6.91		
Dimensão Máxima	2.40			Dimensão Máxima 4.80			Dimensão Máxima 19			Dimensão Máxima 19		

Fonte: o autor, 2020.

A Figura 19 apresenta as curvas granulométricas dos agregados utilizados, na qual todos atendem os limites determinados por norma, onde as curvas verdes representam os agregados convencionais e as vermelhas os agregados reciclados.

Figura 19: Curvas granulométricas dos agregados utilizados no estudo.



Fonte: O autor, 2020.

6.2 Teor de umidade

O teor de umidade foi definido por uma relação em porcentagem na qual a massa total da água envolvida na superfície dos grãos dos agregados a qual preenche os poros permeáveis do agregado em relação a sua massa seca. Os resultados obtidos levaram a análise de que tenha ocorrido algum erro de execução do ensaio, pois o agregado natural

teve um teor de umidade superior ao agregado reciclado, na qual possui características de um agregado mais poroso em relação ao agregado miúdo convencional. Os Quadros 20 e 21 apresentam os teores de umidade dos agregados miúdos convencionais e reciclados respectivamente.

Quadro 20: Teor de umidade agregado miúdo natural.

Teor de umidade – Miúdo Convencional		
	Amostra 1	Amostra 2
Recipiente + Material Úmido (g)	2000,00	2000,00
Recipiente + Material Seco (g)	1908,00	1914,00
Recipiente (g)	0,180	0,192
Água (g)	0,092	0,086
Material Seco (g)	1,728	1,722
Umidade (%)	5,32	4,99
Determinação Média (%)	5,16	

Fonte: O autor, 2020.

Quadro 21: Teor de umidade agregado miúdo reciclado.

Teor de umidade – Miúdo RCD		
	Amostra 1	Amostra 2
Recipiente + Material Úmido (g)	2000,00	2000,00
Recipiente + Material Seco (g)	1952,00	1944,00
Recipiente (g)	0,188	0,134
Água (g)	0,048	0,056
Material Seco (g)	1,764	1,81
Umidade (%)	2,7	3,09
Determinação Média (%)	2,89	

Fonte: O autor, 2020.

6.3 Massa específica

A massa específica é definida como a massa do material por unidade de volume, excluindo os poros internos das partículas (vazios). Diante os ensaios de massa específica para os agregados utilizados na produção dos concretos chegamos nos seguintes resultados, apresentados no Quadro 22.

Quadro 22: Massas específicas dos materiais.

Massa específica dos materiais				
Materiais	Massa (g)	V inicial (cm ³)	V final (cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
Agregado miúdo natural	500	200	390	2,632
Agregado miúdo reciclado	500	200	391	2,618

Cimento	60	0,50	20,4	2,94
Agregado graúdo natural	1000	-	-	2,709
Agregado graúdo reciclado	1000	-	-	2,701

Fonte: O autor, 2020.

Assim, é notório que houve diferenças significativas entre os resultados obtidos diante as massas específicas dos agregados utilizados para a fabricação dos concretos, na qual os agregados reciclados obtiveram massas específicas menores em relação aos naturais.

6.4 Avaliação do concreto no estado fresco

Diante aos ensaios de Slump Test obteve-se os valores de abatimento, porem o concreto convencional passou por duas correções, assim com adição de 100g de cimento e 300 ml de agua no consumo final, o contendo 50% de RCD atendeu na primeira tentativa não necessitando de correções, e o contendo 100% material reciclado também passou por duas correções na realização do ensaio, na qual teve 200g de cimento e 550 ml de agua acrescentados . O Quadro 23 mostra os valores de abatimento e seus respectivos concretos.

Quadro 23: Resultados do ensaio de consistência (Slump test).

Traço	Abatimento (cm)
Convencional	7
50% RCD	6,3
100 % RCD	5,2

Fonte: O autor, 2020.

6.5 Avaliação do concreto no estado endurecido

6.5.1 Resistência a compressão

Os resultados de resistência à compressão estão apresentados no Quadro 24 de acordo com o traço, idade e quantidade de amostras, tendo amostras com e sem substituição de

materiais utilizados na pesquisa, o que busca entender a influência da incorporação de RCD e pó de pedra nos corpos de prova, especialmente neste ensaio.

Quadro 24: Resistência à compressão das amostras de concreto.

Resistência à Compressão (Mpa)			
Concreto	Amostras	Idade (dias)	Média
		7	
Convencional	1	21,44	22,05
	2	22,65	
50 % RCD	1	17,72	17,84
	2	17,96	
100 % RCD	1	15,82	15,95
	2	16,07	

Fonte: O autor, 2020.

6.5.2 Resistência a tração por compressão diametral

Os resultados de resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias de idade, estão apresentados no Quadro 25.

Quadro 25: Resistência à tração.

Resistência à Compressão diametral (Mpa)	
Concreto	Idade (dias)
	7
Convencional	2,87
50 % RCD	2,23
100 % RCD	2,14

Fonte: O autor, 2020.

6.5.3 Absorção de água

Para realização dos ensaios de absorção de água foram utilizados 3 corpos-de-prova, sendo um para cada tipo de concreto. Após 7 dias de cura, os corpos de prova foram retirados da água e pesados, após a medição foram levados para a estufa da universidade na qual temperatura estava a cerca de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Após 24 horas em estufa os corpos de prova foram pesados para conclusão do ensaio, como apresentado no Quadro 26 abaixo.

Quadro 26: Absorção de água dos concretos.

Absorção de água			
Concreto	Massa saturada (kg)	Massa seca (kg)	A (%)
Convencional	3,76	3,52	6,82
50% RCD	3,72	3,38	10,06
100% RCD	3,54	3,16	12,03

Fonte: O autor, 2020.

Diante os resultados, pode-se observar que ao incorporar os agregados reciclados no concreto a porcentagem de absorção é maior, sendo que na substituição total do agregado natural o resultado chega a ser quase o dobro.

7. CONCLUSÃO

Como apresentado ao longo do trabalho, o setor da construção civil é um dos grandes responsáveis pela geração de resíduos e conseqüentemente pela degradação do meio ambiente, principalmente devido à falta de gerenciamento adequado de RCD. O presente estudo apresentou resultados que indicam a viabilidade dos agregados graúdos e miúdos de RCD como componentes no concreto para fins não estruturais, assim tornando-os possível alternativa na escassez de recursos para construção civil.

Os resultados das análises granulométrica dos agregados utilizados no estudo, de forma geral, foram satisfatórios. Ressaltando que estão atendendo os parâmetros determinados pela norma ABNT NBR 7211:2009.

De acordo com resultados apresentados neste estudo conclui-se que é possível produzir concretos de resistência normal com diferentes teores de agregados graúdos reciclados sem que suas propriedades mecânicas e de durabilidade sejam prejudicadas. A dosagem pelo modelo ACI/ABCP foi viável para os três tipos de concretos produzidos, todos passaram no ensaio de Slump Teste, mas vale ressaltar que para a proposta do trabalho foi definido um traço referência entre eles, sendo assim para melhorias nos resultados dos concretos contendo agregados reciclados é viável estabelecer outros traços que possam a trazer melhores resultados para o concreto utilizando resíduos, na qual traria melhorias nos estados fresco e endurecido.

É notório de acordo com as porcentagens testadas, com percentuais de substituição de agregados reciclados de 50 a 100%, os concretos produzidos absorvem mais água do que o concreto convencional, e quanto maior o teor de agregados reciclados no concreto, maior será a sua capacidade de absorção de água, apresentado no Quadro 25. Tal comportamento se dá devido a composição do material, que é mais porosa, o que causa o aumento na capacidade de absorção de água do novo concreto.

Pelos resultados obtidos em ensaios de laboratório, no que diz respeito à resistência à compressão em corpos-de-prova de concreto, pode-se observar que com adição de entulho temos uma queda na resistência, ao analisar as resistências adquiridas no estudo com os concretos na idade de 7 dias sobre o tempo (cura), pode-se concluir que os três tipos de concretos tiveram resistências inferiores a 30 Mpa, na qual foi utilizado cimento CP V que atinge sua resistência mecânica a cerca de 80 a 90% na idade de 7 dias.

De maneira geral, conclui-se que a variação do teor de agregado reciclado não apresentou influência significativa nas propriedades dos concretos estudadas. Assim, o uso de agregados graúdos reciclados pode ser considerado viável, em diferentes teores de utilização, desde que seja realizado um estudo de dosagem, avaliando a melhor quantidade de água de absorção a ser considerada para cada tipo de agregado reciclado. É importante que tenha continuidade relacionada a esse tipo de estudo, tentando incorporar à mistura materiais que possam aumentar a resistência sem impactar no ambiente e sem prejudicar a vida útil do concreto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO – **Abrecon**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 - Concreto - Procedimento para Moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 - Concreto -**

Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26: Agregados – Amostragem.** 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.** 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222 – Concreto - Determinação da resistência a tração por compressão diametral em corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23 -Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939: Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo.** 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO - **ABRECON**. Disponível em: <<http://www.abrecon.org.br/>>. Acesso em: 18 de abril de 2020.

CBCS. Materiais, Componentes, e a Construção Sustentável. 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - **CONAMA. Resolução nº 307.** Brasília, 2002.

CORDEIRO, LNP. **Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concreto.** 2013. 127p. Diss. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

DAL MOLIN, D. C. C. “Adições minerais para concreto Estrutural”. Em: **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** ed. Isaia, G. C. 1ª ed. São Paulo: **IBRACON, 2005.** v. 1. p. 345-379

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

GUERRA, Fernanda Morand. **Estudo das principais aplicações de resíduos de obra como materiais de construção.** Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Heck, Nestor Cezar, Antônio Cezar Faria Vilela, and Aline Lima da Silva. "**Aplicação da ferramenta termodinâmica computacional na simulação da produção de aço inoxidável.**" Rem: Revista Escola de Minas 60.1 (2007): 89-94.

LEITE, BATISTA MONICA. **Viabilidade econômica das usinas de reciclagem de RCD: um estudo de caso para Ijuí RS.** Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. – 2001

LIMA, J. A. R., 1999, **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.

LOPES, J. P. et al. Utilização de resíduos industriais para produção de concreto sustentável. Revista eletrônica de engenharia civil. **Vol 14, n° 2, 216-228, 2018.**

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 580 p.

MODRO, N.L.R.I. Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. Revista Matéria v. **14, n. 1, pp. 725 – 736, 2009.**

MORAND, FERNANDA GUERRA. "**Estudo das principais aplicações de resíduos de obra como materiais de construção.**" Projeto de graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (2016).

NAGALLI, André. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção.** São Paulo: Redação de Textos, 2014.

OLIVEIRA, Talita Yasmin Mesquita. **Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações.** Projeto de graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014837.pdf>>. Acesso em: 07 de maio de 2020.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland.** São Paulo, 1970.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS-PNRS.

PORTAL DO CONCRETO. **Concreto. 2014.** Disponível em:< <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/concretos.html>> Acesso em: 18 de abril de 2020.

PRETTO, Anderson Henrique. **Concreto de cimento Portland produzido com agregado reciclado e sua viabilidade técnica de aplicação como revestimento de pavimento rígido.** 2017.

RAO, A.; JHA, K. N.; MISRA, S., “**Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete**”. Resources, Conservation and Recycling, v. 50, pp. 71- 81, India, 2007.

SILVA, H. (2005). **Caracterização do Mastique Betuminoso e da Ligação Agregado- Mastique – Contribuição para o estudo do comportamento das misturas betuminosas**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil da EE da Universidade do Minho, Minho.

SUSTENTÁVEL-CBCS, CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO.
"Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas." São Paulo, 2014.

TENÓRIO, J. J. L., 2007, **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, AL, Brasil.

TSENG, Ester. **Reciclagem total de pavimentos de concreto como agregados para construção de novos pavimentos de concreto: o caso do Rodoanel Metropolitano Mário Covas**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.