

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**LUIGI TULHER LANA  
THIAGO MAIA RODRIGUES**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS NA RESISTÊNCIA  
À COMPRESSÃO E NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NO CONCRETO**

**CARATINGA  
2018**

**LUIGI TULHER LANA  
THIAGO MAIA RODRIGUES**

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS NA RESISTÊNCIA  
À COMPRESSÃO E NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NO CONCRETO**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil das Faculdades DOCTUM de  
Caratinga, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.**

**Área de concentração: Materiais de  
construção**

**Orientadora: Professora Esp. Camila  
Alves da Silva**

**CARATINGA**

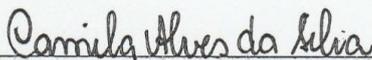
**2018**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

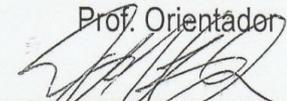
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NO CONCRETO, elaborado pelo(s) aluno(s) LUIGI TULHER LANA e THIAGO MAIA RODRIGUES foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL, das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

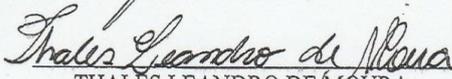
Caratinga 06/12/2018

  
CAMILA ALVES DA SILVA

Prof. Orientador

  
JOÃO MOREIRA DE OLIVEIRA JÚNIOR

Prof. Avaliador 1

  
THALES LEANDRO DE MOURA

Prof. Examinador 2

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus em primeiro lugar, o criador de todas as coisas, por ter nos sustentado e dado forças para superar todas as dificuldades, o autor das nossas vidas e do nosso destino, aos nossos familiares que nos apoiaram até aqui, que foram fonte de inspiração, a Sra. Lídia Tulher, mãe do aluno Luigi Tulher Lana, ao Sr. Silmo Rodrigues da Silva e a Sra. Marilene da Silva Rodrigues pais do aluno Thiago Maia Rodrigues e ao irmão Silmo Rodrigues da Silva Junior (*in memoriam*). Agradecemos aos nossos amigos e a professora Esp. Camila Alves da Silva pela dedicação e empenho para realização deste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática da transição entre a pasta de cimento e o agregado .....	15
Figura 2: Resíduos de demolição de edificações .....	22
Figura 3: RCD adquirido para realização dos ensaios .....	26
Figura 4: Agregado triturado.....	27
Figura 5: Peneiramento preliminar .....	27
Figura 6: Ensaio de análise granulométrica .....	29
Figura 7: Agregado reciclado na estufa.....	30
Figura 8: Ensaio de abatimento do concreto .....	33
Figura 9: Corpos de prova cilíndricos .....	33
Figura 10: Ensaio de resistência a compressão do concreto .....	34
Figura 11: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral .....	36
Figura 12: Curva granulométrica agregado reciclado.....	38
Figura 13: Curva granulométrica agregado convencional .....	39
Figura 14: Curva granulométrica da areia utilizada no concreto .....	40
Figura 15: Ensaio de compressão axial.....	41
Figura 16: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral .....	43

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Desvio padrão a se adotar em função do preparo do concreto .....	24
Quadro 2: Classificação da pesquisa .....	25
Quadro 3: Consumo de materiais para cada traço de ensaio .....	32
Quadro 4: Granulometria da brita RCD .....	37
Quadro 5: Granulometria do agregado convencional .....	38
Quadro 6: Granulometria da areia .....	39
Quadro 7: Resultados de compressão axial aos 7 dias .....	42
Quadro 8: Resultados de compressão axial aos 14 dias .....	42
Quadro 9: Tração - Concreto com agregado convencional em 7 dias .....	44
Quadro 10: Tração - Concreto com agregado reciclado em 7 dias .....	44
Quadro 11: Tração - Concreto com 50% convencional e 50% reciclado em 7 dias ..	44
Quadro 12: Tração - Concreto com agregado convencional em 14 dias .....	45
Quadro 13: Tração - Concreto com agregado reciclado em 14 dias .....	45
Quadro 14: Tração - Concreto com 50% convencional e 50% reciclado em 14 dias	46

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira e Normas Técnicas  
ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland  
A/C – Relação Água/Cimento  
ACI - American Concrete Institute  
ARI – Alta Resistencia Inicial  
BC – Baixo Calor de Hidratação  
CPB – Cimento Portland Branco  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CP – Cimento Portland  
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes  
Fck – Resistencia Característica do Concreto à Compressão  
Fctk – Resistencia a tração direta característica  
Fcm – Compressão Média  
Fcmj – Resistencia Média do Concreto em Dias  
Fctm – Resistencia a Tração Direta Média  
Fct,sp – Resistencia a Tração na Flexão  
MPa – Megapascal  
RCD – Resíduos de Construção e Demolição  
RS- Resistencia a Sulfato

## RESUMO

A construção civil gera grandes quantidades de resíduos diariamente, conhecidos popularmente como entulhos. O presente trabalho aborda a possibilidade de reutilizar estes na forma de agregado graúdo no concreto; fazendo uma análise da influência dos agregados reciclados na resistência à compressão e na resistência à tração, através de ensaios com corpos de prova e revisão bibliográfica. Identificar os tipos de resíduos que são possíveis de reutilização. Sendo feito a sua coleta, em seguida a britagem e submetê-los aos ensaios de absorção de água e análise granulométrica, para então produzir corpos de prova cilíndricos com diferentes dosagens, em porcentagens de 100% e 50% no concreto, depois do período de cura do concreto, submeter os mesmos a ensaios de compressão e tração na compressão diametral, fazendo um comparativo em relação ao convencional. Pode-se observar que o agregado RCD diminui a resistência mecânica do concreto, assim como a relação água/cimento, podendo ser explicado pela sua alta porosidade e conseqüentemente uma maior absorção de água. O controle de qualidade do concreto reciclado é fundamental, pois o mesmo já esteve em uso e possui algumas características que não podem ser desprezadas que influencia diretamente na resistência. O resultado obtido no trabalho não pode ser generalizado para todos os tipos de agregado reciclado, tendo em vista que, há uma grande variabilidade de resíduos de construção e demolição, havendo assim variações granulométricas, absorção de água e de resistência.

**Palavras-chaves:** Agregado reciclado, Resistência à compressão. Resistência à tração.

## **ABSTRACT**

Civil construction generates large amounts of waste daily, popularly known as debris. The present work deals with the possibility of reusing these in the form of a large aggregate in the concrete; making an analysis of the influence of the recycled aggregates on the compressive strength and the tensile strength, through tests with specimens and bibliographic review. To identify the types of residues that are possible to be reused, they are collected, then crushed and subjected to water absorption tests and granulometric analysis, to produce cylindrical specimens with different dosages, in percentages of 100 % and 50% in the concrete, after the curing period of the concrete, subjecting them to compression and tensile tests in the diametral compression, comparing with the conventional one. It can be observed that the RCD aggregate decreases the mechanical strength of the concrete, as well as the water / cement ratio, which can be explained by its high porosity and consequently a higher water absorption. The quality control of recycled concrete is fundamental since it has already been in use and has some characteristics that can not be ignored that directly influence the resistance. The result obtained in the work can not be generalized for all types of recycled aggregate, since there is a great variability of construction and demolition residues, thus having granulometric variations, water absorption and resistance.

**KEYWORDS:** Aggregate recycled, Compressive strength. Tensile strength.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Contextualização</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>11</b>
1.2.1 Objetivo geral.....	11
1.2.2 Objetivos específicos .....	11
<b>1.3 Estrutura do Trabalho</b> .....	<b>11</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Considerações iniciais</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 A resistência mecânica dos concretos</b> .....	<b>13</b>
2.2.1 Principais fatores que influenciam a resistência mecânica do concreto .....	16
2.2.2 Ensaios para determinação da resistência.....	18
<b>2.3 Concretos reciclados</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Massa específica.....	20
2.3.2 Trabalhabilidade .....	21
2.3.3 Agregados reciclados .....	21
2.3.4 Cimento Portland.....	22
2.3.5 Água .....	22
2.3.6 Dosagem .....	23
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1 Classificação da pesquisa</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2 Programa Experimental</b> .....	<b>26</b>
3.2.1 Coleta e preparo dos agregados RCD .....	26
3.2.2 Caracterização dos materiais e do concreto .....	28
<b>3.3 Ensaios realizados</b> .....	<b>28</b>
3.3.1 Análise granulométrica .....	28
3.3.2 Absorção de água e Módulo de finura.....	30
3.3.3 Produção do concreto convencional e do concreto RCD .....	31
3.3.4 Resistência à compressão do concreto.....	34
3.3.5 Resistência à tração por compressão diametral.....	35
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1 Análise Granulométrica</b> .....	<b>37</b>
<b>4.2 Absorção de água</b> .....	<b>40</b>
<b>4.3 Resistência à compressão do concreto</b> .....	<b>41</b>
<b>4.4 Resistência à tração por compressão diametral</b> .....	<b>43</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>49</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

A construção civil gera relativamente grandes desperdícios de materiais, conhecidos como Resíduos de Construção e Demolição (RCD) ou popularmente como entulhos, na maioria das vezes tem-se um destino inadequado. Sendo eles de diversas naturezas como concretos, argamassas, aços, tijolos e outros, gerando assim grandes impactos ambientais e econômicos.

A utilização de agregados reciclados teve início em países da Europa, pela necessidade de reconstrução das cidades depois da 2ª Guerra Mundial, sendo precursor na Alemanha (LEVY, 2001). Com a implementação de políticas rígidas sobre aterramentos, as empresas começaram ainda mais investir em reciclagem, uma vez que os custos de aterros ficam altos.

Dessa maneira muitas empresas européias visaram a possibilidade de reutilizar os resíduos, e passaram a investir na desmontagem das estruturas, separando os materiais que poderiam ser reciclados e os que deveriam ser descartados.

No entanto, procura-se cada vez mais estar reaproveitando estes materiais, fazendo o uso do mesmo como agregado em concreto reciclado, que pode ser aplicado em diversos meios com fins não estruturais, dentre estes calçadas, blocos pré-moldados, contrapisos, etc.

No que se refere aos agregados reciclados as suas propriedades não são exatas como nos agregados convencionais, sendo assim o produto final pode apresentar algumas variabilidades. É a partir da análise dos agregados que pode chegar a um adequado e confiável produto que tenha RCD.

A utilização desse concreto deve buscar alcançar a máxima resistência mecânica possível dentro dos limites dos agregados reciclados. Em laboratório deve ser feito um traço que atenda as necessidades necessárias, visando além da economia recursos de sustentabilidade com o meio ambiente.

A opção de reutilizar o Resíduo de Construção e Demolição (RCD), na forma de substituir parcialmente os agregados convencionais pode ser uma alternativa de amenizar os problemas ambientais gerados pelos entulhos. Os resíduos gerados das construções, demolições e reformas, devem ser estudados com o objetivo de melhorar os processos de reutilização, evitando as grandes perdas de materiais (JACOBI,

BESEN, 2011).

Tendo em vista os desperdícios gerados, o trabalho faz um estudo da influência dos agregados reciclados na resistência à compressão e na resistência à tração no concreto. Entretanto faz-se necessário identificar os resíduos que podem ser usados como agregados e submeter os corpos de provas produzidos aos ensaios necessários.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Estudar a influência dos agregados reciclados na resistência à compressão e na resistência à tração do concreto.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Identificar os tipos de resíduos de construção e demolição que podem ser utilizados como agregados para o concreto.
- Coletar e caracterizar resíduos de construção e demolição que são passíveis de reaproveitamento como agregados em concretos.
- Produzir e submeter os concretos convencionais e reciclado aos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na compressão diametral.

## **1.3 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho de conclusão de curso, é dividido em cinco capítulos:

No capítulo 1 é apresentado a introdução do tema, onde contém a contextualização, objetivo geral e específico e por último a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, abordando os conceitos fundamentais para o entendimento da influência dos agregados reciclados na resistência à compressão e na resistência à tração no concreto.

No capítulo 3 descreve a metodologia que foi utilizada para cumprir os objetivos propostos neste trabalho.

No capítulo 4 apresenta os resultados e discussão, abordando como o agregado reciclado influencia no concreto.

No capítulo 5 apresenta a conclusão dos objetivos propostos inicialmente no trabalho.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Considerações iniciais**

As especificações de resíduos recicláveis como agregados, conhecido como RCD ou entulho de obras, se dão através das reformas, demolições dentre outras atividades da construção (CONAMA,2002).

Durante todo o processo executivo de uma obra, são gerados resíduos de construção e de demolição, nas construções novas os resíduos são gerados em maiores quantidades na etapa de concretagem, alvenaria, revestimento e acabamento do edifício, onde para Zordan (1997) a perda de materiais durante o processo executivo se torna a principal geração de RCD.

O uso do concreto com agregado graúdo reciclado se destina principalmente a fins não estruturais onde há recomendações mais conservadoras, como as brasileiras que limitam uma resistência mecânica de 18 MPa, mas consideram o uso da fração miúda desses agregados diferente da recomendação de RILEM (Rilem Recommendation,1994) que não leva em consideração o uso da fração miúda e se prevê a fabricação de concretos com resistência acima de 20 MPa.

No presente capítulo é introduzido a explicação e definição de termos ligados ao tema, análise do que se espera do concreto, identificar a influência dos agregados reciclados na resistência à compressão e na tração do concreto, definição de materiais naturais e reciclados usados e suas características com aprofundamento nos agregados reciclados (RCD), e abordagem sobre as normas de referência para cada utilização.

### **2.2 A resistência mecânica dos concretos**

O concreto é uma mistura composta heterogênea dividida em três fases: partícula dos agregados, pasta de cimento e a zona de transição, todas elas com características próprias e que unidas tem grande importância nas propriedades do concreto (PAULON e KIRCHHEIM, 2011).

Para Mehta e Monteiro (2014) o concreto é facilmente distinguido com duas fases, sendo que em nível macroscópico (olho nu) são divididos em partículas de agregados e pasta de cimento hidratada, ou seja, um material bifásico. Ainda segundo os autores citados anteriormente, em nível microscópico o concreto é bem mais

complexo uma vez que cada fase ainda pode ser subdividida e ter características diferentes ao longo de sua extensão, assim interpretados como um material compósito, ou seja, de mais fases.

Para Nogueira (2013) em relação ao aspecto estrutural do concreto é de suma importância entender melhor as fases do concreto, para assim compreender a ligação entre eles e posteriormente as propriedades de resistência, durabilidade e porosidade que são essenciais para o concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (2014) a microestrutura do concreto pode ser iniciada pensando no seguinte resumo: existe uma zona de transição que se encontra em volta do agregado com contato de pasta de cimento, e esta zona geralmente tem menor resistência que as fases do agregado e da pasta de cimento, assim se tornando na maioria das vezes a região mais frágil do concreto, atuando de forma mais significativa no comportamento mecânico do concreto.

Ainda de acordo com Mehta e Monteiro (2014) o concreto possui mais duas singularidades, a primeira mostrando que todas as três fases do concreto têm características multifásicas com diferentes composições mineralógicas, e com variações de microfissuras, espaços vazios, espaços de sólidos e poros, e a segunda colocando o concreto como um material peculiar de características descontínua, uma vez que as partículas de sua microestrutura estão submetidas a variação com o tempo e condições ambientais que estão sujeitos.

Segundo Paulo e Kirchheim (2011), dentre as fases do concreto a microestrutura do agregado mesmo sendo na sua maioria mais resistente que a fase de pasta de cimento e zona de transição pode ter algumas exceções, onde o agregado tem grande porosidade e assim atuando diretamente no decréscimo da resistência.

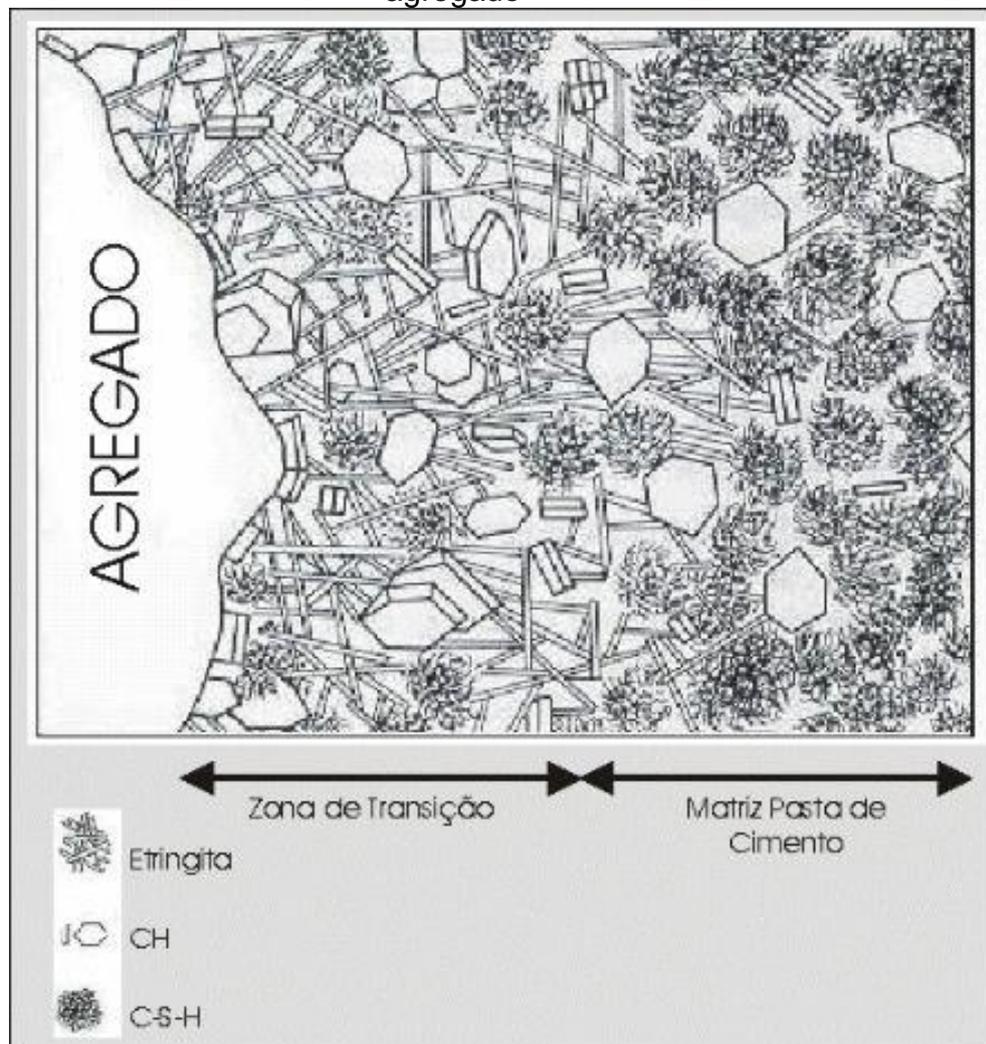
Em concordância com isso Mehta e Monteiro (2014) afirmam que o agregado é o principal responsável por características importantes do concreto, como a estabilidade dimensional, o módulo de elasticidade e a massa específica, e que esses fatores são alterados justamente pela composição física dos agregados, em especial tamanho, forma e distribuição dos poros.

A microestrutura da pasta de cimento, segundo Paulon e Kirchheim (2011) é a união heterogênea de partículas, micro cristais e elementos sólidos, onde são ligados por uma massa porosa e que se torna de grande relevância seu estudo. Ainda conforme descreve os autores, os poros capilares, onde os que são preenchidos de produtos de hidratação e alguns poros de gel.

Por fim a fase de zona de transição que segundo Mehta e Monteiro (2014) é o elo mais frágil da microestrutura do concreto e é considerada como limite da resistência, uma vez que é onde se inicia a ruptura da ligação.

Com a estrutura sendo definida pela alta quantidade de volume vazios capilares, é com hidróxido de cálcio além da presença de microfissuras, tem de acordo com Mehta e Monteiro (2014) sua resistência estipulada pela força de atração de van der Waals, onde fica responsável pela abrangência entre as partículas da reação de hidratação, sendo assim depende dos tamanhos e volumes dos vazios existentes, na figura 1 tem se a representação da microestrutura do concreto.

Figura 1: Representação esquemática da transição entre a pasta de cimento e o agregado



Fonte: MEHTA E MONTEIRO (2014)

De acordo com Mehta e Monteiro (2014) dessa maneira a resistência mecânica do concreto é a principal característica avaliada para determinar a qualidade do concreto, sendo esta de modo geral a energia de atração entre partículas que resiste aos esforços solicitantes no concreto, e que a resistência se dá ao esforço resistente de ruptura com o fator de segurança. Assim diversos fatores que começam na microestrutura do concreto atuam nessa resistência, sendo diretamente proporcional as relações dos materiais da pasta com os comportamentos do concreto final.

### 2.2.1 Principais fatores que influenciam a resistência mecânica do concreto

Segundo Ângulo (2005) dentre os principais está a relação água/cimento que é a quantidade de água misturada com determinada quantidade de cimento onde forma uma pasta que tem por função unir os agregados preenchendo espaços vazios entre agregados com uma certa mobilidade da mistura no estado fresco. Para o estado endurecido a pasta tem função de ligar os agregados, dando impermeabilidade, resistência mecânica e durabilidade.

De acordo com Neville (2013) não há o adensamento total do concreto em construções comuns, havendo espaço vazios entre eles, mas pensando num adensamento total do concreto a relação a/c é inversamente proporcional à resistência do concreto para uma determinada idade.

Segundo Boggio (2000) o fator a/c também tem atuação em outros comportamentos do concreto, como a trabalhabilidade que aumenta de acordo que fator a/c aumenta, também em maiores teores ocorre o aumento da porosidade e permeabilidade.

De acordo com Leite (2001) a relação água cimento influencia diretamente na resistência do concreto, uma vez que a porosidade é um dos principais fatores de influência na resistência. De um modo geral a relação a/c tem de ser bem controlada já que quanto maior a proporção entre os dois materiais melhor é a trabalhabilidade e fluidez do concreto, mas consecutivamente possui menor resistência mecânica, outro fator importante para a resistência do é a idade.

Para Neville (2016) o efeito da idade na resistência do concreto tem dependência entre a relação a/c e tipo de cimento, uma vez que sua hidratação, e o teor de a/c influenciam o ganho de resistência, já que para menores teores de a/c o concreto atinge maiores resistências com menos tempo.

Ainda segundo Neville (2016) a relação de idade do concreto para ensaio ser normatizada aos 28 dias, se deu por questões de os cimentos antigos demorarem para desenvolver resistência e para assim ter os ensaios realizados em data múltipla da concretagem, sendo executada no mesmo dia útil, uma vez que não existe razão científica para a escolha dos 28 dias.

Outro fator de influência na resistência é o estudo dos agregados, onde para Neville (2013) tem geralmente sua importância sendo de segundo escalão, uma vez que os agregados naturais são de densidade constante e altas resistências se forem de forma angular e rugosos, mas ainda assim o agregado pode exercer grande influência no concreto de acordo com sua característica, que pode ser com agregados do tipo lisos, ou ainda com agregados de alta porosidade como pedra-pome, e para agregados reciclados de concreto.

Também atuando com muita importância o cimento age de diversas maneiras no concreto, de acordo com sua finura e composição, estes também podem ser escolhidos segundo Pereira (2013) a partir da necessidade da obra seja por causa de sua resistência inicial ou pela classe de agressividade do ambiente onde possa ter qualidade satisfatória. De um modo geral, o cimento é um material de partículas finas constituído de clínquer e adições, onde ao serem misturas com água produz uma reação exotérmica cristalizando as partículas e endurecendo a pasta, assim chegando em altas resistências. O cimento é dividido em 11 classes, abrangidas pela ABNT NBR 16697:2018, são elas:

- CP I: Cimento Portland comum;
- CP I-S: Cimento Portland comum com adição;
- CP II-E: Cimento Portland composto com escoria;
- CP II-Z: Cimento Portland composto com pozolana;
- CP II-F: Cimento Portland composto com fíler;
- CP III: Cimento Portland de alto-forno;
- CP IV: Cimento Portland Pozolânico;
- CP V-ARI: Cimento Portland de alta resistência inicial;
- RS: Cimento Portland resistente a sulfatos;
- BC: Cimento Portland de baixo calor de hidratação;
- CPB: Cimento Portland branco.

A cura do concreto é de grande importância para a resistência final do concreto, uma vez que este depende do tempo em que suas reações de hidratação ocorrem, desta maneira se torna essencial a verificação do concreto e atenção no período da cura.

Segundo a ABNT NBR 5738:2016 o concreto moldado em corpo de prova cilíndrico deve permanecer em local plano e sem vibrações durante as primeiras 24 horas da sua concretagem e posteriormente inseridos em câmara úmida ou submersos em água saturada com cal hidratada e serem retirados no momento do ensaio. Para concretos feitos em obra também é necessário se ter um controle de qualidade com a cura do concreto, sendo mais comum a molhagem do concreto durante os primeiros dias de concretagem para este atingir as características necessárias.

### 2.2.2 Ensaio para determinação da resistência

A resistência à compressão é considerada a principal propriedade do concreto, estimada por ensaios de compressão conforme a ABNT NBR 5739:2018 e os corpos-de-prova produzidos segundo a ABNT NBR 5738:2016, onde tem como princípio básico de suas medidas a altura com o dobro do diâmetro, como por exemplo os mais usados para ensaios em corpos-de-prova cilíndricos, tendo medida de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, e o de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura.

Conforme ABNT NBR 12655:2015 sendo ensaiados os corpos-de-prova analisa-se os valores obtidos para classificação e através de dados da compressão média ( $f_{cm}$ ) e de resistência característica ( $f_{ck}$ ), que possibilita se ter maiores informações de concreto para uma aprovação ou reprovação em determinado uso.

Segundo Farias (2003) na resistência à tração os conceitos sobre a resistência à tração direta são parecidos com os de compressão, onde muda as abreviaturas de resistência média ( $f_{ctm}$ ) sendo o valor da média aritmética sobre os resultados e a resistência característica do concreto à tração ( $f_{ctk}$ ), e a diferença entre eles são vistas pelos tipos de ensaios realizados, que no caso da tração pode ser executado de três maneiras: tração direta, compressão diametral e tração na flexão.

De acordo com Levy (2001) o ensaio mais utilizado é o também conhecido como ensaio brasileiro em países estrangeiros, já que o método foi desenvolvido pelo engenheiro brasileiro, especialista em cálculo estrutural Fernando Lobo Carneiro em

1943. Para a execução do ensaio o corpo-de-prova é posicionado com o eixo horizontal na prensa, e como na compressão sendo aplicado uma força axial até o limite da amostra onde ocorre a ruptura por fendilhamento.

Segundo a ABNT NBR 6118: 2014, no ensaio de tração por compressão diametral os valores obtidos são geralmente maiores que na tração direta, além de ser um ensaio com execução mais simples e resultados mais constantes. Para o ensaio de tração na compressão diametral os valores são definidos pela abreviatura  $f_{ct,sp}$  e por serem diferentes dos resultados de referência  $f_{ct}$ , é feita a conversão com o coeficiente 0,9.

$$f_{ct} = 0,9 f_{ct,sp} \quad (1)$$

### 2.3 Concretos reciclados

Segundo Tenório (2007) o concreto reciclado é aquele produzido com agregados reciclados, sejam eles miúdos ou graudos, onde tem por finalidade a diminuição da quantidade de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) desperdiçada seu uso pode ser fonte alternativa para construção, já que mesmo tendo abundância de matéria prima dos agregados, a reutilização é sempre bem vinda para uma relação sustentável.

Com a grande quantidade de resíduos que são gerados anualmente pela área de construção civil, um dos grandes desejos para se alcançar a sustentabilidade é a reciclagem e uso desses resíduos (JACOBI E BESEN, 2011). Porém com a variabilidade de características dos agregados reciclados, pode ocorrer uma grande diferença de resistência mecânica no final do processo, sendo assim, são feitos ensaios para identificar os agregados que exercem influência no comportamento mecânico dos concretos, dentre os ensaios estão:

- Composição granulométrica – ABNT NBR NM 248-2003;
- Agregado graúdo – Determinação de massa específica, aparente e absorção de água – NBR NM 53-2003;
- Massa unitária solta – ABNT NBR NM 45:2006.

De acordo com Gonçalves (2001), faz se necessário conhecer todas as propriedades relacionadas ao agregado que será usado no concreto reciclado, como a sua deformação, módulo de elasticidade e suas características de resistência.

As propriedades são a base para o conhecimento das características dos materiais. Entretanto para se ter um controle perfeito de qualidade é necessário saber os principais constituintes do RCD, e suas características.

De acordo com Tenório (2007) os agregados reciclados por ter uma maior presença de partículas finas ou grãos finos, aumenta a rugosidade das partículas, pois permite ao agregado certa absorção da parte d'água, dessa forma prejudica a consistência do concreto.

Segundo Leite (2001) a consistência do concreto com agregado reciclado é menor quando comparado ao mesmo traço de um convencional. As propriedades podem ser afetadas por fatores como: Consumo de água, consumo de cimento, relação água/cimento, relação agregados/cimento, adições, aditivos, agregados.

Leite (2001), através de experiências, fez alguns levantamentos de fatores que são influentes a respeito do módulo de elasticidade, sendo eles: Relação água x cimento, teor de substituição do agregado graúdo, interação teor de substituição agregado graúdo x teor de substituição agregado miúdo.

Analisando estes dados, Leite (2001), constatou que o módulo de elasticidade teve resultado proporcional aos dois primeiros fatores, chegando à conclusão que o aumento da porosidade das fases do concreto influencia no módulo de elasticidade, dessa forma reduz o seu valor.

Outro fator importante é a britagem e posteriormente classificação pela curva granulométrica onde se separa as partículas pelo seu tamanho através de peneiramento. O peneiramento é normalmente realizado quando os agregados estiverem seco, proporcionando assim uma parcela de fração fina juntamente com a fração graúda da amostra (SANTOS e PINTO, 2008).

### 2.3.1 Massa específica

Segundo Ângulo (2005) a massa específica do concreto está diretamente ligada aos agregados reciclados, uma vez que são mais porosos e menos densos, respectivamente possui massa específica menor que os agregados naturais.

Segundo Cabral (2007) essa mudança que também leva em consideração a porcentagem de substituição dos agregados naturais por reciclados e os tipos( de origem cimentícia, cerâmica ou mista) aparenta ter uma relação simples entre a massa específica do agregado e a massa do concreto produzido com ele, atuando junto com

um maior teor de ar no concreto onde atua de forma importante para um controle de qualidade melhor.

### 2.3.2 Trabalhabilidade

De acordo com Cabral (2007) de uma forma genérica o concreto reciclado possui menor trabalhabilidade comparado ao concreto convencional quando usado os mesmos traços, essa condição podendo ser explicada pela maior absorção de água dos agregados reciclados que tornam o concreto mais seco e assim com a necessidade de aumentar o teor de argamassa para se ter uma mesma trabalhabilidade .

Segundo Carrijo (2002) outra explicação é pelo formato dos agregados, onde os agregados reciclados teriam aspecto mais robusto e mais aspero em relação aos naturais, tendo assim um contato de maior atrito no concreto, o que resultaria no aumento da coesão entre as partículas e diminuição da trabalhabilidade.

### 2.3.3 Agregados reciclados

O conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), define os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), como materiais não contaminados de construções, reformas e reparos, e os resíduos de preparação, limpeza e escavação de terrenos, os mais encontrados são: tijolos, blocos, concreto em geral, argamassa, gesso, plásticos, etc., estes popularmente conhecidos como entulhos. Os resíduos são divididos em quatro categorias, sendo o utilizado para este trabalho apenas o de classe A.

Resolução CONAMA 307 define como resíduos de classe A sendo aqueles resíduos que podem ser utilizado como agregados, graúdos ou miúdos, como: Resíduos de construção e demolição, como também de reformas e reparos, entre outros. Resíduos de componentes cerâmicos como tijolos, telha, argamassas e concretos; Resíduos de peças pré-moldadas feitas de concreto, como blocos, que são podem ser produzidos nas obras.

Os resíduos de Classe A podem ser reciclados como agregados, ou usados para outras finalidades como aterros. Resíduos utilizado para o presente trabalho figura 2.

Figura 2: Resíduos de demolição de edificações



Fonte: acervo dos autores (2018).

#### 2.3.4 Cimento Portland

Nogueira (2013) fez um comparativo entre o concreto convencional com o reciclado, sendo que no convencional utilizou do Cimento Portland II, areia e brita nº 1, já no concreto reciclado fez a utilização do cimento CP III de alto forno, substituindo no lugar do cimento Portland, fazendo também a utilização de agregados graúdos e miúdos, sendo o agregado graúdo reciclado de 12,5 mm a 19mm.

O uso de resíduos mista tende a fazer à resistência a compressão diminuir quando há uma substituição de mais de 50% dos agregados naturais convencionais pelos agregados reciclados. Também se observou quando maior for a relação água e cimento maior o teor de substituição dos agregados naturais pelos reciclados menor será o valor encontrado para a resistência deste concreto (VIEIRA, 2003).

Pode-se definir como cimento Portland, como um pó que tenha característica aglomerante e que tenha a função de endurecer quando misturado na água. Na sua moagem industrial é composta por clínquer e adições sendo elas que definem os diversos tipos de cimento, atendendo assim diferentes necessidades da construção civil (DNIT, 2005).

As misturas deste pó com água e agregados formam o concreto, podem ser feitos diversos ensaios com o cimento Portland, como: Tempo de pega (ABNT NBR 16607: 2017); Finura na peneira nº 200 (ABNT NBR 11579: 2013); Resistência à compressão (ABNT NBR 7215: 1997).

#### 2.3.5 Água

Devido a sua reação com o cimento a água torna um ligante que adquire

grandes resistências como passar do tempo, todos os tipos de água podem ser usados no traço do concreto, com exceção da água do mar, pois possui um grande teor de sal (LEVY, 2001).

A quantidade de água no concreto é medida pelo fator água-cimento. Sabendo-se que são fatores determinantes da trabalhabilidade e da resistência final, sendo Os requisitos da água regido pela ABNT NBR 15900-1: 2009.

### 2.3.6 Dosagem

Dosagem é a relação de proporção dos materiais constituintes de concretos e argamassas sendo utilizado uma relação mais econômica, que atenda aos requisitos mínimos para a mistura pré-estabelecida, sendo os principais a resistência física e mecânica, porosidade e permeabilidade (NEVILLE, 2013).

Dessa forma o maior uso de materiais tem diferentes resultados na mistura, como por exemplo o cimento em maior quantidade trás para a mistura maior coesão, plasticidade, calor de hidratação, e menor segregação e exsudação. Para o aumento do teor dos agregados miúdos ocorre um aumento no teor de a/c, e maior plasticidade da argamassa, que contribui para uma boa trabalhabilidade (ZORDAN, 1997).

No agregado graúdo depende também do formato dos agregados, uma vez que para os mais lisos e arredondados ocorre maior plasticidade, mas menos aderência, com formatos lamelares maior consumo de argamassa e menor resistência, sendo a melhor forma agregados rugosos e com geometria cúbica.

Para a dosagem prévia de concretos o método de ABCP que foi adaptado da ACI (American Concrete Institute) para a utilização com os agregados encontrados no Brasil, têm sua utilização para misturas de diferentes consistências, abrangendo desde misturas plásticas às misturas fluidas. Nesse método segundo Levy (2001) é realizado uma aproximação da quantidade de materiais, de modo que se faça uma mistura experimental para a confirmação e possíveis mudanças no traço, assim é fixado a relação a/c do concreto pelo valor de resistência pré-estabelecida em função da curva Abrams do cimento e posteriormente definido o consumo de materiais e apresentação do traço obtido. No quadro 1 e 2 pode-se observar os desvios padrão que pode ser adotado em função estrutural relacionado ao preparo do concreto.

Quadro 1: Desvio padrão a se adotar em função do preparo do concreto

Condição de preparo do concreto	Desvio padrão (MPa)
<p>A- Cimento e agregados medidos em massa, água de amassamento medido em massa ou volume com dispositivo dosador e sendo corrigida em função da umidade dos agregados (aplicável em todas as classes do concreto);</p>	4,0
<p>B - Cimento medido em massa, água de amassamento medido em volume com o uso de dispositivo dosador e os agregados numa combinação de massa e volume, seguindo o critério de combinação que o canteiro disponha de meios confiáveis e simples para a conversão de massa em volume;</p>	5,5
<p>C - Cimento medido em massa, agregados em volume, água de amassamento em volume e corrigida em função da umidade dos agregados da determinação de consistência do concreto, conforme a ABNT NBR NM 67 ou outro método normalizado.</p>	7,0

Fonte: adaptado da ABNT NBR 12655: 2015

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Classificação da pesquisa

A presente pesquisa destina-se estudar como os agregados reciclados influenciam na resistência à compressão e também na resistência à tração por compressão diametral do concreto. No entanto, pode-se dizer que este estudo tem finalidade exploratória/descritiva, tendo em vista que se pretende compreender e descrever um pouco mais sobre o tema estudado.

Para a elaboração do estudo foi feito, inicialmente, uma revisão bibliográfica. Foram consultados livros, apostilas, manuais de orientação, artigos, periódicos, e demais materiais publicados, com o objetivo de se aprender a respeito da reutilização de resíduos de construção e demolição como agregados reciclado para concreto.

Posteriormente, desenvolveu-se um programa experimental para que, através da realização dos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral do concreto, fosse possível verificar se o RCD afeta o desempenho do concreto.

Conforme Lakatos e Marconi (2003) “os diversos tipos de estudos experimentais podem ser desenvolvidos tanto em campo, ou seja, no ambiente natural, quanto em laboratório, onde o ambiente é rigorosamente controlado.” Pela natureza dos ensaios, utilizou-se o Laboratório de Materiais e Solos da Faculdade Doctum de Caratinga.

No quadro 2 apresenta-se de forma resumida a classificação da presente pesquisa, tendo em vista o modo de abordagem do problema, os métodos de pesquisa empregados para coleta dos dados e, a finalidade do estudo.

Quadro 2: Classificação da pesquisa

<b>Parâmetro</b>	<b>Classificação</b>
Abordagem do problema	Qualitativa
Métodos de pesquisa	Revisão bibliográfica Experimental
Tipo/finalidade da pesquisa	Exploratória/descritiva

Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

Foi escolhido a abordagem qualitativa, pois os agregados reciclados são muito variáveis em suas propriedades, inviabilizando conclusões que possam ser generalizadas com uma análise estatística.

### 3.2 Programa Experimental

#### 3.2.1 Coleta e preparo dos agregados RCD

O agregado reciclado, materiais que foram utilizados para os objetivos propostos, classe A, foram adquiridos por meio de separação em uma área de disposição de entulhos na cidade de Vargem Alegre - MG, como representado na figura 3. A separação do material no campo, foi feita de forma visual, visando separar as impurezas presentes que não atendam o objetivo deste trabalho.

Figura 3: RCD adquirido para realização dos ensaios



Fonte: Acervo dos autores (2018)

Observando a grande mistura do material coletado a ser reciclado, é feito a separação dos entulhos que não fazem parte dos resíduos de classe A. O material foi triturado de forma manual com auxílio de marretas e soquetes, onde o resultado final

foi resíduos com granulometrias menores que às iniciais, como representado na figura 4.

Feito isso tem-se um produto na granulometria ideal para produzir os corpos-de-prova. A pesquisa não necessitou de grandes quantidades de RCD para a produção do concreto, por isso a facilidade de triturar manualmente o material.

Figura 4: Agregado triturado



Fonte: Acervo dos autores (2018)

O processo de britagem manual gerou uma granulometria bastante irregular, no entanto, foi realizado um peneiramento preliminar utilizando os agregados passantes na peneira de 25 mm, para o presente estudo, figura 5.

Figura 5: Peneiramento preliminar



Fonte: Acervo dos autores (2018)

A dimensão máxima no concreto estrutural é normalmente restringida a 25mm ou 40mm, tendo em vista a seções dos elementos do concreto e o espaçamento da armadura (NEVILLE 2013).

### 3.2.2 Caracterização dos materiais e do concreto

Os resíduos adquiridos com o objetivo de obter as características dos materiais, é realizado ensaios nos agregados convencionais e nos agregados reciclados, seguindo as diretrizes da ABNT NBR NM 248:2003, com o intuito de entender da melhor forma o material que será utilizado na realização do concreto por meio de sua granulometria.

Para a determinação de quantidade de material a ser ensaiado a norma citada anteriormente determinada a quantidade em relação ao tamanho máximo do agregado. Posteriormente com a classificação dos materiais realizada, usa as informações e necessidades do projeto para chegar no traço desejado, ensaiando corpo de prova para confirmar a resistência do traço, estes sendo executados no laboratório da faculdade Doctum de Caratinga.

Para determinar a resistência à tração por compressão diametral em corpos de prova, e também na compressão axial, é feita uma análise dos traços ensaiados.

Segundo Mehta e Monteiro (2014) as características do agregado dependem das condições em que foram expostos e como foi feito o processo de fabricação, como também o seu tamanho, a forma e textura dos agregados reciclados.

## 3.3 Ensaio realizados

### 3.3.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica dos agregados graúdos foi realizada com o RCD e também para agregado convencional natural, ou seja, a brita de gnaiss, com o objetivo de determinar a dimensão máxima característica e a curva granulométrica dos agregados. O ensaio é feito através do peneiramento do material, utilizando as peneiras normais e intermediárias para a execução do peneiramento de duas amostras de 5000 g, com base na ABNT NBR 248:2003.

O mesmo ensaio de granulometria feito para o agregado graúdo, foi realizado também para a areia, este segundo a ABNT NBR 7211:2009, com amostras de 250

gramas, com o intuito de se obter a curva granulométrica, o material passante em cada peneira e o modulo de finura.

É determinado a massa do material que fica retida nas peneiras, a figura 6 ilustra o ensaio utilizado.

Figura 6: Ensaio de análise granulométrica



Fonte: Acervo dos autores (2018)

Segundo Neville (2013) é importante a utilização de um agregado com uma granulometria que possibilite uma boa trabalhabilidade do concreto, com mínima segregação, desta forma obtém um concreto mais resistente e econômico.

A granulometria mostra a distribuição dos grãos que compõe os agregados, que são expressas geralmente em porcentagens individuais ou acumuladas em cada peneira de série normal ou intermediária conforme a ABNT NBR 7211:2009.

Segundo Isaia (2011) a distribuição granulométrica quando ela é equilibrada, produz uma mistura de concreto trabalháveis, proporciona também uma estrutura bem mais fechada da massa do concreto, diminuindo assim o volume de vazios, desta forma reduz os riscos de penetrar no concreto agentes agressivos.

Para Mehta e Monteiro (2014) agregados com granulometria contínua, que não apresentam grandes variações, produzem um concreto com misturas mais trabalháveis e econômicas, e quanto maior for a sua dimensão do agregado, menor será a sua área superficial coberta pela pasta de cimento.

### 3.3.2 Absorção de água e Módulo de finura

Segundo Mehta e Monteiro (2014) o agregado reciclado possui uma densidade menor e uma maior taxa de porosidade, entretanto uma maior absorção de água, uma superfície mais rugosa quando se comparado ao agregado natural. Todas essas características influenciam nas propriedades do concreto.

O ensaio de absorção de água é importante quando se trata de agregados reciclados, visto que a sua porosidade é bastante elevada, no agregado convencional é de menor relevância, pois a sua absorção de água é mínima, podendo ser até desprezada.

Esse ensaio é fundamental pois uma quantidade errada de água no concreto pode interferir nas características do concreto, a sua trabalhabilidade e até mesmo na resistência.

A norma que determina os parâmetros de absorção de água dos agregados utilizados no concreto é a ABNT NBR NM 53:2009.

Para fazer o ensaio, pesar o material na condição seca, que deve ser de 5000 gramas e logo após colocá-lo em um recipiente com água por um período determinado, transcorrido o tempo estabelecido de um dia, deve se colocar o mesmo em uma estufa por 24 horas ilustrado na figura 7, e pesar novamente o agregado. Após realizar todo o processo descrito, os resultados encontrados devem ser lançados em uma fórmula estabelecida que chegará em um resultado em porcentagem de absorção de água.

Figura 7: Agregado reciclado na estufa



Fonte: Acervo dos autores (2018)

Após coletado os dados encontrados, os valores são colocados em uma equação, tanto para o agregado reciclado como o convencional.

$$A = \frac{M_s - M}{M} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

A, é a absorção de água em porcentagem;

M<sub>s</sub>, Massa ao ar da amostra na condição saturada e de superfície seca, em gramas

M, é a massa da amostra seca em estufa, em gramas.

Para análise da absorção de umidade utilizou-se 5 Kg de amostra de agregados reciclados e 5 Kg de agregado convencional.

Para se obter o módulo de finura, deve-se somar todas as porcentagens que ficaram retidas acumuladas sendo em massa do agregado nas peneiras de serie normal e dividir os valores por 100, ABNT NBR 7211:2009.

Leite (2001) nos seus estudos propôs um método para realizar ensaio de absorção de água, na forma de observar a massa submersa em diferentes tempos. Segundo Damineli (2008) a força de empuxo quando aumenta diminui o volume do agregado, no entanto recomenda-se a determinação em diferentes tempos a absorção de água.

A porosidade, absorção de água e permeabilidade dos agregados, tem influência na aderência entre eles como também na resistência do concreto, a absorção de água é determinada pelo decréscimo de uma amostra após sua secagem em uma estufa por 24 horas, o valor da perda em porcentagem é determinado absorção (NEVILLE 2013).

### 3.3.3 Produção do concreto convencional e do concreto RCD

A confecção do concreto para realizar os ensaios determinados no presente trabalho, foi feito seguindo os procedimentos determinados pela norma (ABNT NBR 5738:2016), que trata dos procedimentos para moldagem e cura do corpo de prova.

Antes de se utilizar a betoneira para a produção do concreto deve-se umedece-la com água e deixar escorrer, logo após deve-se imprimir a mesma com argamassa, sendo utilizado para o trabalho proposto 3kg de cimento, 6 kg de areia e 1,5 litros de água, após rodar o traço retira-se o excesso.

Para realizar o concreto que será utilizado em análise, a produção do concreto seguiu os seguintes passos: Adicionar brita + 80% da água + cimento + areia + restante da água, devendo ser observado um tempo para cada adição de material.

O concreto utilizado para cada traço ensaiado nos corpos de prova utilizou as massas mostradas no quadro 3 para cada traço.

Quadro 3: Consumo de materiais para cada traço de ensaio

<b>Materiais</b>	<b>Convencional</b>	<b>RCD 100%</b>	<b>50% convencional 50%RCD</b>
Cimento	6 Kg	6 Kg	6 Kg
Areia	14,430 Kg	14,430 Kg	14,430 Kg
Brita	18,830 Kg	18,830 Kg	9,415 Kg convencional / 9,415 Kg RCD
Água	2,820 litros	2,820 litros	2,820 litros

Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

No concreto que possui 100% de resíduos de construção e demolição, utilizou-se 1,320 litros de água a mais devido a sua absorção de água, e no concreto com 50% de RCD utilizou no traço 0,660 litros de água, correspondendo a metade dos resíduos utilizados.

Antes de colocar o concreto feito nos corpos de prova, os moldes devem estar limpos e em perfeito estado, deve-se umedece-los internamente com uma camada de óleo mineral, para facilitar na hora de desenformar.

O abatimento do concreto é um ponto de grande relevância quanto se trata em corpos de prova, para se realizar este ensaio o molde deve estar molhado e também a placa de base, deve-se colocar um pouco do concreto feito dentro do molde de acordo com a ABNT NBR NM 67:1998 que trata da determinação de consistência, fazendo três camadas de concreto, sendo cada uma delas um terço do seu tamanho.

Utilizar uma haste para realizar o ensaio onde é feito uma compactação com 25 golpes em cada camada, em seguida deve-se levantar este molde no sentido vertical, e medir o abatimento do concreto, figura 8, com auxílio de uma régua que será a diferença de altura do molde e o concreto, ainda conforme a norma citada anteriormente.

Figura 8: Ensaio de abatimento do concreto



Fonte: Acervo dos autores (2018)

Segundo Ângulo (2005) o uso de RCD no concreto, influência nas condições de mistura e na trabalhabilidade do concreto, interferem nas características do mesmo, o abatimento do concreto com uso de resíduos na forma de agregados pode ser menor que o com uso de agregados naturais.

Realizado o abatimento, o concreto é colocado em moldes cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, antes colocar o concreto dentro dos moldes, deve-se fazer uma prévia mistura da amostra, buscando garantir a uniformidade, colocando o concreto por camadas, com auxílio de uma concha em U, de acordo com a ABNT NBR 5738:2016. Corpos de provas moldados em cura inicial na figura 9.

Figura 9: Corpos de prova cilíndricos



Fonte: Acervo dos autores (2018)

Conforme a norma citada anteriormente, os corpos de provas após ser moldados, deve ser colocado em uma superfície plana, onde não tenha vibrações, durante as 24 horas iniciais quando se trata de corpo de prova cilíndricos. Após a confecção do corpo de prova cilíndrico, deve ser desmoldado após 24 horas, a partir do momento da moldagem do mesmo, em seguida identificar cada amostra e colocá-los em um tanque para sua cura.

Após desmoldados os corpos de prova são conservados na mesma temperatura ou em água saturada com cal até a idade de realização dos ensaios, fornecendo então a resistência do concreto (NEVILLE 2013).

#### 3.3.4 Resistência à compressão do concreto

O ensaio de compressão axial com corpo de prova, são rompidos através de uma idade especificada, a idade do concreto é determinada a partir do momento que é colocado na água, conforme a ABNT NBR 5739:2018.

Devem estar com suas faces limpas e planas, para depois serem colocados na posição de ensaio, devendo ser centralizado de acordo com as marcas de referências da máquina. Após a colocar o corpo de prova, inicia se o ensaio até a ruptura, figura 10.

Figura 10: Ensaio de resistência a compressão do concreto



Fonte: Acervo dos autores (2018)

Após submeter o corpo de prova aos ensaios de compressão pode-se analisar os dados utilizando a equação abaixo, para análise segundo a ABNT NBR 5739:2018, sendo a prensa utilizada no laboratório de materiais de construção da rede Doctum executada manualmente em movimentos contínuos, e os valores adquiridos em toneladas força (Tf).

$$F_c = \frac{4 * F}{\pi * d^2} \quad (3)$$

Onde:

F<sub>c</sub> = resistência à compressão, em (MPa)

F = força máxima, em (N)

d = diâmetro do corpo-de-prova, em (mm)

O ensaio de resistência a compressão axial, utilizou-se 6 corpos de provas com dimensões 10cm x 20cm, sendo ensaiados 3 aos 7 dias e 3 aos 14 dias.

### 3.3.5 Resistência à tração por compressão diametral

Para análise da resistência a tração do concreto foi utilizado a compressão diametral, através de corpos de provas cilíndricos com dimensões, 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. O ensaio foi realizado na rede de ensino Doctum de Caratinga, através de prensa no laboratório de materiais, sendo realizado conforme a ABNT NBR 7222:2011.

Para o ensaio utilizou-se tiras de chapa dura de fibras de madeira, de comprimento igual ao corpo de prova, após ajustado o corpo de prova na máquina aplicou-se uma carga até a sua ruptura, figura 11.

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral, utilizou-se 12 corpos de provas com dimensões 10 cm x 20 cm, sendo ensaiados 6 aos 7 dias e 6 aos 14 dias, antes no entanto extraído de todos os corpos de prova dimensões de diâmetro ( em 3 sentidos, para se ter diâmetro médio), comprimento, número da amostra e variação de agregado utilizado no traço.

Figura 11: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Acervo dos autores (2018)

Após submeter os corpos de prova aos ensaios de resistência à tração por compressão diametral utiliza-se a equação abaixo para análise dos resultados segundo a ABNT NBR NM 7222:2011.

$$f_{t,D} = \frac{2*f}{\pi*d*L} \quad (4)$$

Onde:

$F_{t,D}$  = resistência à tração por compressão diametral, expressa em MPa, com aproximação de 0,05 MPa;

$F$  = carga máxima obtida no ensaio (KN);

$d$  = diâmetro do corpo-de-prova (mm);

$L$  = altura do corpo-de-prova (mm).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados atingidos pelos ensaios realizados com RCD como agregados reciclados graúdo, tem o objetivo de verificar sua possibilidade de utilização no traço do concreto, comparando com os agregados convencionais.

### 4.1 Análise Granulométrica

O ensaio para determinar a dimensão máxima características e a sua análise granulométrica, foi feito com o RCD obtido na cidade de Vargem Alegre, Minas Gerais. Inicialmente foi realizado os ensaios com o agregado reciclado e convencional.

A granulometria foi feita conforme os resultados atingidos no ensaio de peneiramento, com duas amostras de 5 kg cada, que pode ser observado no quadro 4 os dados obtidos no ensaio de granulometria com agregados reciclados.

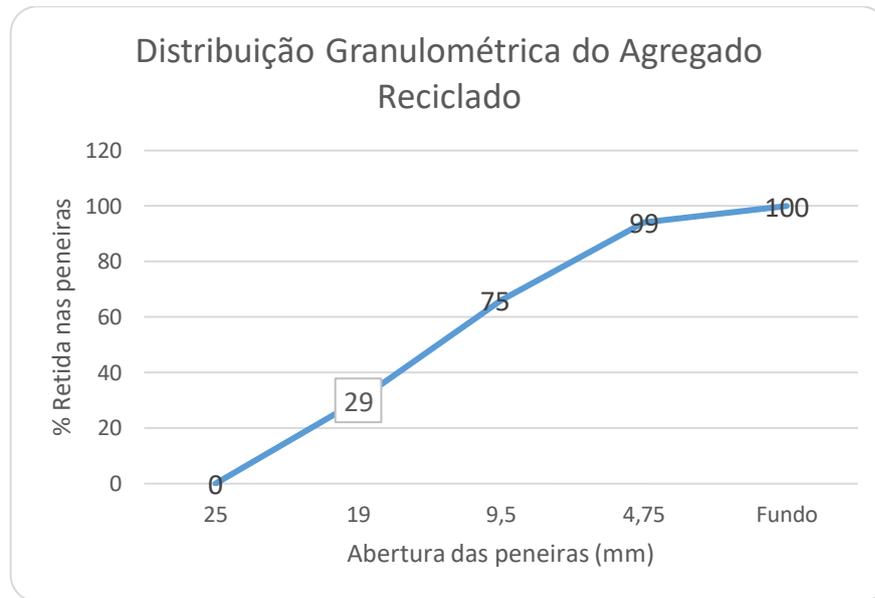
Quadro 4: Granulometria da brita RCD

<b>Determinação Granulométrica do Agregado Reciclado</b>						
	<b>Amostra 1</b>		<b>Amostra 2</b>			
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Peso Retido (g)</b>	<b>% Retida</b>	<b>Peso Retido (g)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida Média</b>	<b>% Retida Acumulada</b>
<b>25</b>	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0
<b>19</b>	1934,85	38,7	961,04	19,2	29	29
<b>9,5</b>	1993,87	39,9	2595,73	51,9	46	75
<b>4,75</b>	1040,63	20,8	1387,53	27,7	24	99
<b>Fundo</b>	31,4	0,6	55,87	1,1	1	100
<b>Total</b>	5000,75	100,0	5000,17	100,0	100	*

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

A figura 12 apresenta a curva granulométrica do agregado reciclado ensaiado, seguindo a norma ABNT NBR NM 248:2003, que se baseia na dimensão máxima característica do agregado. Foi utilizado 5 kg por amostra analisada.

Figura 12: Curva granulométrica agregado reciclado



Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Analisa-se também a granulometria dos agregados convencionais, observado no quadro 5, tendo em vista que será utilizado parcialmente no concreto a ser analisado.

Quadro 5: Granulometria do agregado convencional

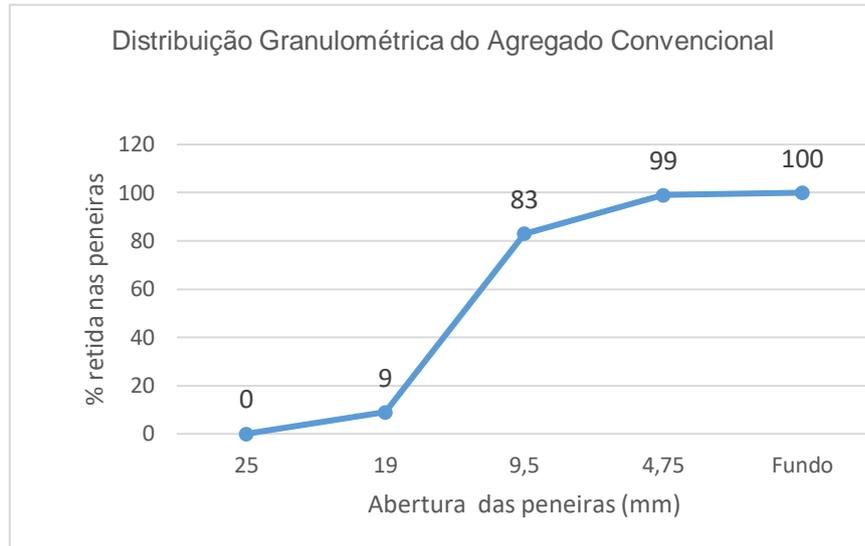
Determinação Granulométrica da Agregado Convencional						
Peneiras (mm)	Amostra 1		Amostra 2		% Retida Média	% Retida Acumulada
	Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida		
25	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0
19	426,3	8,5	452,8	9,1	9	9
9,5	3662,66	73,3	3770,19	75,4	74	83
4,75	876,35	17,5	741,61	14,8	16	99
Fundo	34,7	0,7	35,83	0,7	1	100
<b>Total</b>	5000,01	100,0	5000,43	100,0	100	*

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Segundo Nogueira (2013) feito o ensaio, determinar a dimensão máxima do agregado, conforme a abertura da peneira, e fazer a separação granulométrica do agregado. No entanto a dimensão máxima do agregado reciclado ensaiado é de 25,0mm. Foi feito o mesmo ensaio com o agregado convencional, sendo representado

na figura 13. A quantidade do material ensaiado é determinada pela ABNT NBR NM 248:2003, foi de 5000 g.

Figura 13: Curva granulométrica agregado convencional



Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Realizou-se o mesmo ensaio de granulometria com a areia utilizada no concreto ensaiado, com amostras de 250 gramas cada, obtendo os valores que se encontra no quadro 6.

Quadro 6: Granulometria da areia

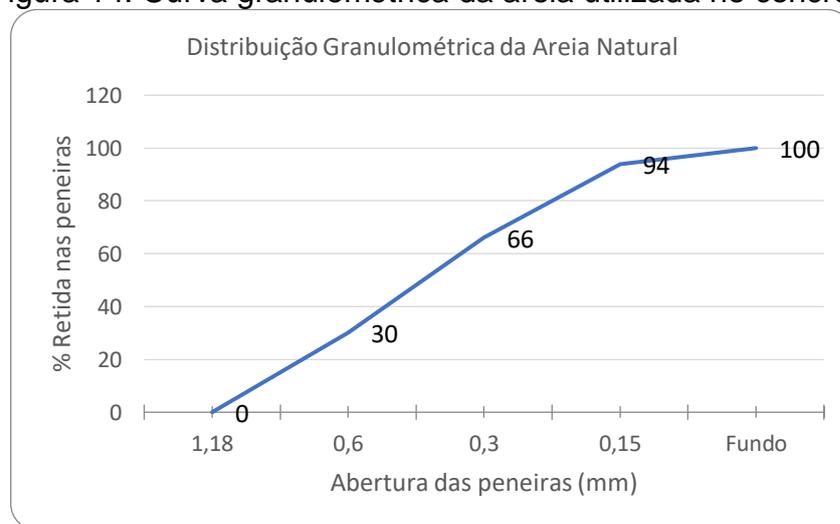
Determinação Granulométrica da Areia						
Peneiras (mm)	Amostra 1		Amostra 2		% Retida Média	% Retida Acumulada
	Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida		
1,18	0,90	0,4	0,94	0,4	0	0
0,6	72,06	28,8	76,89	30,9	30	30
0,3	91,10	36,4	90,72	36,4	36	66
0,15	71,00	28,4	66,42	26,7	28	94
Fundo	15,22	6,1	14,03	5,6	6	100
Total	250,28	100,0	249,00	100,0	100	*
MF	1,90					

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

O módulo de finura (MF), é determinado a partir da análise granulométrica, é a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal e dividida por 100, é calculado preferencialmente para agregados miúdos, sendo fundamental para detectar variações pequenas em agregados de mesma origem, que afetam na trabalhabilidade do concreto (NEVILLE 2013).

Conforme os dados obtidos através do peneiramento são possíveis obter a curva granulométrica da areia, podendo ser analisada através da figura 14.

Figura 14: Curva granulométrica da areia utilizada no concreto



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

## 4.2 Absorção de água

A absorção de água tem uma menor relevância para o agregado natural, pois não absorve muita quantidade de água, para o agregado reciclado graúdo, este ensaio é importante, devido a sua alta porosidade quando se comparado ao convencional, absorvendo uma maior quantidade de água.

A porosidade proporciona uma maior absorção de água, influenciando assim nas características do concreto, como na trabalhabilidade, e interferindo na resistência do mesmo. Quando se trata a concreto com agregado reciclado, este ensaio é de suma importância, para garantir assim as propriedades do concreto.

Para análise da absorção de umidade utilizou-se 5 kg de amostra de agregados reciclados e convencional, obtendo os seguintes resultados de absorção de água, ABNT NBR NM 53:2009.

- Agregado convencional: 2,09%
- Agregado Reciclado: 9,54%

Segundo Ângulo (2005) os agregados que apresenta uma maior absorção de água, também apresentam uma massa específica com valores relativamente menores do que os agregados com menores taxa de absorção de água.

A baixa taxa de absorção de água é importante para um concreto com maior durabilidade até mesmo quando expostos a ambientes agressivos, os valores de absorção de água podem ser reduzidos com a baixa relação de água/cimento, aumentando o tempo de cura e o grau de consolidação. (MEHTA e MONTEIRO 2014).

### 4.3 Resistência à compressão do concreto

Segundo Ângulo (2005) a resistência do concreto com agregado reciclado será sempre menor que a do convencional, podendo ser aumentada pela relação água/cimento, diminuindo a porosidade da pasta.

Compressão é um esforço axial exercido que provoca um esmagamento ou encurtamento do corpo de prova até o rompimento. Quando se refere a corpos de prova é importante produzi-los com dimensões padronizadas e submetê-los a uma força axial uniforme em toda a sua área.

Os corpos de prova, foi rompido à compressão em uma idade de 7 e 14 dias, que é determinado a partir da hora de moldagem. Devem ser moldados observando as exigências da ABNT NBR 5738:2016.

Após todos os procedimentos necessários realiza-se o ensaio de compressão axial até o rompimento do corpo de prova, conforme a figura 15.

Figura 15: Ensaio de compressão axial



Fonte: Acervo dos autores (2018).

Após submeter o corpo de prova aos ensaios de compressão pode-se analisar os dados que foram calculados de acordo com a equação de resistência à compressão.

Resultados obtidos com corpos-de-prova, submetido ao ensaio de compressão na idade de 7 dias mostrados no quadro 7, onde utilizando o concreto convencional como sendo o de referência, analisou que houve uma redução de 19% e 36% na resistência à compressão para os concretos de variação 50% e 100% respectivamente.

Quadro 7: Resultados de compressão axial aos 7 dias

Dados	Convencional	100% reciclado	50% reciclado 50% convencional
<b>d<sub>1</sub>(mm)</b>	99,5	99,0	101,0
<b>d<sub>2</sub>(mm)</b>	99,5	99,0	100,5
<b>d<sub>3</sub>(mm)</b>	100	99,5	100,5
<b>d<sub>med</sub>(mm)</b>	99,67	99,17	100,67
<b>F(N)</b>	81493,26	51582,98	67371,69
<b>Fc (MPa)</b>	10,44	6,68	8,46

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Resultados obtidos com corpos-de-prova, submetido ao ensaio de compressão axial na idade de 14 dias no quadro 8 a seguir, sendo que para a idade de 14 dias a redução na resistência teve um decréscimo, contabilizando 4% e 19% para os traços de variação 50% e 100% respectivamente.

Quadro 8: Resultados de compressão axial aos 14 dias

Dados	Convencional	100% reciclado	50% reciclado 50% convencional
<b>d<sub>1</sub>(mm)</b>	99,5	100,05	100,0
<b>d<sub>2</sub>(mm)</b>	100,0	99,0	100,0
<b>d<sub>3</sub>(mm)</b>	100,0	99,5	100,0
<b>d<sub>med</sub>(mm)</b>	99,83	99,52	100,0
<b>F(N)</b>	114933,94	93163,18	110717,08
<b>Fc (MPa)</b>	14,68	11,98	14,1

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Segundo Vieira (2003), pode-se observar que a resistência a compressão diminui ao substituir uma quantidade maior que 50% de agregados naturais graúdo, pelo agregado reciclado. Observou-se também que se a relação água cimento for elevada e se houver uma grande proporção de agregados reciclados, menor a resistência do concreto.

Os principais fatores que influenciam na resistência são a relação água/cimento, grau de adensamento, a idade e temperatura, como também o fator agregado/cimento a qualidade do agregado, a sua forma e textura, a dimensão máxima e a zona de transição. (NEVILLE 2013).

#### 4.4 Resistência à tração por compressão diametral

Neste ensaio deve-se colocar o corpo de prova de forma que o plano axial definido, receba o carregamento de forma que coincida com o eixo de aplicação da carga, aplica-se uma força até o seu rompimento conforme a figura 16.

Figura 16: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Acervo dos autores (2018)

Após realizar os ensaios pode-se analisar os dados, que foram calculados seguindo a equação de resistência a tração por compressão diametral, sendo o corpo de prova ensaiado em uma idade de 7 dias.

Os resultados alcançados de tração na compressão diametral, foi feito uma média dos diâmetros em milímetros, e foi encontrado os valores de resistência à tração por compressão diametral, expressa em MPa, com aproximação de 0,05 MPa,

para cada amostra ensaiada, onde obteve-se uma média de 1,64 MPa para o concreto convencional ensaiado na idade de 7 dias, observado no quadro 9.

Quadro 92: Tração - Concreto com agregado convencional em 7 dias

Dados	Amostra 1	Amostra 2
$d_1$ (mm)	100,9	99,8
$d_2$ (mm)	99,8	99,8
$d_3$ (mm)	100	99,9
$d_{med}$ (mm)	100,23	99,83
L (mm)	200,5	200
F (N)	49915,85	53250,11
$F_{t,D}$ (MPa)	1,58	1,70

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

O concreto com utilização de 100% de agregado RCD, na idade de 7 dias foi encontrado uma média de 1,24 MPa nos corpos de prova ensaiados para à tração na compressão diametral, o valor encontrado em laboratório pode ser observado no quadro 10.

Quadro 10: Tração - Concreto com agregado reciclado em 7 dias

Dados	Amostra 1	Amostra 2
$d_1$ (mm)	99	100
$d_2$ (mm)	99,5	99,5
$d_3$ (mm)	100,5	100,5
$d_{med}$ (mm)	99,67	100
L (mm)	199,5	199,5
F (N)	39422,73	38088,47
$F_{t,D}$ (MPa)	1,26	1,22

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

Corpos de prova com 50% agregado reciclado e 50% agregado convencional obteve uma média de 1,35 MPa, ensaiados na idade de 7 dias, os dados podem ser observados no quadro 11.

Quadro 11: Tração - Concreto com 50% convencional e 50% reciclado em 7 dias

Dados	Amostra 1	Amostra 2
$d_1$ (mm)	100	101,5
$d_2$ (mm)	99,0	100
$d_3$ (mm)	99,5	100
$d_{med}$ (mm)	99,5	100,5
L (mm)	200	201
F (N)	44227,99	40599,53
$F_{t,D}$ (MPa)	1,41	1,28

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

Para o ensaio de tração na compressão diametral foi encontrado um decréscimo na resistência, também em função do agregado convencional como referência de comparação, sendo que para o ensaio na idade de 7 dias, foi analisado uma perda de resistência de 24% e 18%, para os ensaios com 100% e 50% de agregados reciclados respectivamente.

Foi realizado também o ensaio nos corpos de provas de resistência à tração por compressão diametral na idade de 14 dias, seguindo os parâmetros determinados na ABNT NBR 7222:2011, podendo ser observados nos quadros a seguir.

O concreto convencional ensaiado na resistência a tração por compressão diametral obteve uma média de 2,12 Mpa para as duas amostras ensaiadas em laboratório, conforme apresentado no quadro 12.

Quadro 32: Tração - Concreto com agregado convencional em 14 dias

Dados	Amostra 1	Amostra 2
<b>d<sub>1</sub> (mm)</b>	100,05	100
<b>d<sub>2</sub> (mm)</b>	100,05	100,05
<b>d<sub>3</sub> (mm)</b>	100,02	100,1
<b>d<sub>med</sub> (mm)</b>	100,04	100,05
<b>L (mm)</b>	198	199,5
<b>F (N)</b>	56290,17	76197,67
<b>F<sub>t,D</sub> (MPa)</b>	1,81	2,43

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

O concreto com 100% de agregado RCD, com idade de 14 dias obteve uma média de 1,53 MPa no corpo de prova ensaiado para à tração na compressão diametral, quadro 13.

Quadro 43: Tração - Concreto com agregado reciclado em 14 dias

Dados	Amostra 1	Amostra 2
<b>d<sub>1</sub> (mm)</b>	100	100
<b>d<sub>2</sub> (mm)</b>	100,05	99,5
<b>d<sub>3</sub> (mm)</b>	99,5	100,08
<b>d<sub>med</sub> (mm)</b>	99,85	99,86
<b>L (mm)</b>	200	200,1
<b>F (N)</b>	43345,39	52955,91
<b>F<sub>t,D</sub> (MPa)</b>	1,38	1,69

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

O concreto ensaiado com corpos de provas utilizando 50% RCD e 50% agregados convencionais ensaiados em laboratórios na idade de 14 dias obtiveram

uma média de 1,74 MPa, os valores podem ser observados no quadro 14, obtendo um valor maior que o encontrado no corpo de prova que foi utilizado agregado RCD na sua totalidade.

Quadro 54: Tração - Concreto com 50% convencional e 50% reciclado em 14 dias

<b>Dados</b>	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>
<b>d<sub>1</sub> (mm)</b>	101	100,05
<b>d<sub>2</sub> (mm)</b>	100	100,05
<b>d<sub>3</sub> (mm)</b>	101	100
<b>d<sub>med</sub> (mm)</b>	100,67	100,33
<b>L (mm)</b>	200	199
<b>F (N)</b>	47268,05	62566,43
<b>F<sub>t,D</sub> (MPa)</b>	1,49	1,99

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

Analisando os dados das resistências à tração na compressão diametral, viu que este também ocorre um decréscimo de resistência, onde para o ensaio de 7 dias teve uma baixa de 24% e 18% , para as variações de 100% e 50% de agregado RCD respectivamente, e para o ensaio em 14 dias, teve uma perda de resistência de 28% e 18%, para as variações de 100% e 50% respectivamente. Com base nesses dados e nos dados do ensaio a compressão observa-se que o agregado reciclado influencia nas propriedades do concreto, principalmente na compressão, onde foi encontrado as maiores perdas de resistência, e pode ser explicado pela alta porosidade dos agregados, uma vez que essa é de grande importância para a resistência à compressão.

## 5 CONCLUSÃO

Diariamente é gerado grandes quantidades de resíduos na construção civil, e na maioria das vezes são descartados de forma errada, tendo em vista este problema buscou-se neste trabalho propor a reutilização desses materiais como matéria prima em concreto reciclado, analisando a influência dos agregados reciclados na resistência à compressão e na resistência à tração por compressão diametral.

A utilização destes materiais na confecção de concreto, é de grande importância para uma construção civil sustentável, desde que os requisitos técnicos sejam atendidos, buscando reaproveitar os resíduos que geralmente são descartados de forma errada.

Buscou-se avaliar a substituição total e parcial do agregado gráúdo natural por agregado gráúdo reciclado de concreto, utilizando teores de 100% e 50% com a trabalhabilidade sendo determinada pelo abatimento.

Para se ter um concreto com uma qualidade e durabilidade, faz-se necessário um rigoroso controle de qualidade quando for utilizar RCD na fabricação, tendo em vista que sua resistência é inferior ao concreto convencional, mesmo quando utilizado apenas parcialmente ou seja 50% agregado reciclado e os outros 50% convencional, tendo em vista que o agregado RCD é um material que foi exposto a intemperes e condições de uso.

Nos resultados analisados, observa-se que para o corpo de prova que foram submetidos aos ensaios quanto maior for a porcentagem de RCD colocada no concreto, menor a sua resistência. Tendo em vista que o concreto que foi utilizado os resíduos de construção com 100% do agregado, obteve menor resistência na compressão quanto na tração quando comparado aos utilizados em menor escala, o de 50% obteve uma resistência superior ao com 100% de substituição do agregado, mas em relação ao concreto com agregado convencional também teve uma redução nas suas resistências.

Dessa maneira pode-se observar que o controle de qualidade do concreto com agregado reciclado deve ser fundamental pois ele possui alta porosidade e absorção de água, é um material que já esteve em uso.

Cabe destacar que os resultados obtidos no presente estudo não podem ser generalizados para todos os casos de uso de agregados RCD. Onde há uma grande variabilidade de tipos de resíduos de construção e demolição, com características

diferentes. Além disso, a amostragem realizada é relativamente pequena, o que limitou o trabalho a uma abordagem qualitativa.

Fica como sugestão, para trabalhos futuros a realização de comparações explorando-se também diferentes traços para o concreto e uma amostragem robusta, de modo a poder correlacionar o quanto a variação da proporção de agregado RCD diminui a resistência à compressão e a resistência à tração e a abordagem de custos para o uso do RCD.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. 2005. 167p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-18112005-155825/en.php>>. Acesso em 11 de agosto de 2018.

ÂNGULO, S.C.; FIGUEIREDO, A.D. **Concreto com agregados reciclados**. In: ISAIA, G.C. Concreto: ciência e tecnologia. Volume II. São Paulo: IBRACON, 2011.1731-1768.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. 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 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12607: Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

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

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, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2011.

BOGGIO, A. J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento portland**. Porto Alegre, 2000.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. 280p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-21102007-164548/en.php>> Acesso em 11 de agosto de 2018.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. 129 p. Dissertação - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307**. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>> Acesso em 12 de outubro de 2018.

DAMINELI, B. **Estudo de métodos para caracterização de propriedades físicas de agregados graúdos de resíduo de construção e demolição reciclados**. 125p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São

Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-09012008-120538/en.php>> Acesso 12 de agosto de 2018.

FARIAS, L.A. et al. – **Relação entre os Parâmetros de Resistência do Concreto** – 45º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON – Vitória-ES, 2003.

GONÇALVES, R.D.C. **Agregados Reciclados de Resíduos de Concreto – um novo material para dosagens estruturais**. 148p. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

Disponível em:

<[http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2001ME\\_RodrigoDantasCasilloGoncalves.pdf](http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2001ME_RodrigoDantasCasilloGoncalves.pdf)> Acesso em 25 de agosto de 2018.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia - Engenharia de Materiais. 1ª edição**. São Paulo: Ibracon, 2011.

JACOBI, P.R; BESEN, G.R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estud. Av, São Paulo, vol.25, n.71, p.135-158, janeiro/abril de 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v25n71/10>. Acesso em 06 de setembro de 2018.

LEITE, M. B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21839/000292768.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 13 set.2018.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 208p. Tese - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001. Disponível em: <[www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Tese\\_Salomon\\_Mony\\_Levy.pdf](http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Tese_Salomon_Mony_Levy.pdf)> Acesso em 13 set.2018

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. 189p. São Paulo, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.; Edição de HASPARYK, N. P. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2ª edição. São Paulo: IBRACON, 2014. 782p.

MISTÉRIO DOS TRANSPORTES, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentos Rígidos**. 238p, 2ª edição. Rio de Janeiro, 2005.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tradução de CREMONINI, R. A. **Tecnologia do**

**Concreto**. 2ª edição, 448p. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 5ª ed. São Paulo: Bookman, 2016. 828p. Disponível em:

<<https://books.google.com.br/books?id=dYOPCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=propriedades+do+concreto&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKewj4lu7d-XeAhWFk5AKHSNJBLQQuwUILDAA#v=onepage&q=propriedades%20do%20concreto&f=false>> Acesso em 20 out.2018.

NOGUEIRA, L. G. S. **Uso de RCD na confecção de um concreto sustentável**. 118p. UniCEUB, Centro Universitário de Brasília. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/handle/235/6363>> Acesso em 26 de agosto de 2018.

PAULON, V.; KIRCHHEIM, A. P. **Nanoestrutura e Microestrutura do Concreto Endurecido**. In: ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. Volume I. São Paulo: IBRACON, 2011. 585-614.

PEREIRA, Caio. **Cimento: Características e especificações**. Engenharia Civil, 2013. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-cimento/> Acesso em 21 de novembro de 2018

SANTOS, A.; PINTO, T. C. N. **Contaminação do ar em usinas de reciclagem brasileiras e aspectos de saúde**. In: *RCD como material de construção*. Apresentação: USP, IPT. São Paulo. 2008

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. 2007. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/385>. Acesso em 18 de setembro de 2018.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2003. 151p. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/4062>. Acesso em 20 de setembro de 2018.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. 1997. 140p. Tese - Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas, 1997. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258458>. Acesso em 25 de setembro de 2018.