

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ARTHUR BERNARDO OLIVEIRA BALTAR**

**ELIAS ALVES DA SILVA**

**UTILIZAÇÃO DO CONCRETO RECICLADO COMO  
AGREGADO GRAÚDO**

**ANÁPOLIS / GO  
2019**

**ARTHUR BERNARDO OLIVEIRA BALTAR**  
**ELIAS ALVES DA SILVA**

**UTILIZAÇÃO DO CONCRETO RECICLADO COMO**  
**AGREGADO GRAÚDO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: WELINTON ROSA DA SILVA**

**ANÁPOLIS / GO: 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, ELIAS ALVES / BALTAR, ARTHUR BERNARDO DE OLIVEIRA

Utilização do concreto reciclado como agregado graúdo

57P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto Reciclável	2. Resíduos de construção
3. Resistência	4. Agregado Graúdo
I. ENC/UNI	II. Bacharel (10º)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Elias Alves, BALTAR, Arthur Bernardo de Oliveira. Utilização do concreto reciclado como agregado graúdo. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 57p. 2019

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Elias Alves da Silva

Arthur Bernardo de Oliveira Baltar

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Uso do concreto reciclado como agregado graúdo

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

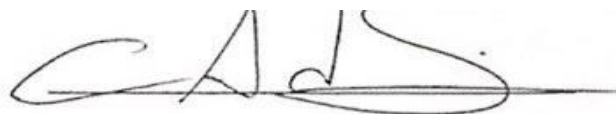
ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Arthur Bernardo de Oliveira Baltar

E-mail: arthurbal@hotmail.com



Elias Alves da Silva

E-mail: eliasalves\_68@outlook.com

**ARTHUR BERNARDO OLIVEIRA BALTAR**  
**ELIAS ALVES DA SILVA**

**UTILIZAÇÃO DO CONCRETO RECICLADO COMO**  
**AGREGADO GRAÚDO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE**  
**ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS**  
**NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**



**WELITON ROSA DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)**  
**(ORIENTADOR)**



**THIAGO DE LIMA BENTO PERREIRA, Mestre (UniEvangélica)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**



**CARLOS EDUARDO FERNANDES, Especialista (UniEvangélica)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO,03 de Dezembro de 2019.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado graças para superar as adversidades. Aos professores pela orientação e confiança. Ao meu orientador pelo empenho dedicado a elaboração desse trabalho. Ao meu parceiro de trabalho. A minha família pelo incentivo e apoio incondicional.

Elias Alves da Silva

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pelo dom da vida. Aos meus Pais por todo apoio e educação que tenho recebido. A todos professores e colaboradores da UniEvangélica, e não menos especial ao meu parceiro de trabalho e a nosso querido orientador.

Arthur Bernardo de Oliveira Baltar

## RESUMO

Com a alta da discussão sobre a sustentabilidade no campo da engenharia e sabendo que o cimento é um dos materiais mais consumidos no mundo e que sua produção gera uma grande emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, sabendo também que o processo de produção, exploração e mineração dos agregados naturais, gera um considerável impacto ambiental. Faz se necessário a busca por soluções sustentáveis na utilização do concreto. O estudo visou mostrar a viabilidade técnica do uso de resíduos de construção civil como agregado graúdo na produção de concreto. Para comprovar a viabilidade da substituição foram elaborados três traços experimentais com substituição do agregado natural pelo agregado reciclado composto por resíduos de construção, nas porcentagens de 50% e 100% e um traço de referência com 100% de agregado natural. Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial, com corpos de provas rompidos com idades de 7, 28 dias, sendo doze corpos de prova para cada teor de mistura e para o traço de referência, sendo que foram rompidos quatro corpos por idade. Foi determinado também a consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone, conhecido como *Slump Test*, no qual foi definido que o concreto obtivesse consistência medianamente plástica, adotando então o valor de abatimento do tronco de cone de 40±10mm. No ensaio de resistência à compressão axial o traço de concreto com 100% de agregado graúdo reciclado, rompido aos 28 dias obteve um valor de resistência de 15,48 Mpa, já o traço de referência contendo agregado graúdo natural obteve valor de resistência de 21,5 Mpa, entendendo-se que em idades mais avançadas o concreto com agregado graúdo reciclado se mostra com resistência inferior ao concreto com agregado graúdo natural. Diante dos resultados obtidos entende-se que a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado afeta a resistência do concreto, os resultados mostram uma resistência inferior a 17MPa, tornando assim viável apenas a substituição total ao parcial do agregado natural pelo agregado reciclado em todos os teores de mistura quando o concreto não solicitar resistências acima de 17Mpa.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Concreto reciclável. Resíduos de construção. Resistencia. Agregado graúdo, Construção sustentável

## ABSTRACT

With the discussion about sustainability in the field of engineering high and knowing that cement is one of the most consumed materials in the world and that its production generates a great emission of CO<sub>2</sub> in the atmosphere, also knowing that the process of production, exploration and mining of the natural aggregates generates a considerable environmental impact. It is necessary to search for sustainable solutions in the use of concrete. The study aimed to show the technical feasibility of using construction waste as a coarse aggregate in concrete production. To prove the viability of the substitution, three experimental traits were elaborated with substitution of the natural aggregate by the recycled aggregate composed of construction residues, in the percentages of 50% and 100% and a reference trace with 100% of natural aggregate. Axial compressive strength tests were performed with ruptured specimens aged 7, 28 days, with twelve specimens for each mixture content and for the reference trait, and four specimens were ruptured by age. The concrete consistency was also determined by the tapering of the cone trunk, known as the Slump Test, in which it was defined that the concrete has a medium plastic consistency, giving the tapering value of  $40 \pm 10$ mm. In the axial compressive strength test the concrete trace with 100% recycled coarse aggregate, broken at 28 days obtained a resistance value of 15.48 Mpa, while the reference trace containing natural coarse aggregate obtained a resistance value of 21, 5 Mpa, it is understood that at older ages recycled coarse concrete shows lower strength than natural coarse concrete. From the results obtained it is understood that the substitution of the natural coarse aggregate by the recycled coarse aggregate affects the strength of the concrete, the results show a resistance of less than 17MPa, making viable only the total partial replacement of the natural aggregate by the recycled aggregate in all. Mixing contents when concrete does not require resistances above 17Mpa

### KEYWORDS:

Recyclable concrete. Construction waste. Resistance. Coarse Aggregate, Sustainable Building



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Relação entre a resistência à compressão e o volume de agregado para concretos com a/c constante e igual a 0,5 .....	21
Figura 2 - Unidade recicladora de concreto fresco .....	30
Figura 3 - Equipamento utilizado para a reciclagem do concreto fresco .....	30
Figura 4 - Vista em corte do britador de mandíbula.....	31
Figura 5 - Vista em corte britador cônico.....	32
Figura 6 - Embalagem de cimento Portland CII E 32 .....	36
Figura 7: Aspecto do agregado miúdo.....	37
Figura 8: Jogo de peneiras NBR NM-ISO 3110-1 (ABNT,2010).....	37
Figura 9: Aspecto do agregado graúdo natural.....	39
Figura 10: Jogo de peneiras NBR NM-ISO 3110-1 (ABNT,2010).....	40
Figura 11: Pesagem do agregado graúdo.....	40
Figura 12: Planta de moagem da RNV Resíduos .....	41
Figura 13: Aspecto do agregado graúdo reciclado .....	42
Figura 14: Jogo de peneiras NBR NM-ISO 3110-1 (ABNT,2010).....	42
Figura 15: Curva de Abrams .....	44
Figura 16: <i>Slump Test</i> .....	47
Figura 17 – Realização do ensaio de resistência a compressão axial.....	49
Figura 18: Corpos de prova já rompidos .....	49
Figura 19: Gráfico resistência (Mpa) x Idade (Dias).....	50

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de cimento e suas composições .....	20
Quadro 2 - Divisão das britas de acordo com o tamanho das partículas .....	23
Quadro 3: Idade de rompimento dos CP's.....	35
Quadro 4: Composição granulométrica – agregado miúdo .....	38
Quadro 5 : Composição granulométrica – AGN .....	40
Quadro 6: Composição granulométrica – AGR .....	42
Quadro 7: Consumo de materiais por traço de concreto .....	46
Quadro 8 : Consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone .....	47

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Classificação dos agregados miúdos .....	22
Tabela 2 - Consumo de Brita no Brasil (2007).....	24
Tabela 3 - Principais Estados Produtores do Brasil (2007).....	24
Tabela 4 - Quantidade de RCD coletado pelas SLP em 2010 .....	27
Tabela 5 – Quantidade de RCD coletados pelo SLP entre 2007 e 2010 .....	27
Tabela 6 - Porcentagens de RCC em relação aos RSU nos principais municípios paulistas ...	27
Tabela 7 - Avaliação da eficiência do plano de gestão de resíduos em uma obra.....	28
Tabela 8: Características físicas do agregado miúdo.....	38
Tabela 9: Características físicas do agregado graúdo natural.....	41
Tabela 10: Características físicas do agregado graúdo reciclado .....	43
Tabela 11: Consumo aproximado de água .....	44
Tabela 12: Volume de agregado graúdo compactado por m <sup>3</sup> de concreto .....	44
Tabela 13 : Valores para <i>Slump Test</i> .....	47
Tabela 14: Resultado da Resistencia a compressão axial.....	50

### LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

a/c	Fator Água Cimento
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos
AGN	Agregado Graúdo Natural
AGR	Agregado Graúdo Reciclado
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil
ARC	Agregado de Resíduo de Concreto
ARM	Agregado de Resíduo Misto
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de Prova
CT-UNI	Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
Fck	Resistência Característica do Concreto a Compressão
Kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico
m <sup>2</sup>	Metro Quadrado
m <sup>3</sup>	Metro Cúbico
MF	Módulo de finura
MME	Ministério De Minas e Energia
Mpa	Megapascals
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
RSC	Resíduos Sólidos de Construção
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SLP	Serviço de Limpeza Pública
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
TCR100	Traço Composto por 100% de Agregado Graúdo Reciclado
TCR50	Traço Composto por 30% de Agregado Graúdo Reciclado
Ton	Tonelada
TR	Traço de referência

**LISTA DE FORMULAS**

Formula 1: Cálculo do Consumo de Cimento.....	45
Formula 2: Cálculo do Consumo de Agregado Graúdo .....	45
Formula 3: Cálculo do Volume de Agregado Miúdo .....	45
Formula 4: Cálculo do Consumo de Agregado Miúdo .....	46
Formula 5: Cálculo do Traço de Concreto .....	46

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 OBJETIVOS .....	16
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>16</b>
1.3 METODOLOGIA .....	17
<b>1.3.1 Pesquisa experimental.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.2 Procedimento experimental.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.3 Materiais utilizados .....</b>	<b>18</b>
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
<b>2 CONCRETO COM AGREGADO GRAÚDO RECICLADO.....</b>	<b>19</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	19
2.2 CIMENTO PORTLAND .....	19
2.3 AGREGADOS MINERAIS .....	20
<b>2.3.1 Agregados miúdos .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2 Agregados graúdos .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.3 Resíduos de construção civil.....</b>	<b>25</b>
2.3.3.1 Agregado Reciclado de concreto .....	28
2.3.3.2 Reciclagem de concreto no estado fresco .....	29
2.3.3.3 Reciclagem de concreto no estado endurecido .....	31
2.3.3.4 Propriedade do agregado reciclado .....	32
<b>3 PROGAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>35</b>
3.1 METODOLOGIA .....	35
3.2 MATERIAIS .....	35
<b>3.2.1 Cimento Portland .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.2 Agregado miúdo .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.3 Agregado graúdo natural .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.4 Agregado graúdo reciclado.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.5 Água.....</b>	<b>43</b>
3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	43
<b>3.3.1 Dosagem dos traços .....</b>	<b>43</b>
3.3.1.1 Dosagem do traço de referência pelo Método ABCP .....	43

3.3.2	Ensaio de Resistência à Compressão Axial .....	48
4	RESULTADOS .....	50
5	CONCLUSÃO .....	52
	REFERÊNCIAS .....	53





## 1 INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade propõe o desafio de produzir o suficiente para suprir as necessidades do desenvolvimento global, porém sem comprometer as reservas de recursos naturais do planeta. Segundo o Dicionário Online de Português (Português, 2019), pode-se definir sustentabilidade como “Conceito que, relacionando aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais, busca suprir as necessidades do presente sem afetar as gerações futuras. Qualidade ou propriedade do que é sustentável, do que é necessário à conservação da vida”. Para aplicar-se o conceito de sustentabilidade é necessário haver uma redução da exploração de matérias primas, reutilização dos recursos disponíveis e a redução da emissão de poluentes na atmosfera, só assim conseguindo então reduzir o impacto ambiental causado pela produção de insumos.

Sokolovick (2013) afirma que o concreto é o segundo material mais consumido no mundo, perdendo apenas para a água. Estima-se que hoje o consumo mundial de concreto seja de mais de 6 bilhões de toneladas/ano. De acordo com Sokolovick (2013), a alta demanda pelo uso do concreto justifica-se principalmente pelo seu alto desempenho, baixo custo de fabricação, alta empregabilidade e a grande possibilidade de utilização, principalmente quando combinado com aço. Segundo Souza, Deana (2007) a construção habitacional brasileira consome recursos naturais em grandes quantidades, para se construir um 1m<sup>2</sup> utiliza-se cerca de uma tonelada de materiais o que evidencia a grande produção de resíduos e alta taxa de desperdício.

Ao realizar esse trabalho, abordou-se a viabilidade da substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo de concreto reciclado tendo em vista que de acordo com os dados do levantamento da FIPE - Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas da Universidade de São Paulo, para o projeto Diretrizes para a Mineração de Areia na Região Metropolitana de São Paulo constatou-se que para a construção de uma unidade básica habitacional de 35m<sup>2</sup> são consumidas cerca de 21 toneladas de agregados; em um edifício público de 1 000 m<sup>2</sup> o consumo é de 1 360 Ton (MACEDO; COIMBRA; NATIVIDADE;1985).

Sabe-se que a construção civil é uma grande consumidora de recursos naturais e grande geradora de resíduos sólidos, surgindo então a necessidade de buscar-se por diferentes formas de reaproveitamento destes resíduos e conseqüentemente a diminuição do impacto ambiental proveniente da construção civil, pois é praticamente inevitável a geração de resíduos em um processo de fabricação.

A ausência de estudos e conhecimentos das tecnologias utilizadas no processo de reciclagem de resíduos faz com que o mesmo seja descartado na natureza, na maioria das vezes de forma irregular. Segundo Buttler (2003) a utilização do concreto reciclado como agregado graúdo para a produção de um novo concreto resulta na diminuição significativa do volume de resíduos descartados no meio ambiente, além de reduzir os custos envolvidos na exploração, beneficiamento e logística do agregado.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento do mercado da construção civil, gerou-se uma demanda cada vez maior por recursos naturais não renováveis. O agregado graúdo natural além de ser um recurso finito, sua exploração gera um considerável impacto ambiental.

Devido a esse crescimento do mercado da construção civil, houve também um aumento na produção de resíduos sólidos, seja eles provenientes dos canteiros de obras ou de demolições. O descarte desses resíduos quase sempre ocorre de forma errada em aterros clandestinos ou as margens de rodovias. Mesmo que haja o descarte correto, desses resíduos ainda geram um grande volume nos aterros sanitários. Além das vantagens ambientais a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado gera também uma economia no custo da obra.

Baseado nisso este trabalho fará um estudo técnico que demonstrará a viabilidade do uso do concreto reciclado como agregado graúdo.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Apresentar a viabilidade do uso do concreto reciclado como agregado graúdo na produção de um novo concreto convencional.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar as propriedades granulométricas do agregado graúdo reciclado;
- Discorrer experimentalmente a resistência a compressão axial;

- Realizar o comparativo entre o concreto utilizando agregado graúdo natural e o concreto utilizando agregado graúdo reciclado;
- Avaliar a viabilidade do uso do concreto reciclado como agregado graúdo em diferentes teores de mistura.

### 1.3 METODOLOGIA

#### 1.3.1 Pesquisa experimental

Utilizou-se de pesquisa experimental para levantar o maior número possível de informações sobre o tema, principalmente as informações relativas às propriedades mecânicas e físicas estudadas.

#### 1.3.2 Procedimento experimental

Foram realizados ensaios de caracterização dos materiais como:

- Composição granulométrica – NM 248 (ABNT, 2003)
- Massa específica – NM 53 (ABNT, 2003)
- Massa unitária solta – NBR NM 45 (ABNT, 2006);
- Módulo de finura - NBR 7211 (ABNT, 2005).

Para avaliação das propriedades mecânicas do concreto produzido com agregado graúdo reciclado, foi feita a dosagem dos três traços de concreto com agregado graúdo reciclado e um traço de referência com agregado graúdo natural, utilizando o método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), sendo:

- Traço de referência (TR): composto por 100% de agregado graúdo natural;
- Traço com agregado reciclado 50 (TCR50): composto por 50% de agregado graúdo reciclado e 50% de agregado graúdo natural;
- Traço com agregado reciclado 100 (TCR100): composto por 100% de agregado graúdo reciclado.

Foram moldados 12 corpos de prova (CPs) para cada teor de mistura e para o traço de referência, sendo que foram rompidos quatro corpos por idade, ensaiados a resistência à

compressão axial. Os corpos de provas foram rompidos com idades de 7 e 28 dias de acordo com as recomendações da NBR 7215 (ABNT, 1996).

### 1.3.3 Materiais utilizados

- Aglomerante: Cimento Portland CP II E 32;
- Agregado miúdo: areia média;
- Agregado graúdo natural (AGN): brita 01;
- Agregado graúdo reciclado (AGR): brita 01 reciclada proveniente da recicladora RNV Resíduos;
- Água: água da rede municipal de abastecimento de Anápolis, Goiás, Brasil.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em cinco capítulos, o primeiro faz a introdução onde se aborda-se os impactos causados pela construção civil, a necessidade de técnicas sustentáveis de construção dando atenção ao uso de resíduos de construção como agregados graúdos. Consta também na introdução os objetivos geral e específicos, a justificativa, a metodologia e os materiais que foram usados no experimento.

Já o capítulo dois contém a revisão bibliográfica onde aborda-se principalmente as características dos materiais utilizados, as técnicas de reciclagem de resíduos de construção além de comentar sobre os resultados de alguns autores sobre o tema.

No capítulo três apresenta o programa experimental descrevendo os materiais e equipamentos utilizados e os ensaios granulométricos realizados e posteriormente seus resultados, mostra ainda os traços utilizados no experimento.

O capítulo quatro apresenta os resultados. Neste capítulo mostra os resultados dos ensaios de resistência a compressão axial realizados nos traços de concretos utilizados no trabalho.

As conclusões do trabalho bem como algumas sugestões para futuros trabalhos encontram-se dispostas no capítulo cinco.

## **2 CONCRETO COM AGREGADO GRAÚDO RECICLADO**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

Esse capítulo traz informações referente as características químicas e mecânicas dos materiais utilizados no experimento, traz também dados referentes aos consumo e descarte destes material. O capítulo também contém uma análise das conclusões de alguns autores que realizam estudos semelhantes ao proposto por este trabalho.

### **2.2 CIMENTO PORTLAND**

Pode-se classificar o cimento Portland como sendo um material de origem mineral, composto basicamente de silicatos hidráulicos de cálcio, e composto em certa proporção também de sulfato de cálcio natural advindo da moagem e misturas de rochas calcárias, que quando em contato com a água tem propriedades aglomerantes. De acordo com Foguesatto (2007) pode-se modificar a composição química do cimento Portland com a adição de novos compostos, criando então algumas derivações do cimento que melhorarão ou agregarão algumas características dele.

Segundo Sokolovicz (2013), o sistema produtor de cimento é o maior responsável pela emissão de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera. Segundo dados da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), em 2008 o Brasil apresentou uma taxa de emissão de CO<sub>2</sub> de 560 Kg por tonelada de cimento produzido, sendo a menor taxa em relação aos outros países

O Quadro 01 demonstra a classificação do cimento Portland de acordo com as NBRs tendo como critério de classificação as suas composições.

**Quadro 1 - Tipos de cimento e suas composições**

Cimento	Tipo	Classe resistência (mpa)	Composição (%)				Norma brasileira
			Clínquer + gesso	Escória de alto forno	Pozolana	Fíler	
CP I	comum	25 32 40	100	0			NBR 5732
CP I - S	comum		95-99	1 – 5			
CP II - E	composto		56-94	6-34	0	0-10	NBR 11578
CP II - Z	composto		76-94	0	6-14	0-10	
CP II - F	composto		90-94	0	0	6-10	
CP III	alto forno		25-65	35-70	0	0-5	NBR 5735
CP IV	pozolânico	25 32	45-85	0	15-50	0-5	NBR 5736
CP V-ARI	alta resistência inicial	-	95-100	0	0	0-5	NBR 5733

Fonte: Adaptado cimento Itambé (2019) <sup>1</sup>

### 2.3 AGREGADOS MINERAIS

Segundo Tartuce & Giovanetti (1990) na prática o agregado é obtido através da união de materiais miúdos e graúdos. Essa mistura deve ser feita de modo que o agregado resultante possua graduação, isto é, grãos de diferentes tamanhos, do mais miúdo ao mais graúdo, formando uma escala de tamanhos.

Sabe-se que o agregado representa cerca de três quartos do volume do concreto e sua aplicação deve-se em grande parte ao seu valor monetário, sabendo que se trata de materiais de baixo custo se comparado ao custo do cimento. No entanto Neville (1997) afirma que a questão econômica não é o único motivo do seu uso, pois o agregado confere consideráveis vantagens técnicas ao concreto, pois passa a ter maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade se comparado a pasta de cimento pura. Segundo Bauer (2000) os agregados são componentes importantes na constituição do concreto, representando cerca de 80% do peso e 20% do custo em um concreto estrutural sem aditivos. Por apresentarem uma grande variação de suas características, faz-se necessário na tecnologia do concreto estudar e controlar a sua qualidade em todas as etapas da obra. As propriedades físico-químicas dos agregados e das misturas ligantes são essenciais nas estruturas para garantir a sua durabilidade.

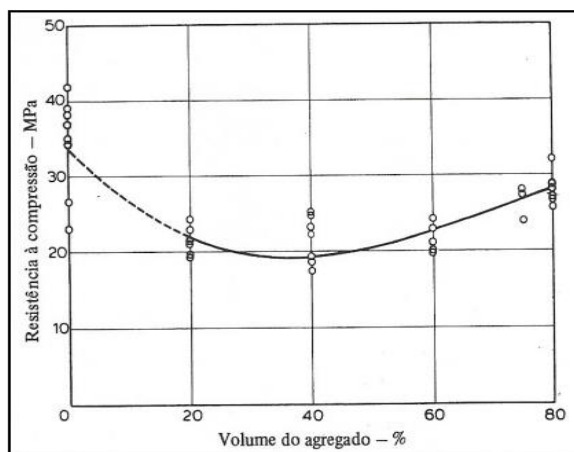
Moraes (2012) afirma que se tratando da origem dos agregados, existem três classificações sendo elas: os naturais que são encontrados na natureza já em sua forma definitiva de uso, os artificiais que são provenientes da britagem de rochas, e os industriais, obtidos através de processos industriais, ex: a moagem.

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005) quanto a dimensão das partículas os agregados podem ser classificados em:

- Agregado miúdo - Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,150 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010). Exemplo: Areias.
- Agregado graúdo - Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010). Exemplos: Cascalho e brita.

Segundo Alhadass (2008) estudos sobre a influência do teor de agregado sobre a resistência do concreto com uma certa qualidade de pasta de cimento mostram que, quando o volume de agregado, como fração do volume total, aumenta de 0% a 20 %, nota-se um decréscimo gradual da resistência à compressão; porém entre 40% e 80 % esta resistência aumenta. De acordo com Neville (1997) a razão para a ocorrência desse fato não está bem esclarecida, no entanto pode-se observar a mesma tendência com diferentes valores da relação água cimento (a/c). Essa relação entre a resistência à compressão e o volume de agregados é exemplificada na Figura 1.

**Figura 1- Relação entre a resistência à compressão e o volume de agregado**



Fonte: NEVILLE (1997).

### 2.3.1 Agregados miúdos

De acordo com o Sumário Mineral do Departamento Nacional De Produção Mineral Brasil (2012), o termo “areia” é utilizado para identificar um tipo de recurso mineral granular, com dimensões entre 2 e 0,6 mm, com composição silicática, em geral com predomínio do mineral quartzo. Pode ser classificada em areia fina, areia média e areia grossa. No geral usa-se areia grossa para produção de concreto que é utilizado na maior parte das edificações, areia fina utiliza-se usualmente para reboco, já à areia média usa-se no geral para camada de revestimento de parede (emboço). Atualmente além dos materiais naturais compreende também, a chamada areia artificial, proveniente da britagem de rochas, no geral subproduto da indústria de rochas britadas.

Na construção civil a areia é classificada como agregado miúdo, ocupando o lugar de segundo material mais usado na fabricação do concreto, perdendo apenas para o agregado graúdo, sendo de importante contribuição para características na resistência do concreto, como resistência à compressão, trabalhabilidade, durabilidade, retração dentre outras. A NBR 7211 (ABNT, 2005) define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,75 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm. Essa classificação está exemplificada na Tabela 1.

**Tabela 1 - Classificação dos agregados miúdos**

<b>Nomenclatura</b>	<b>Dimensões dos grãos</b>
Pedrisco	0 a 4,75 mm
Areia muito fina	0,14 a 0,6 mm
Areia fina	0,6 a 1,2 mm
Areia Média	1,2 a 2,4 mm
Areia grossa	2,1 a 4,75 mm

Fonte: Adaptado da NBR 7211 (ABNT, 2005)

No Anuário Mineral Brasileiro 2010 foi divulgado os dados da quantidade e valor da produção mineral comercializada pelo Brasil, em 2009. Os valores para a areia foram: total bruto comercializado igual a 255.807.957 toneladas, valor R\$ 2.960.589.715, e total



beneficiado comercializado igual a 9.576.649,00 toneladas, valor R\$136.665.653 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2010).

### 2.3.2 Agregados graúdos

A NBR 7211 (ABNT, 2005) define agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 75 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,75mm

Pedra britada é produto da diminuição artificial de uma rocha, no geral com o uso de britadores, resultando em grãos com uma série de tamanhos que variam de 2,4 a 64 mm. Sendo subdividida em cinco graduações, definidas em ordem crescente, de acordo com os diâmetros médios: pedrisco, brita 1, brita 2, brita 3 e brita 4. De acordo Mehta & Monteiro (1994) o termo agregado graúdo refere às partículas de agregados maiores do que 4,75 mm (peneira nº4). No Quadro 2 é mostrado a classificação da brita de acordo com a NBR e com os diâmetros comerciais.

**Quadro 2 - Divisão das britas de acordo com o tamanho das partículas**

Pedra brita numerada	Tamanho nominal			
	NBR 7211 / NBR 7225		Comercial	
Número	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Brita 0			4,75	9,5
Brita 1	4,75	12,5	9,5	19,0
Brita 2	12,5	25,0	19,0	38,0
Brita 3	25,0	50,0	38,0	50,0
Brita 4	50,0	76,0	50,0	76,0
Brita 5	76,0	100,0		
Obs: para efeito de dosagem pode-se utilizar dmax= 25mm para uma mistura de bruta 01 + brita 02			> 76mm considerado pedra de mão	

Fonte: Adaptado de DUART (2008)

Considerado como produto básico da construção civil o agregado graúdo representa a maior porcentagem de material utilizado na composição do concreto, podendo ser utilizado em várias graduações, a escolha do diâmetro do agregado graúdo está ligada ao espaçamento entre a armadura e as formas.

Dentre os recursos minerais os agregados podem ser considerados os mais acessíveis a humanidade, além de serem uma das mais importantes matérias primas para indústria da construção civil. Na composição 1m<sup>3</sup> de concreto contém em média, 42% de brita, 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos.

Qualquer rocha a princípio pode ser britada e utilizada na construção civil, seja para uso em concreto, pavimento asfáltico, base e sub-base, para lastro ferroviário, agregados com características indesejadas ainda podem ser utilizados como contenção de erosões, encostas ou mesmo na manutenção de estradas não pavimentadas.

As Tabelas 2 e 3 trazem dados que mostram de acordo com levantamento feito pela Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC) o consumo de agregado graúdo por região e os principais estados produtores de brita no ano de 2007 (ANEPAC, apud BRASIL, 2009).

**Tabela 2 - Consumo de Brita no Brasil (2007)**

<b>Região</b>	<b>Quantidade (Ton)</b>
Norte	9 840 000
Nordeste	16 520 000
Centro-Oeste	18 880 000
Sudeste	99 280 000
Sul	29 160 000

Fonte: ANEPAC, apud Brasil (2009)

**Tabela 3 - Principais Estados Produtores do Brasil (2007)**

<b>Estado</b>	<b>Quantidade (Ton)</b>
São Paulo	58 400 000
Minas Gerais	22 320 000
Rio de Janeiro	14 200 000
Santa Catarina	11 040 000
Rio Grande do Sul	9 880 000
Goiás	9 520 000
Paraná	8 240 000

Fonte: ANEPAC, apud Brasil (2009)

### 2.3.3 Resíduos de construção civil

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA,2002) define Resíduos da Construção Civil (RCC) como sendo os materiais proveniente de construções, reformas, reparos e demolição de obras de construção civil, podendo elas serem rodovias, barragens, pontes, edificações. Resíduos tais como blocos cerâmicos, tijolos, estruturas de concreto no geral, rochas, porções de solo, telhas, pavimento asfáltico, metais, madeiras e compensados, resinas, colas, tintas argamassa, gesso, telhas, vidro, plásticos, tubulações, fiação elétrica dentre outros, usualmente denominados como entulhos de obras, calça ou metralha.

De acordo com a Resolução 307 (CONAMA,2002) os resíduos são classificados em quatro categorias sendo elas:

Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: matérias de demolição e reparos de pavimentação, solos provenientes de terraplanagem, componentes cerâmicos, argamassa e concreto;

Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. Nova redação dada pela Resolução nº 348 (CONAMA,2004).

Devido à grande quantidade de resíduos sólidos produzidos diariamente o setor da construção civil é um dos grandes responsáveis por uma parte considerável dos problemas ambientais. A maior parte desses resíduos sólidos são descartados de forma incorreta em aterros clandestinos e lixões a céu aberto, o que gera um grande prejuízo ambiental.

Estima-se que no Brasil a construção civil gere em torno de 68 milhões de toneladas/ano sendo responsável pelo consumo de cerca de 35% dos recursos naturais, se tornando o maior setor gerador de resíduos. (FERNANDES; AMORIM, 2014).

Degani (2003) afirma que há um despreparo por parte da indústria da construção civil para que a mesma possa evoluir de forma sustentável, o que configuraria a união do crescimento econômico, preservação do meio ambiente e progresso social. Ainda há uma grande falta de

preocupação da indústria da construção civil quando se trata do grande volume de resíduos gerados. Segundo Pinto (2005) a indústria da construção civil em geral é responsável pela geração de aproximadamente dois terços de todo o volume de resíduos sólidos que são gerados na zona urbana.

Atualmente um dos maiores problemas que a indústria da construção civil enfrenta é o desperdício de materiais, o que acaba por gerar um grande volume de entulho que chega a quase o dobro da quantidade de resíduos sólidos urbanos. Se reciclados esses resíduos podem gerar agregados com propriedades adequadas e a custos mais baixos do que os de mercado. Inúmeros estudos vêm comprovando a viabilidade da reutilização desses resíduos na própria construção civil, desde que os mesmos ao serem aproveitados siga uma metodologia de utilização adequada. (OLIVERA, 2006).

Um estudo realizado em todo território nacional com participação de mais de 100 construtoras, Agopyan (2001) constatou que o desperdício de material na construção civil gira em torno de 8%. O que contrapõe dados dos anos 90, os quais citavam valores para o desperdício de matérias na construção civil de quase 1/3.

De acordo com Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos (ABRELPE,2011) a quantidade de resíduos da construção civil coletados em território nacional chega a quase 100 000 Ton/dia. A Tabela 4 traz dados que demonstram um aumento em 2010 de cerca de 8,7% na coleta de RCD misturado ao RSU em relação a 2009. Esse aumento demonstra que mesmo com leis que regulamentam o descarte dos RCD a maior parte da população as ignora ou mesmo as desconhece. A Tabela 5 mostra dados referentes a coleta de resíduos de construção e demolição (RCD) feita pelas empresas de limpeza pública em 2010. De acordo com os dados da tabela a região sudeste é a maior produtora de RCD, entretanto na região centro-oeste há maior índice de descarte irregular de resíduos onde o RCD é misturado aos resíduos sólidos urbanos (RSU).

A Tabela 6 mostra a porcentagem dos RCD em relação aos RSU nos principais municípios paulistas, em algumas dessas cidades esse percentual chega a 2/3 do total de resíduos gerados.

**Tabela 4 – Quantidade de RCD coletados pelo SLP entre 2007 e 2010**

<b>Ano</b>	<b>População Urbana (hab)</b>	<b>RCD Coletado (Ton/dia)</b>	<b>Índice (Kg/hab/dia)</b>
2007	152 496 807	72 597	0,476
2008	157 037 300	80 342	0,512
2009	158 657 883	91 444	0,576
2010	160 879 708	99 354	0,618

Fonte: ABRELPE (2011)

**Tabela 5 - Quantidade de RCD coletado pelas SLP em 2010**

<b>Região</b>	<b>População Urbana (hab)</b>	<b>RCD Coletado (Ton/dia)</b>	<b>Índice (Kg/hab/dia)</b>
Norte	11 663 184	3 514	0,301
Nordeste	38 816 895	17 995	0,464
Centro-Oeste	12 479 872	11 525	0,923
Sudeste	74 661 877	51 582	0,691
Sul	23 257 880	14 738	0,634
BRASIL	160 879 708	99 354	0,618

Fonte: ABRELPE (2011)

**Tabela 6 - Porcentagens de RCC em relação aos RSU nos principais municípios paulistas**

<b>Município</b>	<b>Geração diária (Ton/dia)</b>	<b>Participação em relação aos resíduos sólidos urbanos</b>
São Paulo	17 240	55%
Guarulhos	1 308	50%
Diadema	458,00	57%
Campinas	1 800	64%
Piracicaba	620,00	67%
São José dos Campos	733,00	67%
Ribeirão Preto	1 043	70%
Jundiaí	712,00	62%
São José do Rio Preto	687,00	58%
Santo André	1 013	54%

Fonte: Pinto (2005)

Segundo o Balanço Mineral Brasileiro (MINERAL, 2001), devido a necessidade de reciclar os resíduos da construção civil surgiu a possibilidade que esse resíduo viesse a substituir a agregado graúdo natural. Nos Estados Unidos da América e na Europa o uso de produtos derivados dos resíduos da construção civil vem crescendo de forma contínua embora o uso desse material ainda seja bem limitado. A grande quantidade de resíduos gerados no Brasil encara-se como um dos maiores desafios a serem resolvidos pela sociedade. Buttler (2003) diz que segundo dados da ABSEC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, são produzidos na região metropolitana de São Paulo um volume de aproximadamente 42 000 m<sup>3</sup> a 84 000 m<sup>3</sup> por ano de resíduos de concreto.

Mariano (2008) diz que a grande quantidade de materiais e, por consequência a geração de resíduos da construção civil é proveniente da ineficiência da indústria da construção civil em elaborar e colocar em prática nos canteiros de obras um plano de gestão de resíduos. Para avaliar a eficiência da aplicação do plano de gestão, Mariano (2008) sugere que se faça um comparativo entre a quantidade de material que foi adquirido e a quantidade de resíduos produzidos. A Tabela 07 demonstra um exemplo dessa comparação.

**Tabela 7 - Avaliação da eficiência do plano de gestão de resíduos em uma obra**

<b>Material</b>	<b>Quantidade Adquirida (Ton)</b>	<b>Quantidade Desperdiçada (Ton)</b>	<b>Eficiência (%)</b>
Concreto	2175,38	40,54	98,14%
Cerâmica	508,72	11,38	97,76%
Argamassa	629,78	13,07	97,92%
Fibrocimento	27,55	2,81	89,80%
Madeira	88,34	75,1	14,99%
Total	3429,77	142,9	95,83%

Fonte: Mariano (2008)

### 2.3.3.1 Agregado Reciclado de concreto

Segundo a Resolução 307 (CONAMA, 2002) os resíduos de concreto são classificados como classe A encontrados em duas formas principais sendo elas: rejeitos de concreto no estado endurecido e rejeitos de concreto no estado fresco.

Grubba (2009) diz que o processo de reciclagem dos resíduos da construção civil de classe A é basicamente feito através das operações de triagem, britagem e peneiramento. Após

esse processo os RCC são divididos e classificados em basicamente dois grupos sendo eles: agregados reciclados de concreto e agregados reciclados mistos. Por serem mais homogêneos, os agregados reciclados de concreto são propícios as serem usados na fabricação de argamassas, calçadas, pré-moldados, agregado para massa asfáltica e base ou sub-base para pavimentação.

A NBR 15116 (ABNT, 2004) define os parâmetros para a classificação dos tipos de agregados da construção civil de classe A como:

- Agregados de resíduos de concreto (ARC): é obtido através do beneficiamento de resíduo classe A, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.
- Agregado de resíduos misto (ARM): é obtido através do beneficiamento de resíduos de classe A, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

Existem diversos processos que possibilitam a reciclagem de resíduos de concreto. As usinas de concreto e fábricas de pré-moldados geram basicamente dois tipos de resíduos sendo eles: rejeitos de concreto no estado fresco e rejeitos de concreto no estado endurecido.

#### 2.3.3.2 Reciclagem de concreto no estado fresco

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), o setor em 2003 consumiu no Brasil cerca de 33 milhões de toneladas de cimento, deste total cerca de 4 milhões foram utilizadas por concreteiras. Adotando o traço médio com resistência de 25Mpa, cujo consumo médio é de aproximadamente 300 kg/m<sup>3</sup> de cimento, estima-se que a produção de concreto no Brasil seja de 15,5 milhões m<sup>3</sup>/ano. A perda de concreto em seu estado fresco pode atingir em todo território nacional cerca de 1,3 milhões m<sup>3</sup>/ano. (TARTUCE, 2006).

Rezende, Levy, Djannikian (1996) cita um dos métodos para a reciclagem de concreto no estado fresco como sendo a separação dos agregados da água de lavagem (partículas de cimento e finos em suspensão), podendo ser feito através de um separador mecânico que funciona da seguinte forma: os resíduos de concreto fresco são depositados em um funil alimentador que os leva até a primeira etapa do equipamento onde é colocada água permanentemente o que auxilia na decantação dos agregados presente nos resíduos, de modo que o aglomerante (cimento Portland) permaneça suspenso. Quando ocorre o transbordo dessa água a mesma é recolhida pelo mesmo ponto de alimentação por onde é colocada as sobras de concreto, enquanto os agregados saem por uma calha de descarga onde são recolhidos. A figura

2 demonstra um equipamento de reciclagem de concreto fresco em funcionamento. Na Figura 3 observa-se através de uma vista em corte os mecanismos de funcionamento de um equipamento de reciclagem de concreto fresco.

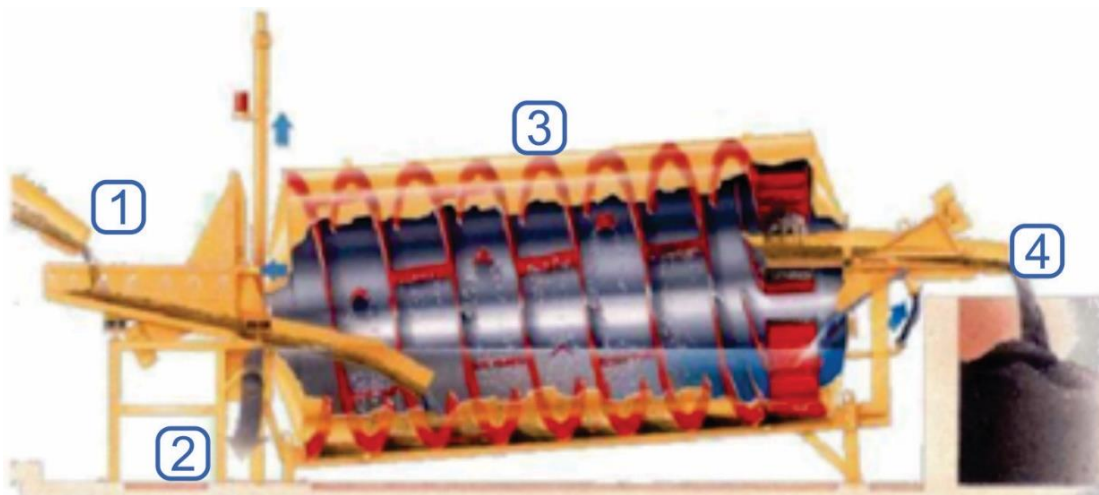
Jacques (2013 apudButtler, 2003)

**Figura 2 - Unidade recicladora de concreto fresco**



Fonte: (Buttler, Apud Jacques, 2013)

**Figura 3 - Equipamento utilizado para a reciclagem do concreto fresco**



1 – Entrada do concreto fresco a ser reciclado, 2 – Saída de água de lavagem com finos, 3 – Processo de lavagem e separação dos finos dos agregados, 4 – Saída dos agregados

Fonte: (Schwing stetter, Apud Buttler 2003)



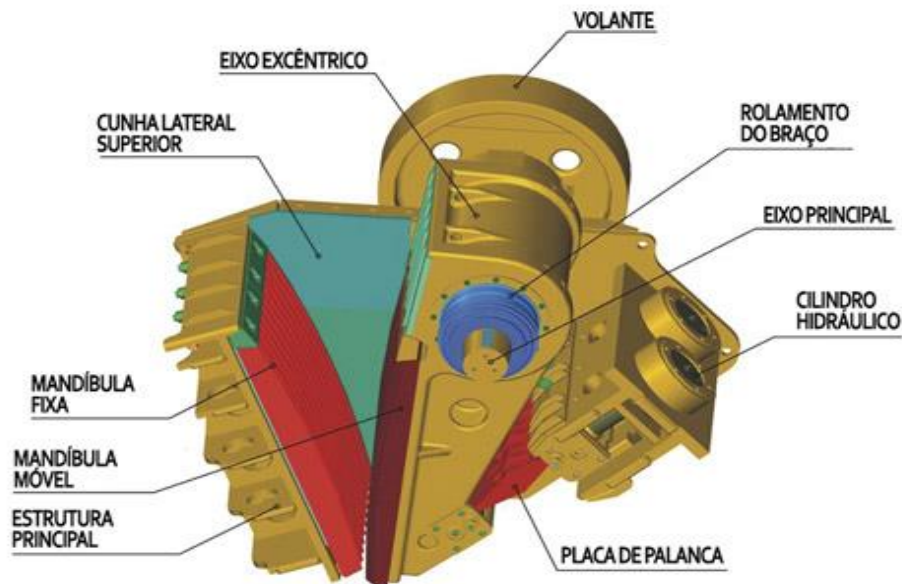
### 2.3.3.3 Reciclagem de concreto no estado endurecido

De acordo com Buttler (2003) os resíduos de concreto no estado endurecido são no geral reciclados e utilizados como agregados em novas misturas de concreto ou para o uso em sub-bases e bases de pavimentações asfálticas.

O processo de reciclagem de resíduos no estado solido proveniente de demolições de construções começa pela passagem do material por um britador de mandíbula e posteriormente por um britador cônico que confere cubicidade e uniformidade aos grãos de agregados. Diferente da reciclagem do concreto no estado a fresco esse método depara-se com o fato de não se conhecer as propriedades do material a ser reciclado.

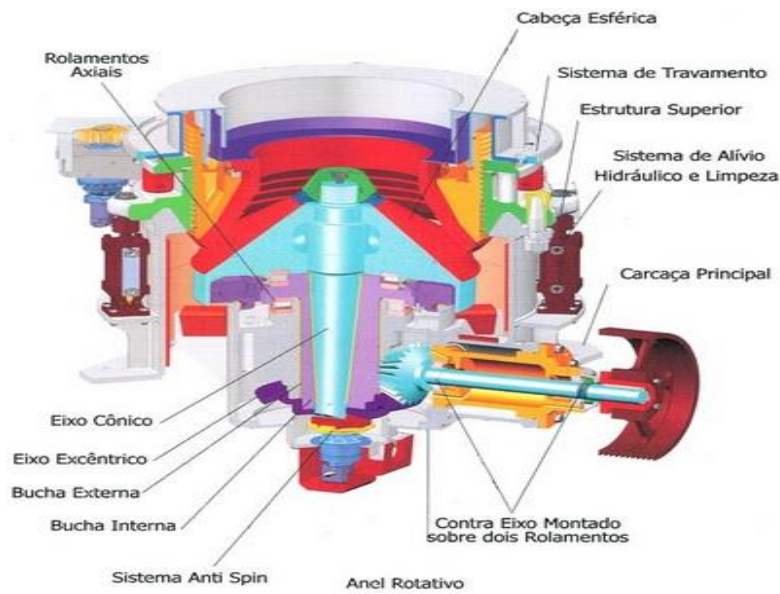
De acordo com Buttler (2003), para a produção de concreto o britador de mandíbula proporciona uma melhor distribuição granulométrica, enquanto o britador cônico é ideal para ser utilizado como britador secundário proporcionando assim uma melhor cubicidade ao agregado reciclado. As Figuras 4 e 5 mostram através de uma vista em corte os respectivos britadores de mandíbula e cônico.

Figura 4 - Vista em corte do britador de mandíbula



Fonte: Revista M&T (2019) <sup>2</sup>

**Figura 5 - Vista em corte britador cônico**



Fonte: Associação Brasileira de Tecnologia para Construção e mineração (2019)<sup>3</sup>

#### 2.3.3.4 Propriedades do agregado reciclado

Silva, Felix e Santos (2014) em seus estudos buscou-se verificar a influência da substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo recicladas nas propriedades mecânicas do concreto. Após análise dos resultado os pesquisadores concluíram que:

- Mostra-se que é possível a substituição total do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado sem que haja prejuízo a resistência a compressão axial e nem a resistência a tração, embora no país ainda não tenha normatizado essa substituição do AGN pelo AGR.
- Os valores de resistência encontrados para os traços com agregado reciclado não se diferem significativamente dos valores encontrados para o traço de referência.
- Recomendam-se agregados reciclados com massa específica superior a 2,5 kg/dm<sup>3</sup> e que tenha baixa quantidade de resíduos cerâmicos na mistura.
- A substituição do AGN pelo AGR influencia de forma insignificativa no modulo de elasticidade pois houve uma redução de 6% a 12%.
- Com a utilização do tratamento mecânico para limpar o agregado graúdo reciclado houve uma recuperação de 50% de agregados com maior massa

específica e menor absorção. Esse processo de tratamento do agregado resulta na diminuição do uso de aditivos.

- Os traços que utilizaram AGR que foram tratados obtiveram valores para a resistência a compressão e a tração praticamente igual ao traço de referência

O estudo realizado por Tenório (2007) teve como objetivo analisar as propriedades mecânicas do concreto produzido com agregados miúdos e graúdos reciclados. Os agregados foram recolhidos em diversos locais da cidade de Maceió, Alagoas, Brasil e posteriormente levado para laboratório a fim de ser transformado em agregados. Foram feitos traços compostos em diversos teores de mistura entre agregado graúdos e miúdos naturais e agregados graúdos e miúdos reciclados. Após analisado os resultados do experimento pode-se obter as considerações a seguir:

- A característica dos agregados reciclado varia de acordo com os sistemas construtivos utilizados em cada região
- A utilização do moinho de martelos no processo de produção de agregados resulta em uma maior quantidade de agregados úmidos em relação aos graúdos, o uso desse equipamento na produção do agregado tem como vantagem a não necessidade de repetição do processo de moagem.
- A caracterização dos agregados reciclado de acordo com os métodos normatizados pela ABNT forma satisfatórios.
- A metodologia utilizada na dosagem dos traços de concretos com agregados reciclados mostra-se aplicável em concreteiras e obras de construção civil, desde que a empresa fornecedora de agregados reciclados os separe de acordo com sua massa específica.
- Em comparação com à areia típica da região de Maceió, Alagoas, Brasil o agregado miúdo reciclado apresentou-se mais grosso, no entanto com mais teor de finos. A material também apresentou uma menor quantidade de matéria orgânica, menor massa específica e maior absorção de água entendendo-se que o material seja mais poroso do que o agregado miúdo natural.
- Os agregados graúdos reciclados em comparação com os agregados graúdos naturais apresentam uma maior quantidade mais materiais mais finos que 0,075mm.
- Os graus de agregados graúdos reciclado quanto passados pelo processo de tratamento apresentam graus menos lamelares em comparação aos agregados graúdos naturais, no

entanto quanto ao agregado graúdo reciclado sem o processo de tratamento apresenta maior quantidade de grãos lamelares devido à maior presença de materiais cerâmicos.

- Se tratando de massa específica os agregados graúdos reciclados apresentam valores menores em relação aos agregados graúdos naturais, entendendo-se que há uma maior presença de materiais mais porosos e com densidade menor.
- Constatou-se que embora os concretos contendo agregados graúdos reciclados obtivessem valores baixos no ensaio de abatimento do tronco de cone esses traços apresentaram uma boa trabalhabilidade.
- Comparando o concreto com agregados reciclados com os concretos convencionais observa-se que os concretos com agregados reciclados exigem maior teor de aditivo para se obter um concreto com consistência plástica.
- Se tratando das propriedades mecânicas, de modo geral os concretos com agregados reciclados apresentam valores menores de resistências a compressão quando comparados aos concretos convencionais, entretanto o traço com fator  $a/c$  igual a 0,67 obteve resistência equivalente aos concretos convencionais. Vale ponderar que mesmo apresentando valores de resistência a compressão inferiores os concretos com agregados reciclados apresentaram valores próximos.
- Os concretos com agregados reciclados apresentaram módulo de elasticidade inferior aos concretos convencionais, com essa do traço com relação  $a/c$  igual a 0,67 que apresentou valores muito semelhantes aos convencionais.
- Os concretos com agregados reciclados mostraram-se mais porosos e permeáveis se comparados com os concretos convencionais. Sabendo que concretos mais poroso e permeáveis oferecem menor proteção as armaduras, entendendo-se então que o uso do concreto com agregados reciclados deve ser evitado quando se trata de estruturas de concreto aparentes.

Ainda segundo Tenório (2007) após análise dos resultados encontrados para as propriedades do concreto com agregados reciclados pode se afirmar a possibilidade do uso deste material em concretos com funções estruturais embora para esse uso deve ser observado suas particularidades: menor resistência, maior deformabilidade e maior permeabilidade, características essas que podem viabilizar o não o seu uso.

### 3 PROGAMA EXPERIMENTAL

#### 3.1 METODOLOGIA

Além da pesquisa bibliográfica realizou-se ensaios de caracterização dos materiais, teste esses de suma importância na dosagem do concreto, tais como ensaio de granulometria, massa unitária, massa específica, módulo e finura entre outros.

Com os resultados dos ensaios de caracterização foi realizado pelo método ABCP a dosagem de três traços de com agregado graúdo reciclado que serão comparados com o traço de referência sendo:

- Traço de referência (TR): composição 100% de agregado graúdo natural.
- Traço de concreto reciclado (TR100): composição 100% de agregado graúdo reciclado de concreto.
- Traço de concreto reciclado (TR50): composição 50% de agregado graúdo natural e 50% agregado graúdo reciclado.

Foram moldados para cada traço de concreto 12 corpos de prova com dimensões de 10 x 20 cm e foram rompidos de acordo com o Quadro 3, tanto a moldagem quanto o rompimento dos corpos de prova foram feitas de acordo com a NBR 5738 (ABNT,2015).

**Quadro 3: Idade de rompimento dos CP's**

<b>Idade dos corpos</b>	<b>Nº de CP's rompidos por traço</b>	<b>nº total de rompimentos</b>	<b>Tipo de ensaio realizado</b>
7 dias	4	12	Ensaio de resistência a compressão simples
28 dias	4	12	Ensaio de resistência a compressão simples

Fonte: Próprio autor (2019)

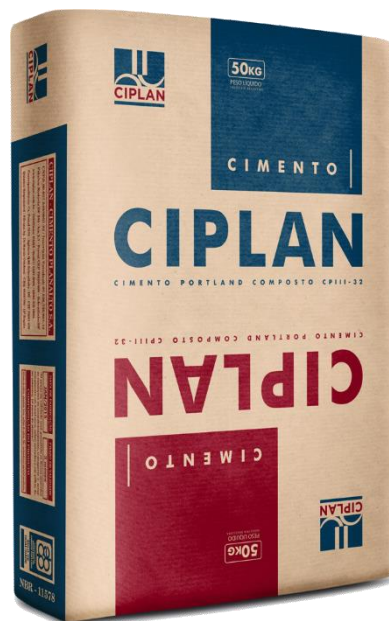
#### 3.2 MATERIAIS

##### 3.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland constitui um material de origem mineral a base de silicatos hidráulicos de cálcio e sulfato de cálcio natural, devido a mistura e moagem de rochas calcárias, em contato com a água, tem propriedades aglomerantes.

Foi utilizado o cimento CII E 32, da marca Ciplan, com a adição de escória granulada de alto-forno (Figura 6). Cimento de composição intermediária entre o comum e o com adição (alto-forno e pozolânico). Esse cimento tem como característica a combinação de bons resultados de baixo calor de hidratação e aumento de resistência. Seu uso é recomendado em estruturas que exigem uma perda de calor mais lenta ou estrutura que sofram ação de sulfatos.

**Figura 6 - Embalagem de cimento Portland CII E 32**



Fonte:Ciplan (2019)<sup>4</sup>

### **3.2.2 Agregado miúdo**

O agregado miúdo utilizado na realização do experimento foi Areia Média extraída nos córregos da região de Anápolis, Goiás, Brasil, o material foi submetido aos laboratórios do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA para a realização dos seguintes ensaios de caracterização do material sendo eles:

- Composição granulométrica – NM 248 (ABNT, 2003)
- Massa específica – NM 53 (ABNT, 2003)
- Massa unitária solta – NBR NM 45 (ABNT, 2006);
- Módulo de finura - NBR 7211 (ABNT, 2005).

A Figura 7 demonstra o aspecto visual do agregado miúdo, já a Figura 8 demonstra o jogo de peneiramento manual de acordo com a NBR NM-ISO 3110-1 (ABNT, 2010) utilizado nos

ensaios do material, já a Figura 9 mostra o material sendo pesado. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 8, no Quadro 4.

**Figura 7: Aspecto do agregado miúdo**



Fonte: Próprio autor. (2019)

**Figura 8: Jogo de peneiras NBR NM-ISO 3110-1 (ABNT,2010)**



Fonte: Próprio autor (2019)

**Figura 9: Pesagem do agregado miúdo**

Fonte: Próprio autor (2019)

**Tabela 8: Características físicas do agregado miúdo**

<b>Propriedade</b>	<b>Resultado</b>
Massa unitária	1600 kg/m <sup>3</sup>
Massa específica	2500 kg/m <sup>3</sup>
Diâmetro máximo	2,36mm
Modulo de finura	2,16

Fonte: Próprio autor (2019)

**Quadro 4: Composição granulométrica – agregado miúdo**

peneiras		1ª amostra		2ª amostra		% retida media	% retida acumulada
Nº	mm	massa retida (g)	% retida	massa retida (g)	% retida		
4	4,75	0	0,000%	0	0,000%	0,000%	0,000%
8	2,36	15,5	5,179%	16,2	5,400%	5,289%	5,289%
16	1,18	28,4	9,489%	30,4	10,133%	9,811%	15,100%
30	0,6	56,1	18,744%	54,1	18,033%	18,389%	33,489%
50	0,3	109,1	36,452%	106,2	35,400%	35,926%	69,415%
100	0,15	69,2	23,121%	70,3	23,433%	23,277%	92,692%
fundo	<0,15	21	7,016%	22,8	7,600%	7,308%	
total		299,3	100,000%	300	100,000%	100,000%	100%
Diâmetro Máximo:		2,36		Módulo de Finura:		2,16	

Fonte: Próprio autor (2019)



### 3.2.3 Agregado graúdo natural

Foi utilizado no experimento como agregado graúdo natural a brita 01, proveniente da Pedreira Goiás localizada no município de Abadiânia, Goiás, Brasil. O material foi submetido pelos autores aos laboratórios do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA aos ensaios de caracterização a seguir:

- Composição granulométrica – NM 248 (ABNT, 2003)
- Massa específica – NM 53 (ABNT, 2003)
- Massa unitária solta – NBR NM 45 (ABNT, 2006);
- Módulo de finura - NBR 7211 (ABNT, 2005).

A Figura 10 demonstra o aspecto visual do agregado graúdo, a Figura 11 demonstra o jogo de peneiramento mecânico de acordo com a NBR NM-ISO 3110-1 (ABNT, 2010) utilizado nos ensaios do material, já a Figura 12 mostra a pesagem do material sendo feita. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 9, no Quadro 5.

**Figura 10: Aspecto do agregado graúdo natural**



Fonte: Próprio autor.

**Figura 11: Jogo de peneiras NBR NM-ISO 3110-1 (ABNT,2010)**



Fonte: Próprio autor (2019)

**Figura 12: Pesagem do agregado graúdo**



Fonte: Próprio autor (2019)

**Quadro 5 : Composição granulométrica – AGN**

peneiras		1ª amostra		2ª amostra		media	
Nº	mm	massa retida (g)	% retida	massa retida (g)	% retida	% retida	% acumulada
3/4"	19	75	1,50%	15	0,30%	0,90%	0,90%
1/2"	12,5	0	0,00%	3835	76,70%	38,35%	39,25%
3/8"	9,5	4780	95,58%	918	18,36%	56,97%	96,22%
4	4,75	95	1,90%	210	4,20%	3,05%	99,27%
8	2,36	3	0,06%	20	0,40%	0,23%	99,50%
fundo	<0,15	48	0,96%		0,00%	0,48%	
total		5001	100,00%	5000	99,96%	99,98%	100%
Diâmetro Máximo:		19 mm		Módulo de Finura:		3,35	

Fonte: Próprio autor (2019)

**Tabela 9: Características físicas do agregado graúdo natural**

<b>Propriedade</b>	<b>Resultado</b>
Massa unitária	1858 kg/m <sup>3</sup>
Massa específica	2772 kg/m <sup>3</sup>
Diâmetro máximo	19 mm
Modulo de finura	3,35

Fonte: Próprio autor (2019)

### 3.2.4 Agregado graúdo reciclado

O Agregado graúdo reciclado – AGR, utilizado no experimento foi adquirido na empresa RNV Ambiental, empresa qual trabalha com a reciclagem de resíduos de construção civil os transformando em agregados graúdos e miúdos tais como: Brita 01, Brita 0 e pó de brita, a empresa fica localizada no polo industrial de Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil. O material foi submetido pelos autores aos laboratórios do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA aos ensaios de caracterização a seguir:

- Composição granulométrica – NM 248 (ABNT, 2003)
- Massa específica – NM 53 (ABNT, 2003)
- Massa unitária solta – NBR NM 45 (ABNT, 2006);
- Módulo de finura - NBR 7211 (ABNT, 2005).

A Figura 13 mostra a planta de britagem da empresa RNV Resíduos na qual foi adquirido o agregado graúdo reciclado utilizado no experimento, a Figura 14 demonstra o aspecto visual do agregado graúdo reciclado, já a Figura 15 demonstra o jogo de peneiramento mecânico de acordo com a NBR NM-ISO 3110-1 (ABNT, 2010) utilizado nos ensaios do material. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 10, no Quadro 6.

**Figura 13: Planta de moagem da RNV Resíduos**

Fonte: Próprio autor (2019)

**Figura 14: Aspecto do agregado graúdo reciclado**



Fonte: Próprio autor (2019)

**Figura 15: Jogo de peneiras NBR NM-ISO 3110-1 (ABNT,2010)**



Fonte: Próprio autor (2019)

**Quadro 6: Composição granulométrica – AGR**

peneiras		1ª amostra		2ª amostra		media	
Nº	mm	massa retida (g)	% retida	massa retida (g)	% retida	% retida	% acumulada
3/4"	19	888	2,17%	900	2,20%	2,18%	2,18%
1/2"	12,5	0	0,00%	0	0,00%	0,00%	2,18%
3/8"	9,5	40015	97,61%	40000	97,60%	97,60%	99,78%
4	4,8	50	0,12%	45	0,11%	0,12%	99,90%
8	2,4	3	0,01%	2	0,00%	0,01%	99,91%
fundo	<0,15	39	0,10%	38	0,09%	0,09%	
total		40995	100,00%	40985	100,00%	100,00%	100%
Diâmetro Máximo:		19 mm		Módulo de Finura:		3,04	

Fonte: Próprio autor (2019)

**Tabela 10: Características físicas do agregado graúdo reciclado**

<b>Propriedade</b>	<b>Resultado</b>
Massa unitária	1235 kg/m <sup>3</sup>
Massa específica	2998 kg/m <sup>3</sup>
Diâmetro máximo	19 mm
Modulo de finura	3,04

Fonte: Próprio autor (2019)

Os ensaios granulométricos realizados tanto no agregado reciclado quanto nos agregados naturais têm como objetivo conhecer as propriedades dos agregados e assim oferecer parâmetros técnicos para que possa fazer a dosagem correta dos traços de concreto de acordo com o método escolhido.

### 3.2.5 Água

A água utilizada no experimento é proveniente da rede de abastecimento municipal da cidade de Anápolis, Goiás, Brasil.

## 3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 3.3.1 Dosagem dos traços

Para a dosagem dos traços foi utilizado o Método ABCP, esse método foi escolhido por ser o mais utilizado tanto em experimentos laboratoriais quanto pelas concreteiras da região de Anápolis, Goiás, Brasil. De posse das características granulométricas dos materiais foi calculado o traço de referência

#### 3.3.1.1 Dosagem do traço de referência pelo Método ABCP

- Determinação aproximada do consumo de água (Ca)

**Tabela 11: Consumo aproximado de água**

Abatimento (mm)	Diâmetro máximo agregado graúdo (mm)				
	9,50	19,00	25,00	32,00	38,00
<b>40 a 60</b>	220	195	190	185	180
<b>60 a 80</b>	225	200	195	190	185
<b>80 a 100</b>	230	205	200	195	190

Fonte: Toralles et al. (2018)

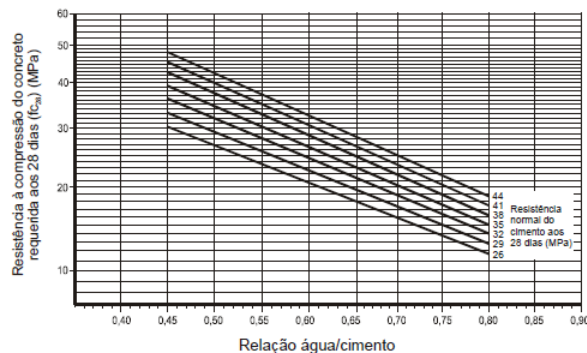
- Determinação aproximada do consumo de agregado graúdo (Cb)

**Tabela 12: Volume de agregado graúdo compactado por m<sup>3</sup> de concreto**

MF	Diâmetro Máximo Agregado Graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,59	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Toralles et al. (2018)

- Gráfico para a determinação da relação a/c em função das resistências do concreto aos 28 dias.

**Figura 16: Curva de Abrams**

Fonte: Toralles et al. (2018)

- Dosagem do concreto

- 1- Fator a/c: 0,52; relação entre o  $F_{cj}$  e a resistência do cimento aos 28 dias. (Curva de Abrams).
- 2- Consumo de água: 195 l/m<sup>3</sup>; relação entre o diâmetro máximo do agregado graúdo e o abatimento do tronco de cone.
- 3- Consumo de cimento.

$$Cc = \frac{Ca}{a/c}$$

$$Cc = \frac{195}{0,52} \quad (1)$$

$$Cc = 375 \text{ kg/m}^3$$

Cc - Consumo de Cimento

Ca - Consumo de água

a/c - Fator água /cimento

- 4- Determinação do consumo de agregado Graúdo (Cb)

$$Cb = Vb \times Mu$$

$$Cb = 0,610 \times 1,585 \times (1000) \quad (2)$$

$$Cb = 966,85 \text{ kg/m}^3$$

Cb - Consumo do agregado graúdo (brita)

Vb - Volume do agregado graúdo (brita) seco por m<sup>3</sup> de concreto

Mu - Massa unitária compactada do agregado graúdo (brita)

- 5- Determinação do volume de agregado miúdo (areia)

$$Vm = 1 - \left( \frac{Cc}{\gamma_c} + \frac{Cb}{\gamma_b} + \frac{Ca}{\gamma_a} \right)$$

$$Vm = 1 - \left( \frac{375}{3100} + \frac{966,85}{2772} + \frac{205}{1000} \right) \quad (3)$$

$$Vm = 0,335$$

Vm – volume do agregado miúdo

Cc - consumo de cimento

Cb - consumo de agregado graúdo

Ca - consumo de água

$\gamma_c$  - massa específica do cimento

$\gamma_b$  - massa específica do agregado graúdo

$\gamma_a$  - massa específica da água

#### 6- Determinação do consumo de agregado miúdo (areia)

$$C_m = \gamma_m \times V_m$$

$$C_m = 2500 \times 0,335$$

( 4 )

$$C_m = 837 \text{ Kg/m}^3$$

$C_m$  - consumo de agregado miúdo

$\gamma_m$  - massa específica do agregado miúdo

$V_m$  - volume do agregado miúdo

- Apresentação do traço

Cimento : Agregado miúdo : Agregado graúdo :  $\frac{\text{Água}}{\text{Cimento}}$

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad ( 5 )$$

$$\frac{375}{375} : \frac{837}{375} : \frac{966,85}{375} : \frac{195}{375}$$

$$1 : 2,23 : 2,58 : 0,52$$

De acordo com o traço de referencia calculado o consumo de material por traço de concreto está disposto no Quadro 7.

**Quadro 7: Consumo de materiais por traço de concreto**

Traço	Consumo cimento	Consumo Areia	Consumo Brita Natural	Consumo Brita Reciclada	Consumo de água	Fator a/c
TR	9	20,07 kg	23,22 kg	0	4,63 kg	0,52
TCR50	9	20,07 kg	11,61 kg	11,61 kg	4,63 kg	0,52
TCR100	9	20,07 kg	0	23,22 kg	4,63 kg	0,52

Fonte: Próprio autor (2019)



Com o traço de referência calculado partiu-se para a mistura em betoneira dos traços de concreto, foram moldados no mesmo dia tanto o TR quanto o TCR50 e TCR100. Foi definido de acordo com o Quadro 8 que o concreto tivesse consistência medianamente plástica sendo assim adotado com resultado esperado no *Slump Test* o valor de  $40 \pm 10$ . A Figura 17 mostra o *Slump Test* sendo realizado, já a Tabela 13 contém os valores de abatimento obtidos dos corpos de provas através do *Slump Test*.

**Quadro 8 : Consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone**

Consistência	Abatimento (mm)
Seca	0 a 20
Medianamente plástica	30 a 50
Plástica	60 a 90
Fluida	100 a 150
Líquida	$\geq 160$

Fonte: Adaptado NBR 5738 (ABNT,2015)

**Figura 17: *Slump Test***



Fonte: Próprio autor (2019)

**Tabela 13 : Valores para *Slump Test***

Traço	Abatimento (mm)
TR	40
TCR50	30
TCR100	30

Fonte: Próprio autor (2019)

Os corpos de provas nas dimensões 10x30 foram moldados de acordo com as normas da NBR 5738 (ABNT, 2015) após a desmoldagem dos corpos de prova os mesmos foram colocados na câmara úmida do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA para a cura e posterior rompimento.

### 3.3.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

A resistência à compressão axial foi avaliada por meio do rompimento dos corpos de prova por prensa automática realizada aos 7 dias no Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA e em prensa manual aos 28 dias no laboratório da Engtec. O ensaio de resistência a compressão axial foi realizado conforme NBR 5739 (ABNT,2018). A Figura 18 mostra o ensaio de resistência a compressão axial sendo realizado no Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA com a utilização de presa automática já a Figura 19 demonstra o ensaio sendo realizado no laboratório da Engtec, já a Figura 18 mostra os corpos de prova após serem rompidos.

**Figura 18: Realização do ensaio automático de resistência a compressão axial**



Fonte: Próprio autor (2019)

**Figura 19: Realização do ensaio manual de resistência a compressão axial**



Fonte: Próprio autor (2019)

**Figura 20: Corpos de prova já rompidos**



Fonte: Próprio autor (2019)

## 4 RESULTADOS

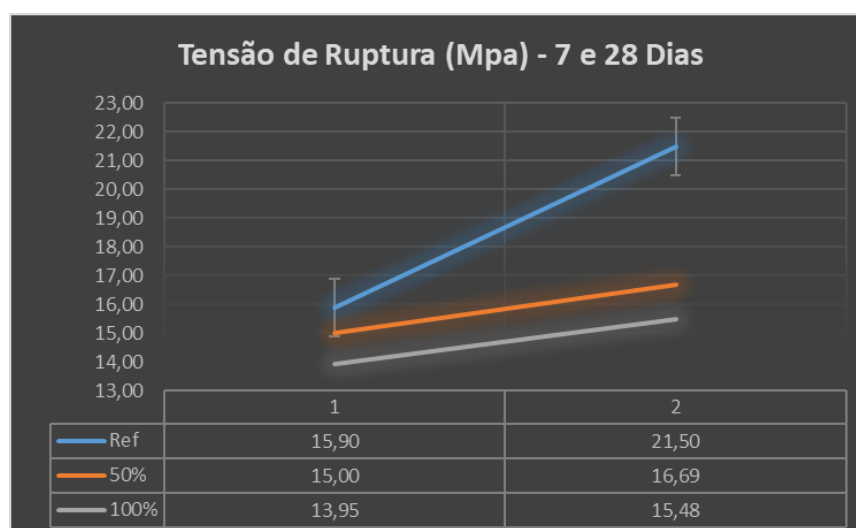
A Tabela 14 apresentam os valores obtidos no ensaio de a compressão axial para todos os traços nas idades de 7 e 28 dias, já na Figura 21 mostram um comparativo entre a resistência dos traços ensaiados.

**Tabela 14: Resultado da Resistencia a compressão axial.**

Traço	a/c	Resistencia a compressão (Mpa)	
		7 dias	28 dias
TR	0,52	15,9	21,5
TCR50	0,52	15	16,69
TCR100	0,52	13,95	15,48

Fonte: Próprio autor (2019)

**Figura 21: Gráfico resistência (Mpa) x Idade (Dias)**



Fonte: Próprio autor (2019)

Na Tabela 14 nota-se que os maiores níveis de resistência foram apresentados pelo TR, ou seja, o traço composto apenas por agregado graúdo natural obteve a maior resistência, esse resultado justificasse pelo fato do agregado reciclado ser um material heterogêneo com partículas de tijolos, azulejos, *drywall* dentre outros.

Nas demais misturas com agregado graúdo reciclado obteve-se níveis de resistência menores que o traço de referência, esses valores ficaram abaixo do valor de resistência mínimo para concretos estruturais que de acordo com a NBR 6118 (ABNT,2014) é de 20 Mpa, mostrando assim que é indicado o uso do concreto com agregado graúdo reciclado como substituto do agregado graúdo natural pra concretos que não tenham funções estruturais.

Analisando os resultados individualmente observa-se que o TR apresentou uma resistência aos 7 dias de 15,9 MPa enquanto o TCR50 apresentou resistência de 15 MPa, observa-se que a resistência se comparando os dois traços muito próximas

Na idade de 28 dias o TCR100 apresentou uma resistência de 15,48 MPa e o TCR50 apresentou uma resistência de 16,69 Mpa o que demonstra a viabilidade do uso do agregado graúdo reciclado como substituto do agregado graúdo natural quando não se trata de concretos estruturais.

## 5 CONCLUSÃO

Devido a crescente do mercado da construção civil e como consequência o aumento do consumo de recurso minerais não renováveis buscou-se com esse trabalho avaliar a viabilidade da substituição parcial ou total do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado nos teores de misturas de 100% e 50%, com trabalhabilidade sendo definida em  $40\pm 10$ mm. De acordo com os resultados obtidos nos ensaios realizados neste trabalho observa-se o comportamento físico do concreto reciclado como satisfatório pois constatou-se que o valor obtido no TCR100 aos 28 dias foi de 15,48 MPa e o TCR50 aos 28 dias foi de 16,69 MPa valores esses que embora estejam abaixo da resistência mínima para concretos estruturais de 20 Mpa definida pela NBR 6118 (ABNT,2014) esse concreto pode ser utilizado em concretos com função não estrutural como exemplo, calçadas, meio-fio, pisos, pré-moldados, blocos de fechamento, contra pisos dentre outros.

Analisando os dados de maneira geral pode afirmar-se que tanto o TCR50 e o TCR100 apresentaram valores para resistência a compressão axial satisfatórios, atestando assim seu uso na construção civil desde que o uso seja feito respeitando as limitações de sua resistência.

Quanto a questões econômicas o concreto com agregado graúdo reciclado se mostra com o custo menor para ser produzido, já que valor da tonelada de agregado graúdo natural na região de Goiânia, Goiás, Brasil tem custo médio de R\$ 45,00 enquanto o valor do agregado graúdo reciclado é encontrado na mesma região por um valor em torno de R\$ 26,00. A tonelada do agregado graúdo reciclado custa em média 45% a menos que a tonelada do agregado graúdo natural, essa economia na produção do concreto pode representar uma economia significativa no custo total da obra.

### 5.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS:

- Analisar a resistência do concreto reciclado em idades superiores a 28 dias.
- Analisar os resultados do concreto com AGR com outros cimentos na composição.
- Analisar a resistência do concreto com AGR com agregado miúdo reciclado em sua composição.
- Avaliar a resistência do concreto com AGR com aditivos em sua composição.

## REFERÊNCIAS

<sup>1</sup> Disponível em : < <https://www.cimentoitambe.com.br/tipos-de-cimento-portland/> >. Acesso em 09 mai. 2019

<sup>2</sup> Disponível em: < <http://www.revistamt.com.br/Materias/Exibir/na-boca-do-britador> >. Acesso em 03 dez. 2019

<sup>3</sup>Disponível em: < <http://www.revistamt.com.br/Materias/Exibir/na-boca-do-britador> >. Acesso em 03 dez. 2019

<sup>4</sup> Disponível em: < <http://www.ciplan.com.br/pt-br/produtos#cimento-portland> >. Acesso em 03 dez. 2019

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa aparente e absorção de água: NM 53**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003. 8 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado para concreto – Especificação: NBR 7211**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação da composição granulométrica: NM 248**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de: NBR NM 45**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos: NBR 15116**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2004 17 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão: NBR 7215**. 1 ed. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaios de compressão de corpos de provas: NBR 5739**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: NBR 5738**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2015. 12 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e: NBR NM-ISO 3110-1**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2010. 20 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento: NBR 6118**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014. 9 p.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo. 200 p.2011. Disponível em: <

<http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20Panorama%202001%20RSU-1.pdf> > Acesso em 09 mai. 2019.

AGOPYAN, Vahan. **Números dos desperdícios**. Revista Técnica, São Paulo. Editora Pini, n.53, p. 30-33. 2001. Disponível em:< <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/53/artigo285202-1.aspx> > Acesso em 09 mai. 2019.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2000.  
BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia (Org.). **Sumário mineral 2012**. 32. ed. Brasília, 2012. 147 p. Disponível em: < <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2012> > Acesso em 25 mai. 2019

BRASIL. Luiz Felipe Quaresma. Ministério de Minas e Energia (Ed.). **Agregados para construção civil: DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DUODECENAL (2010 - 2030) DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**. 30. ed. Brasília, 2009. 30 p.

BUTTLER, Alexandre Marques. **Concretos com agregados graúdos de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. 2003. 187p. dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-06082003172935/pt-br.php> >. Acesso em 04 mai. 2019.

CONAMA. **Resolução 307**: Gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: Mma, 2002. 2 p. Disponível em:< [http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/\\_arquivos/36\\_09102008030504.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf) >. Acesso em 28 maio. 2019.

CONAMA. **Resolução 348**: Gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: Mma, 2004. 1 p. Disponível em:< <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449> >. Acesso em 28 maio. 2019.

DEGANI, Clarice Menezes. **Sistema de Gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios**. 2003. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-28082003-161920/pt-br.php> >. Acesso em 04 mai. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (Brasil). Ministério de Minas e Energia. **Anuário mineral 2010**. 30. ed. Brasília, 2010. 871 p. Disponível em: < <http://www.anm.gov.br/dnpm/paginas/anuario-mineral/arquivos/anuario-mineral-brasileiro-2010> > Acesso em 25 mai. 2019.

DUART, Marcelo Adriano. **Estudo da Microestrutura do Concreto Com Adição de Cinza de Casca de Arroz Residual Sem Beneficiamento**. 2008. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Centro de Tecnologia – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: < <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7693/MARCELOADRIANODUART.pdf> > Acesso em 10 mai. 2019.



FERNANDES, Antônio Vitor Barbosa. AMORIM, Jose Ricardo Ribeiro. **Concreto sustentável aplicado na construção civil**. Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas. Aracaju, 2014. Disponível em: < <https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/download/1093/728>>. Acesso em 05 mai. 2019.

FOGUESATTO, André Frederico. **Estudo da Utilização de Areia Residual do Processo de Fundição Como Agregado Graúdo Para Concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007. Disponível em: < [http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/tcc-Titulos/2007/Estudo\\_de\\_Utilizacao\\_de\\_Areia\\_Residual\\_do\\_Processo\\_de\\_Fundicao\\_como\\_Agregado\\_para\\_Concreto.pdf](http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/tcc-Titulos/2007/Estudo_de_Utilizacao_de_Areia_Residual_do_Processo_de_Fundicao_como_Agregado_para_Concreto.pdf) >. Acesso em: 10 mai. 2019.

GRUBBA, David Christian Regis Pereira. **Estudo do Comportamento Mecânico de Um Agregado Graúdo Reciclado Para a Utilização na Construção Rodoviária**. 2009. 139p. dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-01122009-140152/en.php> >. Acesso em 04 mai. 2019.

JACQUES, Jeovani Rodrigues. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de concreto reciclado como agregado graúdo em concreto de cimento Portland**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí/RS, 2013.

MACEDO, Arlei Benedito; COIMBRA, Armando Marcio; NATIVIDADE, Henrique. **Projeto Diretrizes para Mineração de Areia na Região Metropolitana de São Paulo Fase I: Relatório Final**. São Paulo: CPRM, 1985. 1 v. Disponível em: < <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/6190?show=full> > Acesso em 12 fev. 2019.

MARIANO, Leila Seleme. **Gerenciamento de resíduos da construção civil com reaproveitamento estrutural: estudo de caso de uma obra com 4.000m<sup>2</sup> Curitiba**. 2008. 114p. dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: < [https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/147-Leila\\_Seleme\\_Mariano.pdf](https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/147-Leila_Seleme_Mariano.pdf) >. Acesso em 04 mai. 2019.

MEHTA, Providar Kumar.; MONTEIRO, Paulo. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MINERAL, Departamento Nacional de Produção (Org.). **Balanco mineral brasileiro 2001**. Brasília: Anm, 2001. 18 p. Disponível em:< <http://www.anm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/balanco-mineral-brasileiro-2001> >. Acesso em 04 mai. 2019.

MORAES, Mayara Queiroz. **Contribuição aos estudos da influência da nanossílica nas propriedades mecânicas e na trabalhabilidade de concretos para produção em centrais e para fabricação de pré-moldados**. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012. Disponível em: <

<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/3429/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Mayara%20Queiroz%20Moraes%20-%202012.pdf> > Acesso em 09 mai. 2019

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**, II Edição, São Paulo, Pini, 1997.

OLIVEIRA, Djane F. **Durabilidade de Compósitos de Concreto de Cimento Portland Produzidos com Agregados Reciclados da Construção Civil** / Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande, v1, n2, p.30-36, out. 2006. Disponível em: < <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/15/53>>. Acesso em 04 mai. 2019.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Gestão Ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SindusCon-SP. São Paulo**: Obra Limpa: I&T: SindusCON-SP, 48 p.2005. Disponível em: < <https://www.sindusconsp.com.br/wp-content/uploads/2015/09/MANUAL-DE-RES%3%8D DUOS-2015.pdf> >. Acesso em 05 mai. 2019.

PORTUGUÊS, Dicionário Online de. **Sustentabilidade**. 2019. Disponível em: < <https://www.dicio.com.br/sustentabilidade/> >. Acesso em 02 mar. 2019.

REZENDE, L.; LEVY, Salomon Mony; DJANIKIAN, João Gaspar. (1996). **Tratamento e Disposição de Concreto Residual em Centrais Dosadoras**. IN: Reunião do Ibracon, 38, Ribeirão Preto, 1996. Anais, São Paulo, Ibracon, 1996, v.2, p. 499-506. Disponível em: < <http://www.infohab.org.br/acervos/buscaautor/codigoAutor/39556>> Acesso em 16 abr. 2019.

SILVA, Leonardo Costa e; FELIX, Ludmylla Pires; SANTOS, Thiago Martins dos. **INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO**. 2014. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: < <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/35467> >. Acesso em 04 dez. 2019.

SOKOLOVICZ, Boris Casanova. **Microestrutura e Durabilidade A Cloretos de Protótipos de Concreto Com Cinza de Casca de Arroz Com e Sem Moagem Previa**. 2013. 152p. Disponível em: < <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7811> >. Acesso em 12 fev. 2019.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes; DEANA, Devidson Figueiredo. **Levantamento do estado da arte: consumo de materiais**. Projeto Finep 2386/04. Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo, 2007. Disponível em: < <http://carbonok.com.br/Downloads/HabitacaomaisSustentavel-D2-5-consumo-materiais.pdf> > Acesso em 12 fev. 2019.

TARTUCE, Eduardo Guida. **Concretos com Finos Recuperados: Uma Opção na construção Civil**. Associação nacional de pisos e revestimentos de alto desempenho, São Paulo, 2006. Disponível em: < [http://www.anapre.org.br/boletim\\_tecnico/edicao3.asp](http://www.anapre.org.br/boletim_tecnico/edicao3.asp) >. Acesso em 04 mai. 2019.

TARTUCE, Ronaldo. GIOVANETTI, Edio. **Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland**. São Paulo. Pini/IBRACON, 1990.

TENÓRIO, Jonathas Judá Lima. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção demolição visando aplicações estruturais**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007. Disponível em: < [http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes\\_arquivos/Dissertacoes/Jonathas%20Juda%20Lima%20Tenorio.pdf](http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Jonathas%20Juda%20Lima%20Tenorio.pdf) >. Acesso em 04 dez. 2019.

TORALLES, Berenice Martins et al. **Dosagem Experimental do Concreto - Método ABCP**. 10. ed. [s. L.]: Revista de Engenharia e Tecnologia, 2018. 198 p.

