



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Denny Carvalho Oliveira Junior

**ESTUDO DE CONCRETO DE RESÍDUO DE DEMOLIÇÃO:  
REAPROVEITAMENTO DE CORPO DE PROVA COMO AGREGADO.**

Palmas – TO

2017

Denny Carvalho Oliveira Junior

ESTUDO DE CONCRETO DE RESÍDUO DE DEMOLIÇÃO:  
REAPROVEITAMENTO DE CORPO DE PROVA COMO AGREGADO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito total para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior.

Palmas – TO

2017

Denny Carvalho Oliveira Junior

ESTUDO DE CONCRETO DE RESÍDUO DE DEMOLIÇÃO:  
REAPROVEITAMENTO DE CORPO DE PROVA COMO AGREGADO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito total para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP

---

Prof. Msc. Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP

---

Prof. Msc. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2017

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me presentear com o dom da vida.

Ao meu avô Divino e Zeca, por ser minha maior admiração como homem e ser humano. Que sempre esteve do meu lado acreditando em meu sucesso. (em memória)

Aos meus pais, por que sonharem juntos a mim, por não medirem esforços para me proporcionar o melhor da vida.

A minha namorada, por esta sempre ao meu lado depositando toda sua confiança e por me incentivar todos os momentos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus pelo dom da vida e todas as bênçãos concedidas em minha vida e por nunca me abandonar.

Este trabalho é fruto de incentivo e apoio de muitas pessoas cujo significado para mim é imensurável. Ao longo dos anos de curso, tive o prazer de conhecer várias pessoas que são extremamente importantes para o processo de aprendizado acadêmico e para a própria construção de ser humano.

Agradeço a minha família e amigos, e pela torcida de cada um. Acredito que sou muito privilegiado em ter por perto sempre pessoas tão solícitas.

Agradeço a minha amada Mãe, por todo apoio e incentivo aos meus sonhos, por fazer deles o seus, por que mesmo de longe sempre esteve presente acreditando na minha capacidade e compreendendo todas as vezes que esteve distante. Aquele que me inspira como pessoa, que possui minha admiração eterna, meu grande pai e amigo que nunca mediu esforços para realização dos meus sonhos e por me ensinar todos os dias a ser um homem honesto e temente a Deus. A irmã mais parceira e amada Laila Cristina que esteve ao meu lado em todos os momentos da minha vida, sendo por muitas vezes mãe, pai e amiga. Muito obrigado, por relevarem minhas variações de humor durante os períodos de entregas de projeto.

A minha namorada Thayla, meu muito obrigado por sempre estar ao meu lado em todos os momentos sejam eles bons ou ruins, sempre acreditando e me apoiando ao longo de toda essa jornada, sempre esteve firme ao meu lado, sendo, sobretudo minha melhor companhia, preocupando-se em me ajudar no que preciso para o desempenho de todas as tarefas.

Não posso esquecer-me dos meus avôs, que mesmo não estando mais entre nós, estiveram sempre ao meu lado contribuindo para minha formação pessoal, homens grandiosos que deixaram um legado brilhante. As minhas avós que são exemplo de vida e vigor que sempre buscam o melhor ao próximo. A minha tia Sonia por todos os conselhos e incentivos que serviam para que eu pudesse sempre está buscando crescer e a Kerla Sabryna que mais que prima é uma irmã que sempre me cuidou e esteve ao meu lado, a vocês meu obrigado por terem me dado e por acreditar em meu potencial.

Por fim, agradeço ao meu orientador Fernando Suarte por confiar em meu trabalho e por me dar o suporte necessário para a execução deste. E a todos os professores que contribuíram direta ou indiretamente em minha formação profissional.

*"O Senhor te guardará de todo mal;  
guardará a tua alma. O Senhor guardará a tua  
saída e a tua entrada, desde agora e para sempre."  
(Salmos 121:7-8).*

## RESUMO

JUNIOR, D. C. O. **Estudo de concreto de resíduo de demolição: reaproveitamento de corpo de prova como agregado.** 2017. 88f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharel em Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO.

A maioria dos processos de fabricação de um produto gera resíduo, sendo que estes mesmo resíduo pode ser reaproveitado de forma sustentável. Quando não se dispõem de uma tecnologia para o seu reaproveitamento, certamente este material será depositado na natureza e poderá ocasionar inúmeros problemas ambientais. Este trabalho trata da reutilização de concreto como agregado, para dosagens de concreto estrutural. Na maioria das vezes, os agregados provenientes de resíduos são considerados materiais de baixa qualidade, isso ocorre pelo desconhecimento de suas propriedades e da tecnologia para o seu emprego. Fazendo uma pesquisa bibliográfica, teórica e experimental, o objetivo deste estudo foi de uma maneira experimental, contribuir para o entendimento do material caracterizando algumas propriedades do agregado e do concreto reciclado.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Concreto. Agregado de resíduo.

## **ABSTRAT**

**JUNIOR, D. C. O. Concrete study of demolition waste: reuse of test specimen as an aggregate.** 2017. 88f. Dissertation (Graduation) – Bachelor's Degree in Civil Engineering at Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO.

Most of the manufacturing processes of a product can be reused in a sustainable way. When technology was not available for its reuse, this material will certainly be deposited in nature and can cause numerous environmental problems. This work deals with the reuse of concrete as added, for structural concrete dosages. Most often, waste aggregates are poor quality materials, this is due to ignorance of your real estate and technology for your employment. The objective of this study was to investigate the material characterizing some properties of the aggregate and to make recycled concrete.

key words: Sustainability. Concrete. Waste aggregate

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Resíduos de construção e demolição (RCD). .....	21
Figura 2 - Resíduos de construção (RC).....	21
Figura 3 - Resíduo de Demolição (RD).....	22
Figura 4 - Resíduos de Pré-moldados.....	22
Figura 5 - Resíduos industriais. ....	23
Figura 6 - Resíduo de corpo de prova de Laboratório.....	23
Figura 7 - Granulometria. ....	26
Figura 8 - Peneira de granulometria. ....	26
Figura 9 - Frasco de Chapman.....	27
Figura 10 - Resistência em relação ao tempo. ....	30
Figura 11 - Resistência em relação ao tempo. ....	31
Figura 12 - Ensaio de abatimento. ....	34
Figura 13 - Corpo de prova cilíndrico. ....	34
Figura 14 - Cura de concreto. ....	35
Figura 15 - Representação de traço. ....	36
Figura 16 - Luar Engenharia e Construções. ....	37
Figura 17- Trituração manual.....	38
Figura 18 - Trituração no triturador e no moinho de mandíbula.....	39
Figura 19– Armazenamento do material .....	39
Figura 20 - Localização do Cento Universitário Luterano de Palmas – CEUP/ULBRA. .....	40
Figura 21- Massa específica do agregado miúdo. ....	43
Figura 22 - Massa específica do agregado graúdo. ....	46
Figura 23 - Gráfico para a determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade. ....	47
Figura 24 - Consumo de água.....	48
Figura 25 - Determinação de volume de agregado graúdo por m <sup>3</sup> . ....	48
Figura 26 - Dosagem do traço 1. ....	67
Figura 27 - Ensaio de abatimento para o traço 1. ....	68
Figura 28 - Dosagem do traço 2. ....	69
Figura 29 - Ensaio de abatimento para o traço 2. ....	70
Figura 30 - Dosagem do traço 3. ....	71

Figura 31 - Ensaio de abatimento para o traço 3. ....	72
Figura 32 – Ensaio de abatimento para o traço 3. ....	73
Figura 33 - Dosagem para o traço 4. ....	73
Figura 34 - Ensaio de abatimento para o traço 4. ....	74
Figura 35 - Ensaio de abatimento para o traço 4. ....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação do tempo com a resistência do concreto.....	30
Tabela 2 - Composição Granulométrica NBR NM 248:2003. ....	41
Tabela 3 - Determinação da massa unitária.....	42
Tabela 4 - Composição granulométrica NBR NM 248:2003.....	44
Tabela 5 - Determinação da massa unitária.....	45
Tabela 6 - Composição granulométrica do agregado miúdo, 100% natural. ....	54
Tabela 7 - Composição granulométrica do agregado miúdo, 75% natural e 25% reciclado. .....	55
Tabela 8 - Composição granulométrica do agregado miúdo, 50% natural e 50% reciclado. .....	57
Tabela 9 - Composição granulométrica do agregado miúdo, 25% natural e 75% reciclado. .....	58
Tabela 10 - Composição granulométrica do agregado graúdo, 100% natural.....	61
Tabela 11 - Composição granulométrica do agregado graúdo, 75% natural e 25% reciclado.....	61
Tabela 12 - Composição granulométrica do agregado graúdo, 50% natural e 50% reciclado.....	62
Tabela 13 - Composição granulométrica do agregado graúdo, 50% natural e 50% reciclado.....	62
Tabela 14 - Massa unitária do agregado miúdo e graúdo.....	64
Tabela 15 - Massa específica do agregado graúdo e miúdo.....	65
Tabela 16 - Dosagem pelo o método ABCP, traço 1 – 100% natural. ....	68
Tabela 17 - Dosagem pelo o método ABCP, traço 2 – 75% natural e 25% reciclado. ..	69
Tabela 18 - Dosagem pelo o método ABCP, traço 2 – 75% natural e 25% reciclado + 5 litros de água.....	70
Tabela 19 - Dosagem pelo o método ABCP, traço 3 – 50% natural e 50% reciclado + 20 litros de água.....	72
Tabela 20 - Dosagem pelo o método ABCP, traço 4 – 75% natural e 25% reciclado + 40 litros de água.....	74
Tabela 21 – Abatimentos aprovados e reprovados.....	76
Tabela 22 - Compressão axial do traço referência. ....	77
Tabela 23 - Compressão axial do traço 75% natural e 25% reciclado. ....	78
Tabela 24 - Compressão axial do traço 50% natural e 50% reciclado. ....	78

Tabela 25 - Compressão axial do traço 75% natural e 25% reciclado. ....	79
Tabela 26 - Absorção de água. ....	81
Tabela 27 - Consumos dos materiais .....	81

## LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo, 100% natural. ....	54
Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo, 75% natural e 25% reciclado...	56
Gráfico 3 - Curva granulométrica do agregado miúdo, 50% natural e 50% reciclado...	57
Gráfico 4 - Curva granulométrica do agregado miúdo, 75% natural e 25% reciclado...	59
Gráfico 5 - Massa unitária do agregado miúdo e graúdo. ....	64
Gráfico 6 - Massa unitária do agregado miúdo e graúdo. ....	65
Gráfico 7 - Resistência dos corpos de prova. ....	79

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CP's	Corpos de prova
F a/c	Fator água/cimento
F <sub>cj</sub>	É a resistência á compressão de um concreto aos j dias
F <sub>ck</sub>	Resistencia característica à compressão do concreto
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
RC	Resíduos de Construção
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
RI	Resíduos Industriais
Tf	Tonelada força

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
1.1 OBJETIVOS .....	19
1.1.1 Objetivo Geral .....	19
1.1.2 Objetivos Específicos .....	19
1.2 JUSTIFICATIVA .....	19
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	20
2.1.1 Definição de sustentabilidade .....	20
2.1.2 Resíduos da construção civil .....	20
2.2 AGREGADOS .....	24
2.2.1 Definição de agregado .....	24
2.2.2 Agregado reciclado .....	24
2.2.3 Granulometria .....	25
2.2.4 Agregado miúdo .....	27
2.2.5 Agregado graúdo .....	28
2.3 AGLOMERANTES .....	29
2.3.1 Definição de aglomerantes .....	29
2.3.2 Tempo de pega .....	29
2.3.3 Início de pega .....	29
2.3.4 Fim de pega .....	29
2.3.5 Cimento .....	30
2.4 ADITIVOS .....	31
2.4.1 Classificação do aditivos .....	31
2.5 CONCRETO .....	32
2.5.1 Definição do concreto .....	32
2.5.2 Tipos de concreto .....	32
2.5.3 Propriedade do concreto ligadas ao agregado .....	33
2.5.4 Propriedades do concreto fresco .....	33
2.5.5 Propriedade do concreto endurecido .....	34
2.5.6 Água no concreto .....	35
2.5.7 Dosagem do concreto .....	35
2.5.8 Cura do concreto .....	36
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	37

3.2 COLETA DO MATERIAL DE ESTUDO .....	37
3.3 ARMAZENAMENTO .....	38
<b>3.3.1 Forma de obtenção do agregado graúdo reciclado e agregado miúdo reciclado .....</b>	<b>38</b>
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS .....	40
<b>3.4.1 Análise granulométrica do agregado miúdo natural e reciclado .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.1.1 Módulo de finura .....</b>	<b>41</b>
<b>3.4.1.2 Massa unitária .....</b>	<b>41</b>
<b>3.4.1.3 Massa específica .....</b>	<b>42</b>
<b>3.4.2 Análise granulométrica do agregado graúdo natural e reciclado .....</b>	<b>43</b>
<b>3.4.2.1 Massa unitária .....</b>	<b>44</b>
<b>3.4.2.2 Massa específica .....</b>	<b>45</b>
<b>3.4.3 Determinação do teor de material pulverulentos .....</b>	<b>46</b>
3.5 DOSAGEM PELO MÉTODO DE ABCP .....	47
3.6 MISTURA DO CONCRETO .....	50
3.7 ENSAIOS DO CONCRETO .....	51
<b>3.7.1 Abatimento .....</b>	<b>51</b>
<b>3.7.2 Determinação da absorção de água .....</b>	<b>51</b>
<b>3.7.3 Compressão Axial .....</b>	<b>51</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>53</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS .....	53
<b>4.1.1 Agregado Miúdo .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.1.1 Traço Referência .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.1.2 Traço 75% natural e 25 % reciclado .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1.1.3 Traço 50% natural e 50 % reciclado .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1.1.4 Traço 25% natural e 75 % reciclado .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1.2 Agregado Graúdo .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.2.1 Granulometria do material para o Traço Referência .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.2.2 Granulometria do material para o Traço 2 .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1.2.3 Granulometria do material para o Traço 3 .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.2.4 Granulometria do material para o Traço 4 .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.2 Massa unitária .....</b>	<b>63</b>
<b>4.1.3 Massa específica .....</b>	<b>64</b>
<b>4.1.4 Materiais pulverulentos .....</b>	<b>66</b>
4.2 CÁLCULO DA DOSAGEM .....	66

<b>4.2.1 Traço Referência.....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.2 Traço 75% natural 25% reciclado.....</b>	<b>68</b>
<b>4.2.3 Traço 50% natural 50% reciclado.....</b>	<b>70</b>
<b>4.2.4 Traço 25% natural 75% reciclado.....</b>	<b>73</b>
<b>4.5 RESISTÊNCIA Á COMPRESSÃO AXIAL.....</b>	<b>77</b>
<b>4.5.1 Traço Referência.....</b>	<b>77</b>
<b>4.5.2 Traço 75% natural 25% reciclado.....</b>	<b>77</b>
<b>4.5.3 Traço 50% natural 50% reciclado.....</b>	<b>78</b>
<b>4.5.4 Traço 25% natural 75% reciclado.....</b>	<b>78</b>
<b>4.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....</b>	<b>80</b>
<b>4.7 CONSUMO DOS MATERIAIS .....</b>	<b>81</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>82</b>
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>84</b>
<b>7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A busca incansável de desenvolver em todas as áreas da construção civil está cada vez maior, levando em consideração a demanda crescente nas construções em geral. Porém, é fundamental levantar a questão da sustentabilidade quando se refere à construção civil, já que é possível crescer respeitando todas as áreas ambientais. Sabendo que a sustentabilidade está diretamente ligada ao desenvolvimento econômico, social e material, é possível se ater aos recursos naturais de forma inteligente, para que os mesmos se mantenham no futuro, garantindo um desenvolvimento sustentável.

A crescente preocupação com o meio ambiente e a adoção do conceito de desenvolvimento sustentável pela indústria da construção civil, aliadas à escassez de jazidas de agregados naturais, ao elevado consumo energético requerido para o beneficiamento destes agregados e ao problema de espaço para a disposição final dos resíduos sólidos nos meios urbanos são alguns dos fatores que vêm determinando o crescente aumento de estudos para utilização de agregados reciclados na produção de concretos e argamassas.

Dentre os vários resíduos da construção civil, podemos citar os resíduos de concreto como tendo um dos maiores potenciais de utilização, devido ao conhecimento de suas propriedades básicas e seu menor grau de contaminação por outros materiais quando comparado com outros resíduos da construção. (BUTTLER, 2003).

Contudo, seguindo os parâmetros citados, a utilização de agregados reciclados na Engenharia Civil é impulsionada principalmente pela necessidade de solução para o que tange ao grande volume de resíduos do setor da construção civil. Desta forma, surgem estudos significativos para o melhor manuseio destes resíduos, comparando-os com dimensionamentos usuais com novas técnicas sustentáveis.

Há uma estimativa em que as concreteiras irão produzir cerca de 71,2 milhões de metros cúbicos de concreto, considerando um percentual de geração de resíduos de 9%, relata o diretor de mercado da Associação Brasileira de Cimento Portland Valter Frigieri (2016).

Portanto, o presente trabalho irá apresentar um estudo exploratório sobre o reaproveitamento de corpo de prova como agregado na construção civil, atendendo as demandas da cidade de Palmas – TO. Levantando todos os parâmetros necessários para a demolição dos resíduos do corpo de prova e classificando-os em relação a sua granulometria. Através dos estudos necessários, haverá elaboração de um concreto sustentável. Desta forma, verificando os três modelos apresentados com relação a sua viabilidade técnica e financeira.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Comparar e analisar o reaproveitamento de resíduo de concreto de corpo de prova como agregados (graúdo e miúdo) para a utilização na construção civil.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Classificar as propriedades granulométricas, massa específica, massa unitária, modo de finura, para utilizar como agregados para concreto.
- Desenvolver as dosagens de concreto pelo o método de ABCP para a resistência de 25 MPa, utilizando o agregado natural e agregado de concreto reciclado.
- Comparar as propriedades do concreto nos estados plástico e endurecido: consistência e a resistência dos quatros modelos distintos de concreto com 3, 7, 14 e 28 dias.
- Elaborar uma planilha comparativa de consumo dos materiais entre os traços propostos no trabalho.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento acelerado da população de Palmas - TO, segundo (censo de 2010 IBGE) a sua população estimativa foi de 228.332 para 279.856 habitantes, e por isso havendo um significativo aumento na construção civil. Alavancando assim um grande aumento de resíduos, ocasionando o impacto no meio ambiente. Para isso, a definição de RCD (Resíduos da Construção e Demolição) que possui a ideia necessária de reutilizar e obter controle dos resíduos de resto de construção.

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, podendo adquirir formas simples ou complexas com excelente desempenho e baixo custo. E como o Brasil é um país tradicionalmente construído em concreto. (ABCP, 2017). Portanto, o concreto na construção civil é primordial.

A geração de resíduos pela indústria da construção civil é um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade. Em muitos, países, existem regulamentações que tratam da disposição e o gerenciamento desses rejeitos com a aplicação de elevadas taxas sobre resíduos que são depositados no meio ambiente. Os resíduos de concreto produzidos são comumente depositados indiscriminadamente em vales, margens de rios, a céu aberto ou em aterros desprovidos de qualquer tratamento específico. (BUTTLER, 2003). Atualmente, nos laboratórios e na construção civil é observado um elevado volume de corpo de prova para a verificação de sua resistência onde o mesmo acaba sendo descartado após a essa análise, gerando assim um grande aumento nos resíduos sem ter um determinado fim.

Todavia, a grande preocupação é o acúmulo de materiais de resto de construções causando o desconforto visual e o impacto no meio ambiente. Deste modo, surgem diversas maneiras para melhor compor a reutilização deste material criando assim uma forma sustentável de construção. Portanto, é importante haver um reaproveitamento dos corpo de prova visando a diminuição de impactos ambientais futuros.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

#### **2.1.1 Definição de sustentabilidade**

Sustentabilidade é um termo usado para definir ações e atividades humanas que visam suprir as necessidades atuais dos seres humanos, sem comprometer o futuro das próximas gerações. Ou seja, a sustentabilidade está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e material sem agredir o meio ambiente, usando os recursos naturais de forma inteligente para que eles se mantenham no futuro. Seguindo estes parâmetros, a humanidade pode garantir o desenvolvimento sustentável (DIAS, 2009).

De acordo com Santos (2013), a minimização dos impactos ambientais tem mobilizado a sociedade, na busca de conceitos sustentáveis. A sustentabilidade pode ser definida como sendo aquele desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades. A indústria da construção civil e indústria concreteira, parece encontrar-se ainda um estágio incipiente de sustentabilidade.

O processo de produção de concreto é um dos maiores consumidores de matéria-prima virgem, como areia, pedra, cascalho moído e água fresca, gerando significativo impacto ambiental. Todavia, reside na produção do cimento Portland, ingrediente indispensável ao concreto, o maior impacto (SANTOS, 2013).

#### **2.1.2 Resíduos da construção civil**

No Brasil, resíduo de construção civil é conhecido com entulho, caliça ou metralha. Na linguagem técnica é Resíduo da Construção e Demolição (RCD) ou Resíduo da Construção Civil (RCC), é todo resíduo criado no processo construtivo, de reforma, escavação ou demolição (ABRECOM, 2017).

De acordo Levy (1997), os resíduos de construção e demolição são resíduos sólidos não contaminados, provenientes da construção, reforma, reparos e demolição de estruturas e estradas, e resíduos sólidos não contaminados de vegetação, resultante da limpeza e escavação de solos. Como resíduos, incluem-se, mas não se limitam blocos, concreto e outros materiais de alvenaria, solo, rocha, madeira, foros, argamassa, gesso encanamentos, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos que não camuflam a outros resíduos, fiação elétrica e equipamentos que não contenham líquidos perigosos e metais. A figura 1 representa esse tipo de resíduo.

Figura 1- Resíduos de construção e demolição (RCD).



Fonte: Alessandro Dias: Acessado em 30 de Março de 2017.

De acordo com a Figura 2, os resíduos de edificações, reforma e reparos de residências individuais, construções comerciais, e outras estruturas, são classificadas como resíduos de construção RC (LEVY 1997).

Figura 2 - Resíduos de construção (RC).



Fonte: Vertixcorp.com; acessado em 30 de Março de 2017.

Resíduos de Demolição (RD), são resíduos da destruição de construções e outras estruturas são classificados de resíduos de demolição. (LEVY 1997). Veja a representação da figura 3.

Figura 3 - Resíduo de Demolição (RD).



Fonte: Alessandro Dias; acessado em 30 de Março de 2017.

Resíduos de Pré-moldados, são resíduos originados nas empresas fabricantes de pré-moldados, provenientes da quebra indesejada ou erro de fabricação desse material. Conforme a figura 4.

Figura 4 - Resíduos de Pré-moldados.



Fonte: <http://ctrsp.com.br>; Acessado em 30 de Março de 2017.

Resíduos de Concreteiras e Laboratoriais, são resíduos originados nas empresas concreteiras do mau planejamentos na quantidade de concreto, provocando as sobras ou pelo o processo inevitável do controle tecnológico. De acordo com a figura 5.

Figura 5 - Resíduos industriais.



Fonte: Alessandro Dias; Acessado em 30 de outubro de 2017.

De acordo com a figura 6, os corpos de prova após serem submetidos a análise técnica são descartados em contêiner para serem encaminhados para o descarte.

Figura 6 - Resíduo de corpo de prova de Laboratório.



Fonte: Alessandro Dias; acessado em 30 de Março de 2017.

Sendo assim, é possível verificar que há diferentes classificações de resíduos no que tange a construção civil. Desta forma o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, traz no art. 3 resolução nº 307 os resíduos são definidos em quatro classes. Onde os de Classe A se enquadra nos resíduos reutilizados ou reciclados:

- De construção, reformas, demolição e reparos de pavimentação;
- De construção, demolição, reparos de edificações: argamassa, concreto componentes cerâmicos sendo eles de tijolos, blocos, telhas etc;
- De processo de fabricação ou demolição de peças pré-moldadas em concreto.

O de classe B, são provenientes de resíduos reciclados para destinações, como: papel, plástico, metais, madeira, vidros e outros.

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

Classe D, são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou oriundos de demolições, reformas e reparos ou aqueles contamináveis de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros (CONAMA, n°307).

## 2.2 AGREGADOS

### 2.2.1 Definição de agregado

Conforme Neville (2013), o agregado é um material granular sem forma e volume definido, de atividade química praticamente inerte. Constituído de dimensão e propriedade significativa para a fabricação de argamassa e concreto na obras de engenharia civil.

Segundo Bauer (2015), o termo “agregado” nos ramos da construção é conhecido, conforme cada caso, pelo nome específico: fíler, pedra britada, bica-corrída, rachão etc.

Os agregados podem ser classificados de duas maneiras, conforme a sua origem: Natural e artificiais. Naturais são aquelas que são encontrados na natureza de forma de agregados: são as areias e os pedregulhos ou seixo rolados. Artificiais são passados pelo o processo de industrialização, ou seja, aqueles que necessitam de um trabalho de aperfeiçoamento pela a ação do homem, até possuir a situação de uso como agregado, como por exemplo: areias e pedras obtidas pro moagem de fragmentos maiores (Petrucci, 1998).

A fase agregado é a principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. A massa específica do agregado graúdo influi diretamente na massa específica do concreto, sendo também diretamente proporcional à resistência do concreto, isto é quando maior a porosidade índice de vazios) do agregado, menor será sua resistência tornando-se o elo fraco da mistura (GONÇALVES, 2001).

### 2.2.2 Agregado reciclado

Um dos principais problemas dos concretos com agregados reciclados são suas propriedades de deformabilidade quando comparados com o concreto confeccionado com

agregados naturais. As propriedades de deformabilidade do material (módulo de elasticidade, retração por secagem e fluência), especialmente a retração por secagem, devem ser avaliadas mais detalhadamente visando à correta aplicação do material. O concreto com agregados graúdos reciclados apresentam uma retração por secagem de 30% a 60% maior se comparada com os resultados obtidos para concreto com agregados naturais (BUTTLE, 2003).

Conforme Aguiar (2004), a qualidade do resíduo de concreto, no caso de agregados graúdos reciclados é fundamental na determinação das propriedades mecânicas do novo concreto. A argamassa aderida ao reciclado pode representar o elo mais fraco da mistura, quando sua resistência for menor que a resistência da nova zona de transição; especialmente devido à sua maior porosidade.

Buttler (2003), diz que entre agregados naturais e agregados reciclados de concreto, para os agregados reciclados, a menor massa específica, maior absorção de água e principalmente a quantidade de argamassa aderida à superfície dos agregados que influencia desde as propriedades dos agregados até as do concreto produzido por ele, seja no estado fresco ou endurecido.

### **2.2.3 Granulometria**

De acordo com Ambrozewicz (2012), a grande qualidade dos concretos e argamassas é a influência da granulometria de um agregado, tanto no estado plástico e endurecido. A composição granulométrica é através do ensaio de peneiramento do agregado, no qual obtivemos as porcentagens, em massas, retidas, acumuladas, em um conjunto de peneiras padronizadas.

O concreto geralmente é produzido com agregados de dimensões que estão entre 10mm a 50mm, sendo que 20 mm um valor típico. A distribuição das dimensões é chamada de granulometria. A alternativa mais usual e sempre utilizada para uma boa qualidade de concreto é a obtenção de agregados separados em duas partes: graúdo e miúdo, como mostra a Figura 7. (Neville, 2013).

Figura 7 - Granulometria.



Fonte: Agregados na Construção Civil; acessado em 05 de março de 2017.

De acordo com a Figura 8, para melhor classificar os agregados quanto a sua granulometria é necessário haver o ensaio granulométrico onde o mesmo é realizado utilizando peneiras que apresentam diferentes dimensões granulométricas onde os materiais ficaram retido em cada malha da peneira.

Figura 8 - Peneira de granulometria.



Fonte: Agregados na Construção Civil; acessado em 05 de março de 2017.

## 2.2.4 Agregado miúdo

### 2.2.4.1 Definição do agregado miúdo

Conforme Petrucci (1998), define-se como agregado miúdo aquele material que passa na peneira n.º4, de abertura de malha quadrada de 4,8 mm de lado.

O processo de peneiramento é feita através de malhas de forma quadrada e uma seriação de abertura diferente, ou seja, cada abertura tenha sempre o lado duplo do lado da malha da peneira anterior. A malha do agregado miúdo é constituída a partir da abertura de 0,15 – 0,30 – 0,60 – 1,20 – 2,40 e 4,80 mm (Petrucci, 1998).

### 2.2.4.2 Massa unitária

Segundo Bauer (2015), massa unitária também é chamada de massa aparente ou massa barimétrica. É a massa da unidade de volume do agregado.

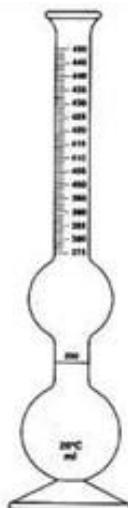
Conforme Petrucci (1998), massa específica aparente é o peso da unidade de volume, sendo considerado os vazios, permeáveis ou impermeáveis, contido nos grãos. O peso unitário tem grande importância na tecnologia, pois é através dele, que podem converter as composições das argamassas e concretos dadas em peso para volume e vice-versa.

### 2.2.4.3 Massa específica

A massa específica é também chamada massa específica absoluta. É a massa da unidade de volume do material de que se constituem os grãos do agregado (Bauer, 2015).

Conforme Petrucci (1998), a massa específica é determinado através da utilização do pnenômetro, da balança hidrostática ou pelo frasco de Chapman que é estabelecida pela a NBR 9976, cuja a massa é previamente medida em um estado seco.

Figura 9 - Frasco de Chapman.



Fonte: clubedoconcreto.com.br; acessado em 05 de março de 2017.

#### **2.2.4.4 Módulo de finura**

De acordo com Neville (2013), módulo de finura é calculado a partir da análise granulométrica, e conforme a ABNT NBR NM 248:2003. É definido como a soma das porcentagens retidas acumuladas na peneiras da série normal, menos os resíduos (<0,15) e assim é dividida por 100. Em geral, o módulo de finura é de suma importância para o agregado miúdo, pois os valores variam entre 2,3 e 3,0, sendo assim o valor mais alto indica um agregado mais grosso e essa variação pode afetar a trabalhabilidade do concreto fresco.

#### **2.2.4.5 Teor de umidade**

Segundo Petrucci (1998), é de suma importância ter o conhecimento do teor de umidade no estudo dos agregados miúdos.

A determinação do teor de umidade é necessária para corrigir a quantidade de água a ser usada no concreto ou argamassa, sendo assim, terá a resistência almejada (Ambrozewicz, 2012).

Conforme Petrucci (1998), há varias maneira de obter o teor de umidade: sendo por secagem em estufa, secagem direta ao fogo, pelo fraco de Chapman e outros.

### **2.2.5 Agregado graúdo**

#### **2.2.5.1 Definição do agregado graúdo**

Conforme Petrucci (1998), o agregado graúdo pode ser de origem natural, de origem artificial, ou seixo ou pedregulho, pela a acha da trituração mecânica de rocha, cascalho e pedra britada.

Ainda Petrucci (1998), para a classificação das pedras britadas é em relação as as dimensões obtida pelos os grãos. O diâmetro mínimo a abertura da peneira a qual possuem a uma porcentagem retida igual ou superior a 95%. Classificação do agregado graúdo é:

- Brita 0 ..... 4,8 – 9,5 mm;
- Brita 1 ..... 9,5 – 19 mm;
- Brita 2 ..... 19 – 25 mm;
- Brita 3 ..... 25 – 50 mm;
- Brita 4 ..... 50 – 76 mm;
- Brita 5 ..... 76 – 100 mm.

A definição de massa unitária, massa específica, módulo de finura e teor de umidade para o agregado graúdo tem a mesma característica tanto para o agregado miúdo e graúdo, conforme (Bauer,2015).

## 2.3 AGLOMERANTES

### 2.3.1 Definição de aglomerantes

Conforme Bauer (2015), chama-se de aglomerantes aos materiais ligantes que servem para solidarizar os grãos de agregado inertes. Os aglomerantes são minerais que, de fato misturado com água, formam pasta que endurece por processos físico-químicos, fazendo assim uma argamassa ou concreto.

Segundo Ambrozewicz (2012), os aglomerantes são divididos em duas etapas: Aglomerantes aéreos e aglomerante hidráulico.

- Aéreos: aglomerantes que são endurecidos pela ação química do CO<sub>2</sub> no ar, exemplo: a cal aérea e o gesso. São aqueles que não necessitam da água para ser endurecido.
- Hidráulicos: aglomerante que necessitam da ação da água para o processo de endurecimento, por exemplo: cal hidratada, cimento e outros.

### 2.3.2 Tempo de pega

A pega surge quando perder a fluidez da pasta. Ao adicionar água a um aglomerante hidráulico, depois de um certo período, começa a ocorrer reações químicas de hidratação, que após isso, dá o surgimento da formação dos compostos, que, aos poucos, vão fazendo com que a pasta perca sua fluidez, até que deixe de ser deformado com a ação de pequenas cargas e se torne rígida (Ambrozewicz, 2012).

Conforme Verçoza (1987), sobre o tempo de pega, a água tem uma grande influência. Por essa razão influi também sobre a resistência aos reagentes mecânicos, físicos e químicos. Quando mais exorbitante o consumo de água na pasta, mais demorada será a pega.

Segundo Bauer (2015), a caracterização da pega dos cimentos é feita através da determinação de dois tempos: início de pega e fim de pega.

### 2.3.3 Início de pega

Conforme Ambrozewicz (2012), para surgir o início de pega de um aglomerante hidráulico é quando começa a solidificação da pasta. É contado a partir do lançamento da água no aglomerante, até que começa as reações químicas com os compostos do aglomerante.

### 2.3.4 Fim de pega

Ambrozewicz (2012), diz que o fim de pega de um aglomerante hidráulico é quando chega a solidificação por completo. Isso não significa que o concreto tenha adquirido toda a sua resistência, o que só será conseguido após longo tempo ou anos.

### 2.3.5 Cimento

De acordo com Buttler (2003), o cimento é um pó fino com propriedades aglutinantes, que endurece pela ação da água. Após endurecido, permanece estável, mesmo que submetido à ação da água, e por isso, é realmente considerado um aglomerante hidráulico.

Imediatamente após o início da pega o cimento começa a adquirir resistência mecânica, mas essa resistência só é apreciável após o fim de pega. Através disso vai aumentando gradativamente, rapidamente no início, e tanto mais lentamente quando mais (Neville, 2013) afastado da hidratação. Não há uniformidade nos valores alcançados nem na forma da curva de resistência, mas, de uma maneira muito grosseira, tomando-se por base a resistência, em 4 semanas (28 dias) (Verçoza, 1987, p. 127).

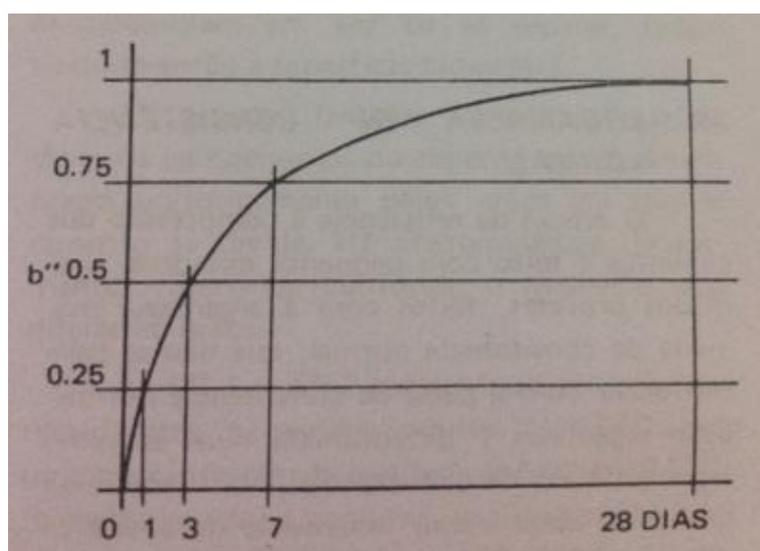
Tem-se:

Tabela 1 - Relação do tempo com a resistência do concreto.

Tempo	Resistência
1 dia	0,25
3 dias	0,50
7 dias	0,75
1 mês	1
2 anos	2
10 anos	4

Fonte: (Verçoza, 1987)

Figura 10 - Resistência em relação ao tempo.

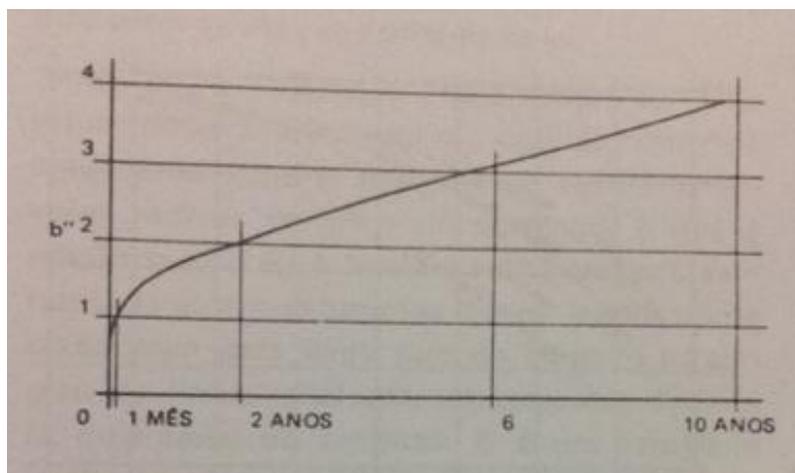


Fonte: (Verçoza, 1987)

Conforme ilustrado na Figura 10, o concreto em seu primeiro dia apresenta uma resistência calculada de 25%, ao terceiro dia o mesmo apresenta uma resistência de 50% e ao sétimo dia apresenta uma resistência de 75% referente a resistência calculada para

os 28 dias. Desta forma, o gráfico corresponderá a uma curva que se comportará de forma crescente. (VERÇOZA, 1987).

Figura 11 - Resistência em relação ao tempo.



Fonte: (Verçoza, 1987)

Levando em consideração a Figura 11, a resistência tem sido elevada rapidamente até aos 28 dias, após isso, continua sempre aumentando gradativamente ao passar dos anos.

## 2.4 ADITIVOS

Conforme Ambrozewicz (2012), aditivos são substância que se coloca ao concreto para melhorar suas características, porem não tem a função de corrigir defeitos provenientes de concreto maldosado ou malfeito. A sua aplicação é possível quando se deseja:

- Aumentar a resistência aos esforços mecânicos (plastificantes redutor de água);
- Melhorar a trabalhabilidade (plastificantes);
- Diminuir a retração (retardador);
- Aumentar a durabilidade (incorporador de ar);
- Melhorar o endurecimento em tempo frio (acelerador de pega);
- Retardar ou acelerar a pega (retardador ou acelerador) e outros.

### 2.4.1 Classificação do aditivos

Bauer (2015), diz que há varias forma de classificação dos aditivos. Destaca-se as que dividem em: plastificantes, incorporados de ar, produtos de cura, dispersores, impermeabilizantes e outros.

- Plastificantes - tem a função de melhorar a plasticidade de argamassas e concretos, ou seja, tem a melhor compactação com pouca energia.
- Incorporadores de ar – tem a função de melhorar a plasticidade e a durabilidade das argamassas e do concretos.

- Produtos de cura – após o lançamento do concreto esse aditivo é lançado por cima, serve para o concreto não evaporar a água nos primeiros dias
- Impermeabilizantes – dois modelos exemplares: por obturação dos poros ou por ação repulsiva sobre a água.

## 2.5 CONCRETO

### 2.5.1 Definição do concreto

Conforme Neville (2013), é necessário entender que pasta é a mistura do cimento com a água, argamassa é a mistura da pasta com agregado miúdo, e o concreto é a mistura da argamassa com o agregado miúdo e o graúdo.

Segundo Bauer (2015), na Engenharia Civil o material mais importante é o concreto, portanto, possui várias aplicações: estruturas, revestimentos, pavimentos, fundações e outros.

O concreto é um material de construção resultante de mistura, em quantidade racionais, de aglomerantes (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após a mistura o concreto fresco deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em fôrmas. As propriedades definidas para este momento são: consistência, textura, trabalhabilidade, integridade da massa, poder de retenção de água e massa específica (Ambrozewicz, 2012, p. 120).

### 2.5.2 Tipos de concreto

De acordo com Paise e Santos (2009), baseado na massa específica, o concreto pode ser classificado em três grandes categorias:

- O concreto contendo areia natural e seixo rolado ou pedra britada, geralmente pesando  $2.400 \text{ kg/m}^3$  é chamado concreto de peso normal ou concreto corrente e é mais usado geralmente para peças estruturais.
- Para aplicações em que se deseja uma alta relação resistência/peso, é possível reduzir a massa específica do concreto, usando-se certos agregados naturais ou processados termicamente que possuem baixa densidade. O termo concreto leve é usado para concreto cuja massa é menor que  $1.800 \text{ kg/m}^3$ .
- Por outro lado, concretos pesados, usados às vezes na blindagem de radiações, são concretos produzidos a partir de agregados de alta densidade e que geralmente pesa mais do que  $3.200 \text{ kg/m}^3$ .

Entretanto, é útil dividir o concreto em três categorias gerais, baseadas na resistência à compressão, referida aos 28 dias:

- Concreto de baixa resistência: resistência à compressão menor que 20 MPa;
- Concreto de resistência moderada: resistência à compressão de 20 a 40 MPa;
- Concreto de alta resistência: resistência à compressão superior a 40 Mpa

O concreto de resistência moderada é o concreto normal ordinário ou corrente, usado na maioria das estruturas. O concreto de alta resistência é usado para aplicações especiais como a construção de estruturas de concreto armado de edifícios com mais de 30 andares.

Há inúmeros concretos modificados que são denominados especificamente pelo nome: por exemplo, concreto reforçado com fibras, concreto com cimento expansivo, concreto modificado com látex (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

### **2.5.3 Propriedade do concreto ligadas ao agregado**

Segundo Bauer (2015), a propriedade do concreto ligado ao agregado esta dívida em:

- Resistência à compressão: a resistência à compressão, do concreto, depende do fator água/cimento (a/c), e também depende da distribuição granulométrica do agregado.
- Durabilidade: o agregado deve ser inerte, não reagindo com os agentes a que o concreto estiver exposto. Não deve conter produtos que possam reagir com o aço das armaduras nem ter componentes mineralógicos que reajam, quer com meio ambiente, quer com o cimento.
- Trabalhabilidade: a forma dos grãos é a característica que mais afeta a trabalhabilidade.

### **2.5.4 Propriedades do concreto fresco**

Segundo Bauer (2015), concreto fresco é constituído dos agregados miúdos e graúdos misturado por pasta de cimento e espaço cheio de ar. A pasta, por sua vez, é composta essencialmente de uma solução aquosa e grãos de cimento.

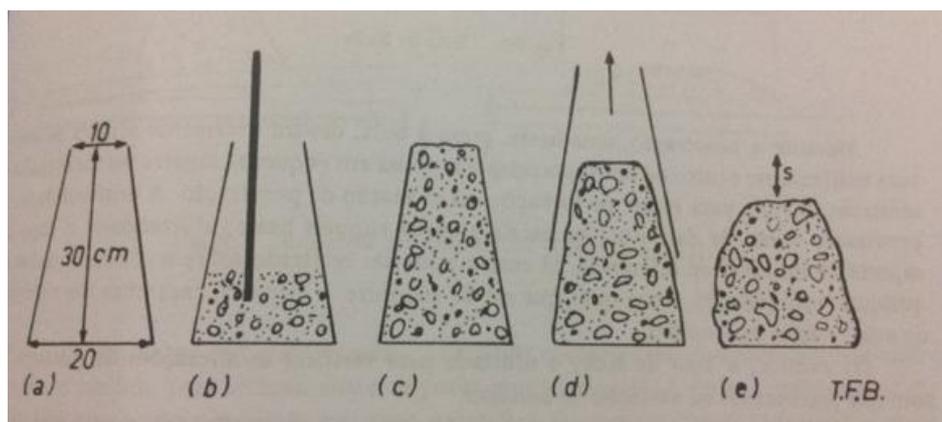
O mais importante na característica concreto fresco é a trabalhabilidade. Portanto, trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor habilidade para ser empregado com determinada finalidade, sem perda da sua homogeneidade (Petrucci, 1998).

A consistência está ligada a propriedade do concreto fresco, porem ela é o principal que influência a trabalhabilidade, ou seja, o grau de umidade do concreto relacionado com o grau de plasticidade da massa, isto é, maior facilidade de deformar-se sob a ação de cargas (Petrucci, 1998).

De acordo com Petrucci (1998), para medir a trabalhabilidade do concreto fresco é pela a deformação pela a aplicação de uma força predeterminada. Também, é medida pelo o esforço a uma deformação preestabelecida.

Conforme Bauer (2015), o nome do ensaio do concreto fresco é o abatimento do cone (slump test). Este ensaio é bastante usado em obra, devido à facilidade de operação e simplicidade do equipamento, como apresentado na figura 12.

Figura 12 - Ensaio de abatimento.



Fonte: (Bauer, 2015)

### 2.5.5 Propriedade do concreto endurecido

Segundo Bauer (2015), o concreto é considerado como sólido a partir da pega, ou seja, é um material em perpetua evolução.

Conforme Petrucci (1998), a massa específica do concreto normalmente utilizada é massa da unidade de volume, podendo ser armado que variar de 2.300 e 2.500 kg/m<sup>3</sup>.

De acordo com Petrucci (1998), o concreto é um material que possui uma ótima resistência à compressão. A resistência à compressão simples é a propriedade mecânica mais importante do concreto, não só porque o concreto trabalha predominantemente à compressão, como também porque fornece outros parâmetros físicos que podem ser relacionados empiricamente à resistência à compressão. O ensaio é realizado em corpos de prova cilíndricos conforme a Figura 13.

Figura 13 - Corpo de prova cilíndrico.



Fonte: Agregados na Construção Civil; acessado em 05 de março de 2017.

Conforme Ambrozewicz (2012), os corpos de prova é padronizados com 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura, ou 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura curados em câmara úmida, de acordo a Figura 14.

Figura 14 - Cura de concreto.



Fonte: Agregados na Construção Civil; acessado em 05 de março de 2017.

### 2.5.6 Água no concreto

As águas potáveis são boas para uso nas misturas de concreto, embora nem todas as águas consideradas de boa qualidade para concreto sejam potáveis. Os efeitos dos agentes agressivos ao concreto, provenientes das impurezas da água de mistura, são bem menores do que o efeito do mesmo líquido em contato permanente com o concreto. Isto porque, no primeiro caso, terminadas as reações dos elementos com os compostos do cimento, paralisa-se a agressão. Na segunda situação, quando a mesma água permanece em contato com o concreto, o ataque é contínuo até a destruição da estrutura do cimento hidratado (PAISE e SANTOS, 2009).

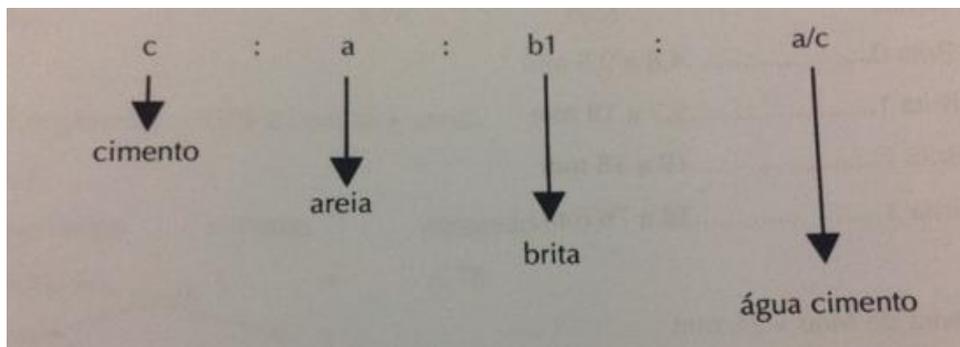
### 2.5.7 Dosagem do concreto

De acordo com Ambrozewicz (2012), a dosagem é ato de misturar os constituintes do concreto, a fim de, conseguir um material plástico com as características esperadas.

Conforme Ambrozewicz (2012), há dois tipos de dosagens. A primeira consiste em fazer o proporcionamento dos matérias em bases arbitrárias, fixadas pela a experiência do Engenheiro, cuja denominação é dosagem empírica ou experimental. E a segunda, consiste em fazer o proporcionamento dos matérias constituintes, bem como do produto resultante, cuja denominação é dosagem racional ou experimental.

O traço especificado para o concreto indica as proporções que devem ser utilizadas de cada constituintes do concreto, para que este apresente as características exigidas em projetos e na obra. O traço é sempre expresso em massa ou volume e tem sempre como referência o aglomerante (Ambrozewicz, 2012, p. 150). Conforme a figura 15.

Figura 15 - Representação de traço.



Fonte: (Ambrozewicz, 2012)

### 2.5.8 Cura do concreto

Conforme Verçoza (1987), assim como as argamassas, o concreto apresenta um período de pega e um de endurecimento. Durante a pega ocorrem as reações químicas, com formação de gel. Já o processo do endurecimento, é ocorrido através da expulsão da água. O tempo que inclui a pega e endurecimento é chamado de cura do concreto.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho constituiu-se em um estudo de caso exploratório com característica qualitativo e quantitativo, onde houve a comparação e o estudo dos corpos de prova reaproveitados. De tal maneira foi obtido os parâmetros necessários com relação a seu estado fresco e endurecido, sendo que foi executado um estudo para melhor compor um concreto sustentável, atendo-se a corpos de prova como agregado. O mesmo foi confrontado com os resultados obtidos de um concreto convencional e posteriormente um concreto que foi executado com parcialidade dos agregados atendendo os outros dois tipos de concreto distintos.

#### 3.2 COLETA DO MATERIAL DE ESTUDO

Com objetivo da obtenção das amostras representativas dos materiais a serem analisados, foi realizado as coletas com finalidade de utilizar corpo de prova, do tipo classe A parte “b” referente à resolução (CONAMA, n° 307). Os corpos de prova foram doados pela Empresa Luar Engenharia e Construções, situada na 308 Sul, Alameda 07, Lote 28, Casa 02 na cidade de Palmas-TO, conforme a Figura 16.

Figura 16 - Luar Engenharia e Construções.



Fonte: Google Earth, 2017.

Após a obtenção dos corpos de prova, os mesmos foram levados para análise (granulometria, módulo de finura, massa unitária e massa específica) em laboratório para

melhor atender os objetivos apresentados neste trabalho. Os estudos foram realizados no laboratório do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), localizado na Avenida Joaquim Teotônio Segurado, quadra 1501 Sul, plano diretor sul de Palmas-TO.

### 3.3 ARMAZENAMENTO

#### 3.3.1 Forma de obtenção do agregado graúdo reciclado e agregado miúdo reciclado

Hansen (1985) cita em seu trabalho que após terem sido realizadas a britagem de peça de concreto, constatou-se que a fração graúda ficava em torno de 70% do total dependendo da regulagem do britador. A partir desse índice, foi determinada a quantidade necessária para a realização de trabalho.

Para obter o Agregado graúdo e miúdo reciclados, foi necessário coletar em torno de 0,2 metros cúbicos, ou seja, 200 litros de entulho. Para despedaçar os corpos de prova, foi utilizando uma marreta de forma manual até chegar ao diâmetro de 2 a 5 cm como ilustra a Figura 17 e após isso foi triturado no triturador e em seguida no moinho de mandíbula ambos localizado no laboratório de geotécnica de acordo com a Figura 18.

Figura 17- Trituração manual



Fonte: Autor, 2017

Figura 18 - Trituração no triturador e no moinho de mandíbula



Fonte: Autor, 2017

Após o processo da trituração para agregado graúdo e miúdo reciclado, foram armazenados em recipientes diferentes (sacos de fibras) do agregado graúdo e miúdo natural conforme a Figura 19, dentro do laboratório da construção da instituição CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS – CEULP/ULBRA, conforme a Figura 20. Onde assim adquiriu a melhor organização do material evitando perda e abrigo para proteger da chuva.

Figura 19– Armazenamento do material



Fonte: Autor, 2017

Figura 20 - Localização do Cento Universitário Luterano de Palmas – CEUP/ULBRA.



Fonte: Google Earth, 2017.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

#### 3.4.1 Análise granulométrica do agregado miúdo natural e reciclado

Seguindo os parâmetros da ABNT NBR NM 248:2003 Agregados – Determinação da composição granulométrica.

Foi verificado para ambas as composições 500 gramas de material que foram submetidos a um ensaio de granulometria com o auxílio de peneiras com diâmetros nominais de 4,8; 2,4 ;1,2; 0,6; 0,3; 0,15. Para o agregado miúdo reciclado e natural, encaixar as peneiras, previamente limpas, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Desta forma, as peneiras foi contidas por um processo de peneiração eletrônica por 60 segundos, sendo que o mesmo onde causou um processo de agitação nas partículas. Tendo em vista que é o tempo necessário para que os grãos que apresentam diâmetros menores passem pelas peneiras de diâmetros maiores até ficarem retidos nas peneiras que apresentam diâmetros significativos para a determinação de cada agregado.

Posteriormente foi verificado cada peneira, sendo que a mesma passou por um processo de uma pesagem para modo de determinar a porcentagem retida em relação à massa total dos materiais retidos em cada peneira. Logo em seguida, foi realizada uma média para as porcentagens retidas, visando determinar a porcentagem retida acumulada

média. Portanto, é importante ressaltar que o mesmo procedimento passou por duas sequências tanto para o agregado natural, como para o agregado reciclado, afim de melhor atender e atingir resultados satisfatórios para os cálculos da análise granulométrica de cada amostra.

Apresentando-se para cada peneira a sua porcentagem retida que é apresentada utilizando o *software* Excel, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Composição Granulométrica NBR NM 248:2003.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA NBR NM 248:2003						
PENEIRA (mm)	1° DETERMINAÇÃO		2° DETERMINAÇÃO		% RETIDA MÉDIA	% RETIDA ACUMULADA MÉDIA
	PESO RETIDO	% RETIDA	PESO RETIDO	% RETIDA		

Fonte: Autor, 2017.

#### 3.4.1.1 Módulo de finura

Atentando-se as diretrizes da ABNT NBR NM 248:2003, onde relata que o módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90, sendo assim foi realizado a somatória da porcentagem acumulado média das peneiras 4,8;2,4;1,2;0,6;0,3;0,15 e divida pela porcentagem total 100 por cento. Obtendo-se o módulo de finura tanto para o agregado miúdo natural como para o agregado reciclado.

Sendo:

$$MF = \frac{\sum \% \text{RETIDA ACUMULADAS}}{100} \quad (A)$$

MF= Módulo de finura.

#### 3.4.1.2 Massa unitária

Para a verificação da massa unitária dos materiais foi utilizado a NBR NM 45:2006 Determinação da Massa Unitária do Agregado em estado solto.

Para a determinação da massa unitária foi necessário o uso de um recipiente paralelepípedo, sendo que o próprio foi cheio com o agregado miúdo, tanto para o reciclado e como para o natural. Sendo ambos levemente compactados, com o auxílio da

haste para regularizar a superfície do material. Após a regularização da superfície do agregado o recipiente mais o agregado foram levados até a balança para a pesagem. Para esse procedimento foi feito por mais duas vezes, onde foi obtido uma média para ambas amostras. Determinação da massa unitária Tabela 3.

Tabela 3 - Determinação da massa unitária.

<b>DETERMINAÇÃO</b>	<b>Vol. do recipiente (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa do recipiente + amostra (kg)</b>	<b>Massa do recipiente (kg)</b>	<b>Massa unitária (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>
---------------------	--	---	---------------------------------	---

Fonte: Autor, 2017.

Portanto, foi encontrado o valor da massa unitária, pela fórmula abaixo:

$$\delta = \frac{M_{r+a} - M_r}{V_r} \quad (B)$$

Onde:

$\delta$  = Massa unitária;

$M_{r+a}$  = Massa do recipiente + amostra;

$M_r$  = Massa do recipiente;

$V_r$  = Volume do recipiente.

### 3.4.1.3 Massa específica

Com o auxílio da NBR NM 52:2009 Agregado miúdo – Determinação de massa específica, para a determinação da massa específica foi colocada a amostra em uma estufa entre 105°C até 110°C até constância de massa. De acordo com a Figura 21 o material foi colocado em um frasco com água até marca de 200 cm<sup>3</sup>, deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas escorram totalmente; em seguida introduzir, cuidadosamente, 500 g de agregado miúdo seco no frasco o qual deve ser devidamente agitado para eliminação das bolhas de ar.

Figura 21- Massa específica do agregado miúdo.



Fonte: Autor, 2017.

A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indica o volume, em  $\text{cm}^3$ , ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo, alertando-se para que as faces internas devam estar completamente secas e sem grãos aderentes. O procedimento foi realizado para ambas as amostras duas vezes. A massa específica do agregado miúdo é calculada pela a fórmula abaixo:

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (\text{C})$$

Onde:

$L$  = Leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água + agregado miúdo)

$\gamma$  = Massa específica.

### 3.4.2 Análise granulométrica do agregado graúdo natural e reciclado

De acordo com que foi apresentado na análise anterior, para o agregado graúdo também foi utilizado a ABNT NBR NM 248:2003, que visa determinar a composição granulométrica dos agregados. Sendo que para a determinação de ambas as amostras foi utilizado 5000 gramas de material, onde os mesmos foram submetidos a um peneiramento manual a partir da peneira de 19mm, em seguida a um ensaio de peneiramento com o auxílio de peneiras de serie normal e intermediaria com diâmetros nominais de 25; 19; 12,5; 6,3; 4,8. Para o agregado graúdo reciclado e natural, encaixar as peneiras,

previamente limpas, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Desta forma, as peneiras foram contidas por um processo de peneiração eletrônica por 60 segundos, sendo que o mesmo causou um processo de agitação nas partículas. Tendo em vista que foi o tempo necessário para que os grãos que apresentam diâmetros menores passem pelas peneiras de diâmetros maiores até ficarem retidos nas peneiras que apresentam diâmetros significativos para a determinação de cada agregado.

Posteriormente foi verificada cada peneira, sendo que a mesma foi submetida a uma pesagem para modo de determinar a porcentagem retida em relação à massa total dos materiais retidos em cada peneira. Logo em seguida, foi realizada uma média para as porcentagens retidas, visando determinar a porcentagem retida acumulada média. Portanto, é importante ressaltar que o mesmo procedimento foi duas sequências tanto para o agregado natural, como para o agregado reciclado, afim de melhor atender e atingir resultados satisfatórios para os cálculos da análise granulométrica de cada amostra. Conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Composição granulométrica NBR NM 248:2003.

<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA NBR NM 248:2003</b>						
<b>PENEIRA (mm)</b>	<b>1° DETERMINAÇÃO</b>		<b>2° DETERMINAÇÃO</b>		<b>% RETIDA MÉDIA</b>	<b>% RETIDA ACUMULADA</b>
	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>		

Fonte: Autor, 2017.

### 3.4.2.1 Massa unitária

Para a verificação da massa unitária dos materiais foi utilizado a NBR NM 45:2006 Determinação da Massa Unitária do Agregado em estado solto. Para a determinação da massa unitária foi necessário o uso de um recipiente paralelepípedo, sendo que o próprio foi cheio com o agregado graúdo, tanto para o reciclado e como para o natural. Sendo ambos levemente compactados, com o auxílio da haste para regularizar a superfície do material. Após a regularização da superfície do agregado o recipiente mais

o agregado foram levados até a balança para a pesagem. Para esse procedimento foi feito por mais duas vezes e obter uma média para ambas as amostras. De acordo a Tabela 5.

Tabela 5 - Determinação da massa unitária.

<b>DETERMINAÇÃO</b>	<b>Vol. do recipiente (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa do recipiente + amostra (kg)</b>	<b>Massa do recipiente (kg)</b>	<b>Massa unitária (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>
---------------------	--	---	---------------------------------	---

Fonte: Autor, 2017.

Portanto, o valor da massa unitária, é dada pela à fórmula abaixo:

$$\delta = \frac{M_{r+a} - M_r}{V_r} \quad (D)$$

Onde:

$\delta$  = Massa unitária;

$M_{r+a}$  = Massa do recipiente + amostra;

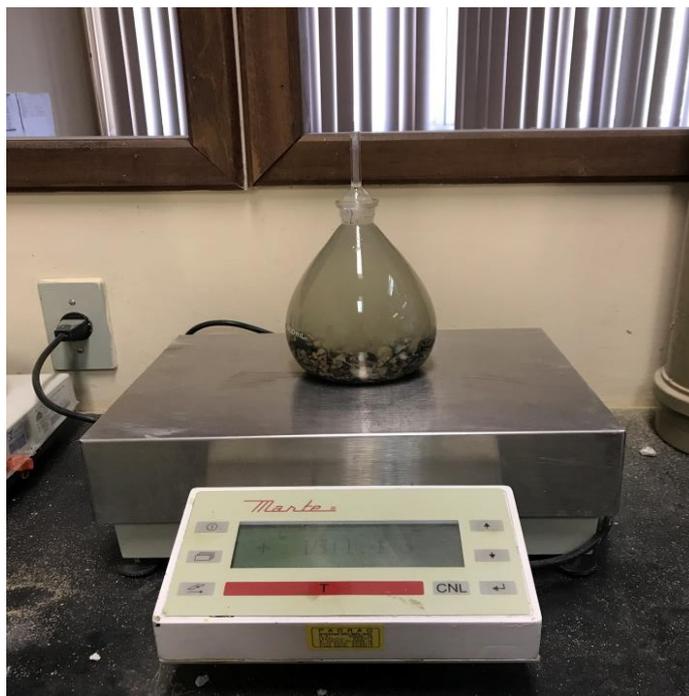
$M_r$  = Massa do recipiente;

$V_r$  = Volume do recipiente.

### 3.4.2.2 Massa específica

Foi determinada, a massa unitária do agregado graúdo de acordo com a IPT NBR 9776 – Determinação da massa específica de agregados pelo o método do picnômetro. Foi utilizada de aparelhagem a balança de precisão de 0,1g, picnômetro de 1000 ml, estufa, pincel, água, bandejas e o material. Foi levado o material sobre a peneira 4,8 mm para a retirada dos finos e secado o material em estufa (100 – 110)°C, após encher o picnômetro com água até aproximadamente 90% da sua capacidade e com a ajuda do bastão de vidro para agitar e eliminar os vazios.

Figura 22 - Massa específica do agregado graúdo.



Fonte: Autor, 2017.

Depois colocou a tampa do picnômetro e completou com água até a marca de referência. Pesou o mesmo com a água e anotou a massa (A), depois foi retirado uma parte da água, adicionar 200g de agregado graúdo e água para encher o picnômetro até 90% de sua capacidade. Após foi eliminado as bolhas de ar, colocou a tampa no picnômetro e completou com água até a marca de referência e pesou e anotou a massa (B) conforme a Figura 22. Após foi utilizada a fórmula abaixo:

$$\text{Massa específica} \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{200}{A+(200-B)} \quad (E)$$

O resultado do ensaio é a média de duas determinações tanto para o agregado graúdo natural e reciclado.

### 3.4.3 Determinação do teor de material pulverulentos

Para a determinação do teor de material pulverulentos dos agregados, foi feito de acordo com a ABNT NBR NM 46:2003 - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.

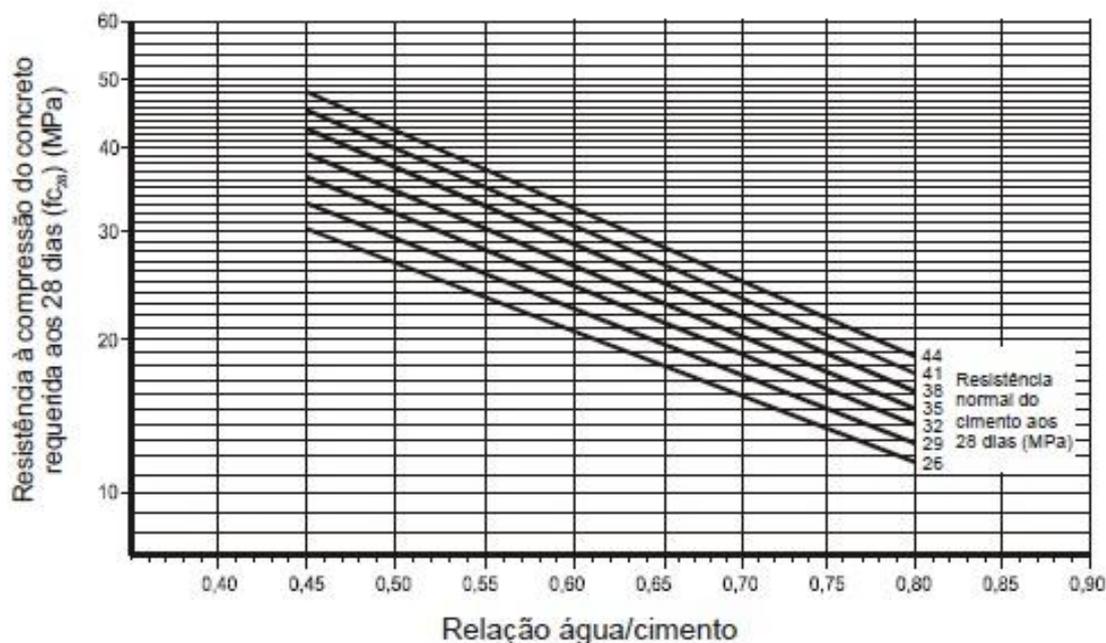
### 3.5 DOSAGEM PELO MÉTODO DE ABCP

Para a elaboração da dosagem dos corpos de prova foi seguido o método da Associação Brasileira Cimento Portland, atentando-se a todas as características dos materiais, para os agregados é necessário o conhecimento do seu módulo de finura e a dimensão máxima do agregado graúdo, massa específica e massa unitária compactada. Para obter determinada resistência de 25 MPa aos 28 dias será necessário a partir do cálculo do  $F_{cj}$  onde foi fixado um abatimento de  $90 \pm 10$  milímetros e mantendo o fator água cimento para todos, com a utilização do cimento Tocantins CP 2 F 32.

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 * S_d \quad (F)$$

Onde o  $S_d$  apresentou a combinação A -  $S_d = 4,0 \text{ MPa}$  (rigoroso) e o fator água/cimento foi fixado pela curva de Abrams do cimento. Sendo assim, a resistência requerida aos 28 dias foi traçada uma reta com relação ao cimento com 28 dias e a partir daí extrair a relação do fator água/cimento. Conforme a figura 23.

Figura 23 - Gráfico para a determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade.



Fonte: [www.abcp.org.br](http://www.abcp.org.br): acessado em 09 de abril de 2017.

Após isso foi fixado um abatimento em relação ao diâmetro máximo do agregado para adquirir o consumo máximo de água em  $\text{m}^3$ . Conforme a figura 24.

Figura 24 - Consumo de água.

Consumo de água aproximado ( $l/m^3$ )					
Abatimento (mm)	D <sub>máx</sub> agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: www.abcp.org.br: acessado em 09 de abril de 2017.

Em seguida o cálculo de consumo de cimento que se dar a partir de:

$$Cc = \frac{Ca}{\frac{a}{c}} \quad (G)$$

Onde:

Cc é o consumo de cimento;

Ca é o consumo de água; e

a/c é a relação água/cimento.

Para a obtenção do consumo de agregado graúdo é através da determinação do módulo de finura da área em relação ao diâmetro máximo do agregado graúdo conforme a Figura 25:

Figura 25 - Determinação de volume de agregado graúdo por  $m^3$ .

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
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	0,585	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: www.abcp.org.br: acessado em 09 de abril de 2017.

Logo, para a determinação do consumo de brita é determinado pela seguinte equação

$$Cb = Vb * Mu \quad (H)$$

Onde:

Cb é o consumo de brita;

Vb é o volume de agregado graúdo seco por m<sup>3</sup> de concreto; e

Mu é a massa unitário do agregado graúdo.

A partir dos resultados encontrados nas análises anteriores será utilizando a seguinte fórmula para determinação do consumo de agregado miúdo.

$$Vm = 1 - \left( \left( \frac{Cc}{\gamma c} \right) + \left( \frac{Cb}{\gamma b} \right) + \left( \frac{Ca}{\gamma a} \right) \right) \quad (I)$$

Onde:

Vm é o volume da areia;

Cc é o consumo de cimento;

Cb é o consumo de brita;

Ca é o consumo de água;

$\gamma c$  é a massa específica do cimento;

$\gamma b$  é a massa específica da brita; e

$\gamma a$  é a massa específica da água.

Por fim, foi determinado o consumo de areia e a apresentação do traço a ser utilizado pelas seguintes equações:

$$Cm = \gamma m * Vm \quad (J)$$

Sendo:

$C_m$  é o consumo de areia; e

$\gamma_m$  é a massa específica da areia.

$$\left(\frac{Cc}{Cc}\right) : \left(\frac{Cm}{Cc}\right) : \left(\frac{Cb}{Cc}\right) : \left(\frac{Ca}{Cc}\right) \quad (K)$$

Segue este parâmetro para as quatro amostras definido juntamente com o orientador. Conforme abaixo:

- Traço Referência: Cimento + Agregado Miúdo Natural + Agregado Graúdo Natural + Água;
- Traço 2: Cimento + (Agregado Miúdo Natural 75% + Agregado Miúdo de Resíduo Industrial 25%) + (Agregado Graúdo Natural 75% + Agregado Graúdo Resíduo Industrial 25%) + Água;
- Traço 3: Cimento + (Agregado Miúdo Natural 50% + Agregado Miúdo de Resíduo Industrial 50%) + (Agregado Graúdo Natural 50% + Agregado Graúdo de Resíduo Industrial 50%) + Água;
- Traço 4: Cimento + (Agregado Miúdo Natural 25% + Agregado Miúdo de Resíduo Industrial 75%) + (Agregado Graúdo Natural 25% + Agregado Graúdo de Resíduo Industrial 75%) + Água.

### 3.6 MISTURA DO CONCRETO

O procedimento que foi adotado para a mistura dos materiais foi introduzido na betoneira estacionária conforme a NBR 12655:2015 Concreto- Preparo, controle, recebimento e aceitação, os materiais na seguinte ordem, primeiramente o agregado graúdo mais 50% da água de amassamento logo depois o cimento e o restante da água, por fim o agregado miúdo. Foi realizado o mesmo procedimento para os três traços distintos, onde ficaram submetidos aproximadamente a 2 minutos de rotação dentro da betoneira.

## 3.7 ENSAIOS DO CONCRETO

### 3.7.1 Abatimento

Para fins de determinar o abatimento do material foi seguido os parâmetros apresentados na NM 67:1996 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, com ensaio de abatimento (slump test), que seguiu da seguinte maneira: foi umedecido o molde e a placa de base, logo após teve que colocar o cone sobre a placa de base. Sendo que para obter estabilidade foi posicionado com os pés sobre as aletas do cone, foi preenchido rapidamente até preencher um terço do volume total e dado 25 golpes, em seguida foi colocado mais um terço representativo e seguiu com os 25 golpes e por fim preenchido todo o recipiente e dado 25 golpes com o auxílio da haste. Em seguida o cone foi retirado de forma adequada e posicionado de forma invertida ao lado do material para que haja a medição com o auxílio da haste em cima do cone invertido. Adquirindo-se o resultado do abatimento para a partir daí realizar a verificação necessário segundos os parâmetros da dosagem adquirida.

### 3.7.2 Determinação da absorção de água

Para determinar a absorção de água foi através da ABNT NBR 9778: 2009 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Para este ensaio foi moldado dois corpos de prova para cada traço.

### 3.7.3 Compressão Axial

Foram realizados quatro traços e analisados com 3, 7, 14, e 28 dias que resultou em 12 cilindros para cada traço totalizando 48 corpos de prova que foram estudados.

De acordo com a NBR 5738:2015, foi dimensionados os corpos de prova de 10x20 cm para cada amostra. Foi modelados três corpos de prova para cada traço para seus significativos dias ditos anteriormente. Para modelagem foi necessário colocar aproximadamente 50 por cento do volume do recipiente e logo em seguida foi dado 12 golpes, depois preencher o recipiente com a amostra e dar mais 12 golpes e por fim com o auxílio da espátula foi uniformizado a superfície exposta. Após 24 horas foi retirado o

concreto do cilindro e foi nomeado conforme a sua determinação de dias foram estudados no final desta análise.

Todas as amostras seguiram para um tanque onde as mesmas ficaram submersas e submetidas à cura. Ao alcançarem os dias respectivos de cada amostra a mesma foi retirada do tanque e ficou submetida a uma temperatura ambiente. Logo em seguida o mesmo foi levado à prensa hidráulica, de acordo com a NBR 5739:2007 Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico, com a finalidade de obter sua respectiva resistência.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS**

Foram realizados os devidos ensaios para determinar a granulometria dos materiais que foram utilizados, os resultados obtidos foram dispostos em tabelas e gráficos para melhor compor o estudo realizado.

#### **4.1.1 Agregado Miúdo**

Para determinação da composição granulométrica do material miúdo foi seguido todos os parâmetros ressaltados anteriormente neste trabalho. Conforme as Tabelas 6, 7, 8 e 9 foram realizados os ensaios mencionados anteriormente para a determinação da composição granulométrica dos materiais.

##### **4.1.1.1 Traço Referência**

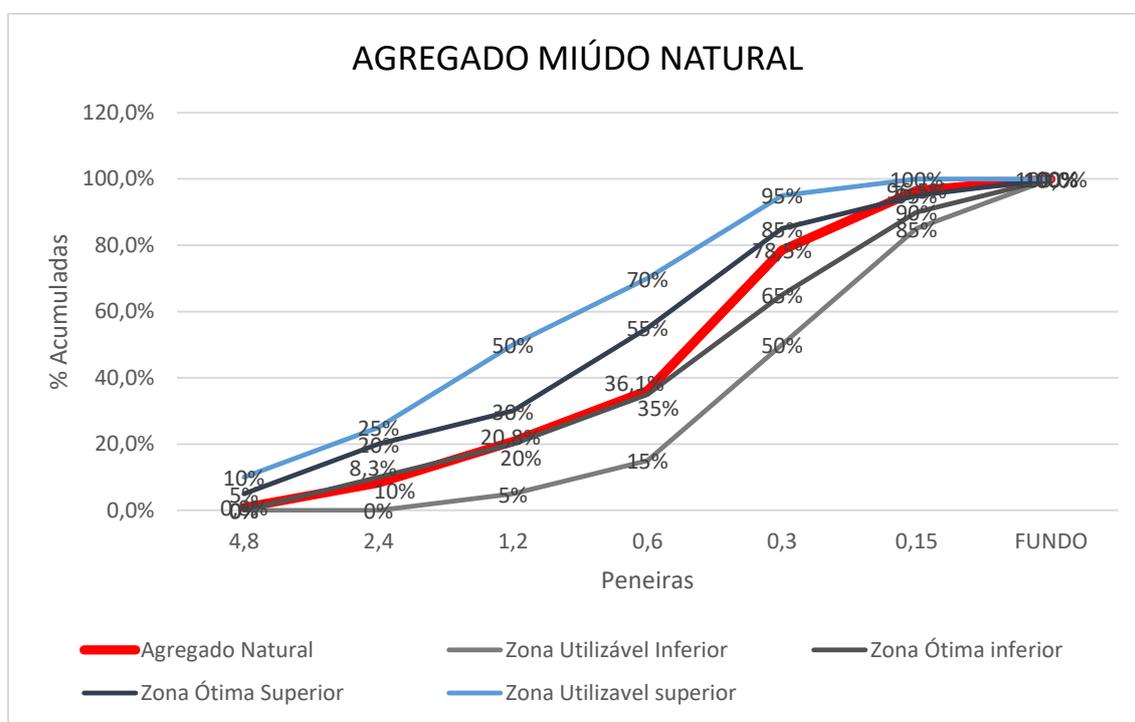
A Tabela 6 os resultados obtidos para o primeiro traço, onde o mesmo correspondeu a cem por cento do material natural do agregado miúdo, determinando assim o diâmetro máximo de 4.8 mm e obtendo o módulo de finura do material de 2,41 estando à mesma em zona ótima, ou seja, a areia apresenta-se como areia fina essa determinação é dada a partir dos limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo de acordo com a Tabela 2 no anexo A.

Tabela 6 - Composição granulométrica do agregado miúdo, 100% natural.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO NATURAL						
PENEIRA (mm)	1° DETERMINAÇÃO		2° DETERMINAÇÃO		% RETIDA MÉDIA	% RETIDA ACUMULADA
	PESO RETIDO	% RETIDA	PESO RETIDO	% RETIDA		
4.8	0,0	0,0%	8,4g	1,7%	0,8%	0,8%
2.4	37,2g	7,4%	37,5g	7,5%	7,5%	8,3%
1.2	64,2g	12,8%	60,8g	12,2%	12,5%	20,8%
0.6	77,4g	15,5%	75,3g	15,1%	15,3%	36,1%
0.3	215,2g	43,0%	208,8g	41,8%	42,4%	78,5%
0.15	87,8g	17,6%	92,1g	18,4%	18,0%	96,5%
FUNDO	18,2g	3,6%	17,0g	3,4%	3,5%	100,0%
TOTAL	500,0g	-	499,9g	-	SOMATÓRIO	241,0%
MÓDULO DE FINURA	2,41					

Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo, 100% natural.



Fonte: Autor, 2017.

Desta forma, é possível visualizar no Gráfico a curva granulométrica do material, onde o mesmo se encontra de uma forma bem distribuída, ou seja, possuindo uma boa distribuição dos materiais nas peneiras. De tal maneira é possível comprovar, portanto, que o material é adequado para o uso na composição do concreto.

#### 4.1.1.2 Traço 75% natural e 25 % reciclado

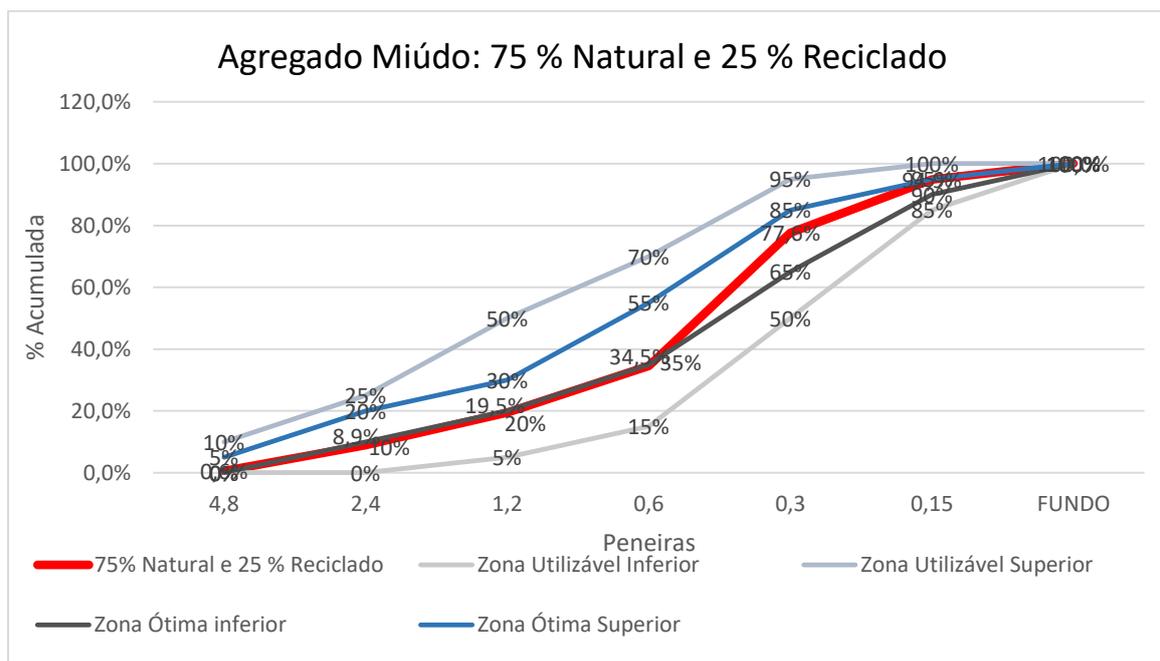
De acordo com a Tabela 7 onde a mesma consiste nos resultados da composição granulométrica do agregado miúdo 75% de agregado natural e os 25% de agregado reciclado. Este segundo traço apresentou-se com um módulo de finura 2,36 estando também em zona ótima, sendo considerada uma areia média segundo a classificação do agregado.

Tabela 7 - Composição granulométrica do agregado miúdo, 75% natural e 25% reciclado.

<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMETRIA AGREGADO 75% NATURAL E 25% RECICLADO</b>						
<b>PENEIRA (mm)</b>	<b>1° DETERMINAÇÃO</b>		<b>2° DETERMINAÇÃO</b>		<b>% RETIDA MÉDIA</b>	<b>% RETIDA ACUMULADA</b>
	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>		
<b>4,8</b>	6,0g	1,2%	0,0	0,0%	0,6%	0,6%
<b>2,4</b>	35,0g	7,0%	47,9g	9,6%	8,3%	8,9%
<b>1,2</b>	44,9g	9,0%	61,2g	12,2%	10,6%	19,5%
<b>0,6</b>	73,7g	14,7%	76,7g	15,3%	15,0%	34,5%
<b>0,3</b>	224,3g	44,9%	206,4g	41,3%	43,1%	77,6%
<b>0,15</b>	89,2g	17,8%	83,1g	16,6%	17,2%	94,9%
<b>FUNDO</b>	26,8g	5,4%	24,6g	4,9%	5,1%	100,0%
<b>TOTAL</b>	499,9g	-	499,9g	-	<b>SOMATÓRIO</b>	236,0%
<b>MÓDULO DE FINURA</b>	<b>2,36</b>					

Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo, 75% natural e 25% reciclado.



Fonte: Autor, 2017.

Segundo a Gráfico 2 a curva granulométrica do material mostra a sua distribuição granulométrica apresentando-se de forma bem distribuída. Pode ser observado que está dentro do intervalo zona utilizável inferior e zona ótima superior sendo que a partir da peneira 0.6 mm o material foi superior a zona ótima inferior, portanto, o material é adequado para o uso na composição do concreto.

#### 4.1.1.3 Traço 50% natural e 50 % reciclado

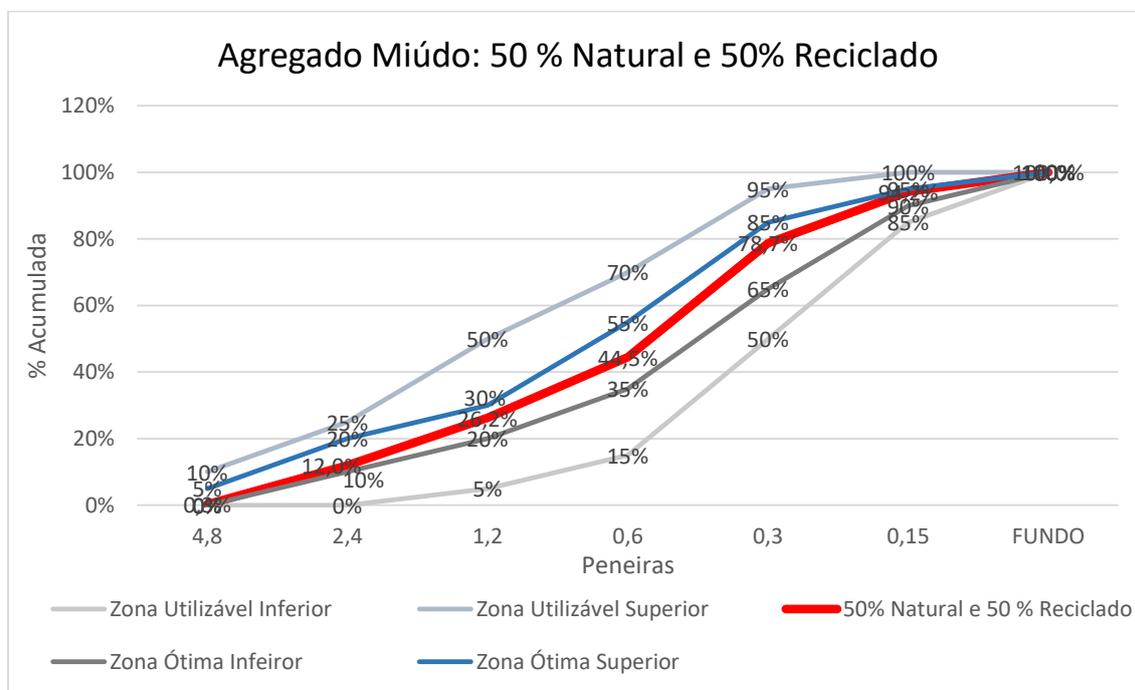
Ao realizar o ensaio de granulometria para o terceiro traço, de acordo com a Tabela 8 foi classificado o módulo de finura do agregado miúdo de 2,56 estando dentro da zona ótima, deste modo, o material é adequado à realização do terceiro traço, sendo classificado como areia média.

Tabela 8 - Composição granulométrica do agregado miúdo, 50% natural e 50% reciclado.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA AGREGADO 50% NATURAL E 50% RECICLADO						
PENEIRA (mm)	1° DETERMINAÇÃO		2° DETERMINAÇÃO		% RETIDA MÉDIA	% RETIDA ACUMULADA
	PESO RETIDO	% RETIDA	PESO RETIDO	% RETIDA		
4,8	2,1	0,4%	0,9	0,2%	0,3%	0,3%
2,4	57,0	11,4%	59,6	11,9%	11,7%	12,0%
1,2	73,2	14,6%	69,5	13,9%	14,3%	26,2%
0,6	88,2	17,6%	94,1	18,8%	18,2%	44,5%
0,3	163,7	32,7%	178,9	35,8%	34,3%	78,7%
0,15	83,9	16,8%	70,9	14,2%	15,5%	94,2%
FUNDO	31,8	6,4%	26,0	5,2%	5,8%	100,0%
TOTAL	499,9	-	499,9	-	SOMATÓRIO	255,9%
MÓDULO DE FINURA	2,56					

Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 3 - Curva granulométrica do agregado miúdo, 50% natural e 50% reciclado.



Fonte: Autor, 2017.

A Gráfico 3 ilustra a curva granulométrica do agregado miúdo e sua distribuição, onde é possível observar que nas peneiras 2.4 e 1.2 o material apresenta-se com uma maior quantidade da porcentagem retida acumulada, ou seja, está possuindo uma boa distribuição do material sendo que ao comparar o Gráfico 3 com os Gráficos 1, 2 e 4 é possível analisar que este material foi o que mais apresentou uma distribuição dentro do intervalo da zona ótima superior e a zona ótima inferior.

#### 4.1.1.4 Traço 25% natural e 75 % reciclado

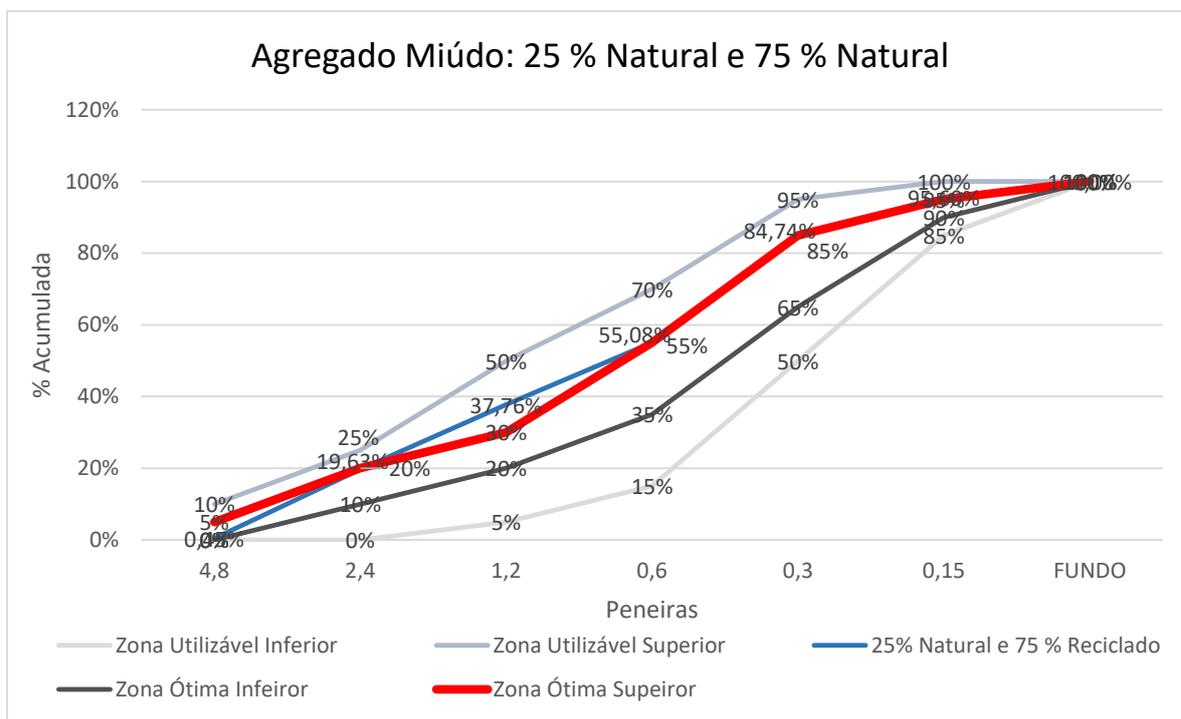
A Tabela 9 traz a classificação do módulo de finura do agregado miúdo de 2,93 estando dentro da zona utilizável superior apresentando o material mais grosso, deste modo, o material é adequado à realização do quarto traço. Sendo que, de acordo com o Gráfico 4 o material apresenta uma curva granulométrica com uma má distribuição do material, levando em consideração os traços anteriores.

Tabela 9 - Composição granulométrica do agregado miúdo, 25% natural e 75% reciclado.

<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMETRIA AGREGADO 25% NATURAL E 75% RECICLADO</b>						
<b>PENEIRA (mm)</b>	<b>1° DETERMINAÇÃO</b>		<b>2° DETERMINAÇÃO</b>		<b>% RETIDA MÉDIA</b>	<b>% RETIDA ACUMULADA</b>
	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>		
<b>4,8</b>	2,8	0,6%	1,7	0,3%	0,45%	0,45%
<b>2,4</b>	95,2	19,0%	96,6	19,3%	19,18%	19,63%
<b>1,2</b>	89,0	17,8%	92,3	18,5%	18,13%	37,76%
<b>0,6</b>	90,9	18,2%	82,3	16,5%	17,32%	55,08%
<b>0,3</b>	148,7	29,7%	147,9	29,6%	29,66%	84,74%
<b>0,15</b>	52,3	10,5%	56,3	11,3%	10,86%	95,60%
<b>FUNDO</b>	21,1	4,2%	22,9	4,6%	4,40%	100,00%
<b>TOTAL</b>	500,0	-	500,0	-	<b>SOMATÓRIO</b>	293,3%
<b>MÓDULO DE FINURA</b>	<b>2,93</b>					

Fonte: Autor, 2017.

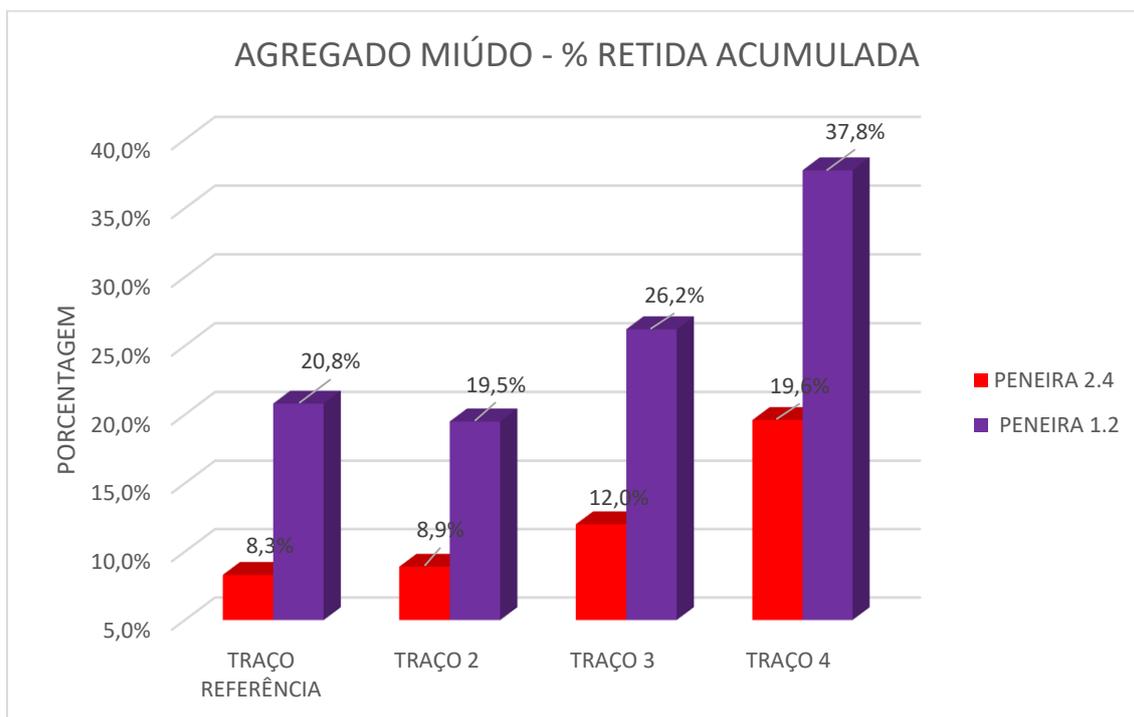
Gráfico 4 - Curva granulométrica do agregado miúdo, 75% natural e 25% reciclado.



Fonte: Autor, 2017.

Contudo, as Tabelas 7, 8, 9 e 10 apresentam composição granulométrica dos agregados miúdos, ou seja, os pesos retidos em cada peneira, segundo a Tabela 2 no anexo A. Sendo que, para todos os traços o módulo de finura apresenta-se dentro da zona ótima, exceto o quarto traço segundo a Tabela 10 que se encontra dentro da zona utilizável. Sendo que, ao verificar as peneiras 2.4 e a 1.2 é possível constatar um comportamento distinto, essa mudança ocorre com a substituição do agregado natural por agregado reciclado, já que o reciclado não possui uma boa distribuição granulométrica. Sendo assim, foi possível analisar um aumento de forma crescente da quantidade do material retido nessas peneiras, conforme o Gráfico 5.

Gráfico 5 - Análise da peneira 2.4 e 1.2



Fonte: Autor, 2017.

#### 4.1.2 Agregado Graúdo

Para determinação da composição granulométrica do material graúdo foi seguido todos os parâmetros ressaltados anteriormente neste trabalho.

##### 4.1.2.1 Granulometria do material para o Traço Referência

De acordo a Tabela 10 onde houve a determinação do diâmetro máximo do agregado graúdo de 19 mm, sendo que foi determinada a retida acumulada menor que 5%.

Tabela 10 - Composição granulométrica do agregado graúdo, 100% natural.

<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA AGREGADO NATURAL</b>						
<b>PENEIRA (mm)</b>	<b>1° DETERMINAÇÃO</b>		<b>2° DETERMINAÇÃO</b>		<b>% RETIDA MÉDIA</b>	<b>% RETIDA ACUMULADA</b>
	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>		
<b>19,0</b>	15,0g	0,3%	11,5g	0,2%	0,3%	0,3%
<b>12,5</b>	2556,1g	51,1%	2660,1g	53,2%	52,2%	52,4%
<b>9,5</b>	1003,6g	20,1%	909,3g	18,2%	19,1%	71,6%
<b>6,3</b>	910,2g	18,2%	820,6g	16,4%	17,3%	88,9%
<b>FUNDO</b>	514,9g	10,3%	598,4g	12,0%	11,1%	100,0%
<b>TOTAL</b>	4999,8	-	4999,9	-	<b>MF</b>	<b>3,13</b>

Fonte: Autor, 2017.

#### 4.1.2.2 Granulometria do material para o Traço 2.

Ao realizar o ensaio de granulometria, segundo a Tabela 11 onde mostra a composição granulométrica do agregado graúdo e a determinação do diâmetro máximo do agregado 19 mm.

Tabela 11 - Composição granulométrica do agregado graúdo, 75% natural e 25% reciclado.

<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA AGREGADO 75% NATURAL E 25% RECICLADO</b>						
<b>PENEIRA (mm)</b>	<b>1° DETERMINAÇÃO</b>		<b>2° DETERMINAÇÃO</b>		<b>% RETIDA MÉDIA</b>	<b>% RETIDA ACUMULADA</b>
	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>		
<b>19,0</b>	0,0	0,00%	0,0	0,00%	0,00%	0,00%
<b>12,5</b>	1818,6	36,37%	1781,7	35,64%	36,00%	36,00%
<b>9,5</b>	1029,7	20,59%	1071,8	21,44%	21,02%	57,02%
<b>6,3</b>	1144,7	22,89%	1036,0	20,72%	21,81%	78,83%
<b>FUNDO</b>	1006,9	20,14%	1110,3	22,21%	21,17%	100,00%
<b>TOTAL</b>	4999,9	-	4999,8	-	<b>MF</b>	<b>2,72</b>

Fonte: Autor, 2017.

#### 4.1.2.3 Granulometria do material para o Traço 3

A Tabela 12 mostra a composição granulométrica do agregado graúdo e a determinação do diâmetro máximo do agregado 19 milímetro.

Tabela 12 - Composição granulométrica do agregado graúdo, 50% natural e 50% reciclado.

<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMETRICA AGREGADO 50% NATURAL E 50% RECICLADO</b>						
<b>PENEIRA (mm)</b>	<b>1° DETERMINAÇÃO</b>		<b>2° DETERMINAÇÃO</b>		<b>% RETIDA MÉDIA</b>	<b>% RETIDA ACUMULADA</b>
	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>		
<b>19,0</b>	10,6g	0,21%	0,0	0,00%	0,11%	0,11%
<b>12,5</b>	1406,5g	28,13%	1286,5g	25,73%	26,93%	27,04%
<b>9,5</b>	973,3g	19,47%	1019,7g	20,39%	19,93%	46,97%
<b>6,3</b>	1156,8g	23,14%	1273,8g	25,48%	24,31%	71,27%
<b>FUNDO</b>	1452,7g	29,05%	1419,9g	28,40%	28,73%	100,00%
<b>TOTAL</b>	4999,9	-	4999,9	-	<b>MF</b>	<b>2,45</b>

Fonte: Autor, 2017.

#### 4.1.2.4 Granulometria do material para o Traço 4

A Tabela 13 mostra a composição granulométrica do agregado graúdo e a determinação do diâmetro máximo do agregado 19 milímetro.

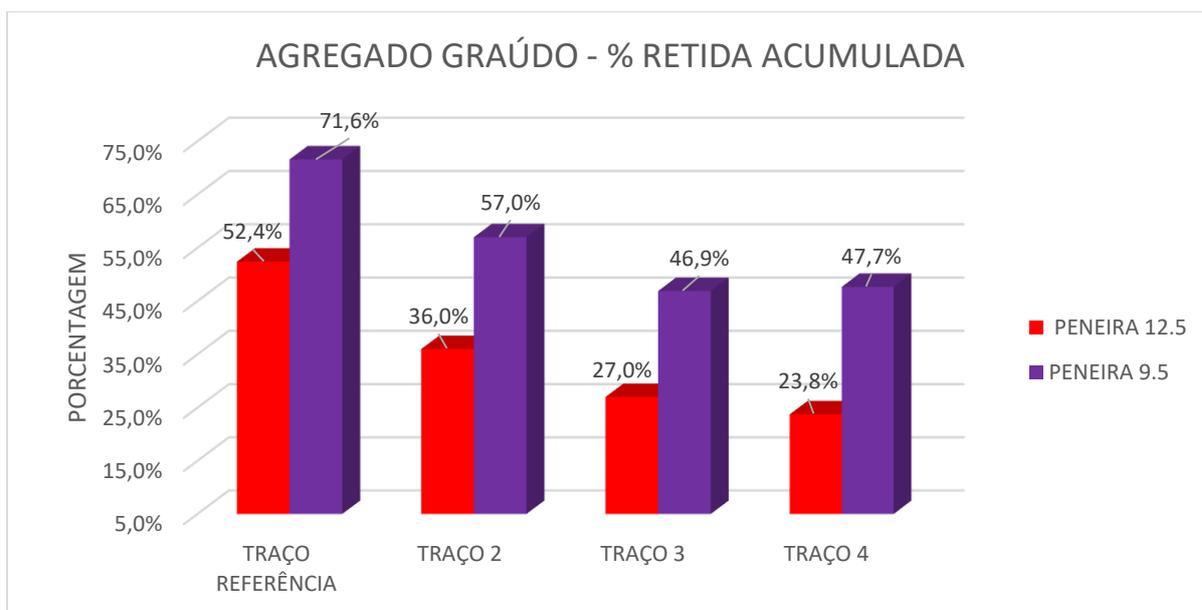
Tabela 13 - Composição granulométrica do agregado graúdo, 50% natural e 50% reciclado.

<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMETRICA AGREGADO 25% NATURAL E 75% RECICLADO</b>						
<b>PENEIRA (mm)</b>	<b>1° DETERMINAÇÃO</b>		<b>2° DETERMINAÇÃO</b>		<b>% RETIDA MÉDIA</b>	<b>% RETIDA ACUMULADA</b>
	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>	<b>PESO RETIDO</b>	<b>% RETIDA</b>		
<b>19,0</b>	12,6	0,25%	0,0	0,00%	0,13%	0,13%
<b>12,5</b>	1106,3	22,13%	1256,5	25,13%	23,63%	23,75%
<b>9,5</b>	1273,3	25,47%	1119,7	22,39%	23,93%	47,68%
<b>6,3</b>	1054,9	21,10%	1103,8	22,08%	21,59%	69,27%
<b>FUNDO</b>	1552,9	31,06%	1519,9	30,40%	30,73%	100,00%
<b>TOTAL</b>	4999,9	-	4999,9	-	<b>MF</b>	<b>2,40</b>

Fonte: Autor, 2017.

Segundo as Tabelas 11, 12, 13 e 14 é possível observar que a peneira 12.5 apresentou-se de maneira decrescente no que diz respeito à distribuição do material retido acumulado na mesma. Desta forma, o primeiro traço apresenta o material de agregado graúdo mais grosso que os demais traços, isso acontece devido o agregado reciclado possuir uma quantidade de material mais fino, conforme o Gráfico 6.

Gráfico 6 - Análise da peneira 12.5 e 9.5.



Fonte: Autor, 2017.

#### 4.1.2 Massa unitária

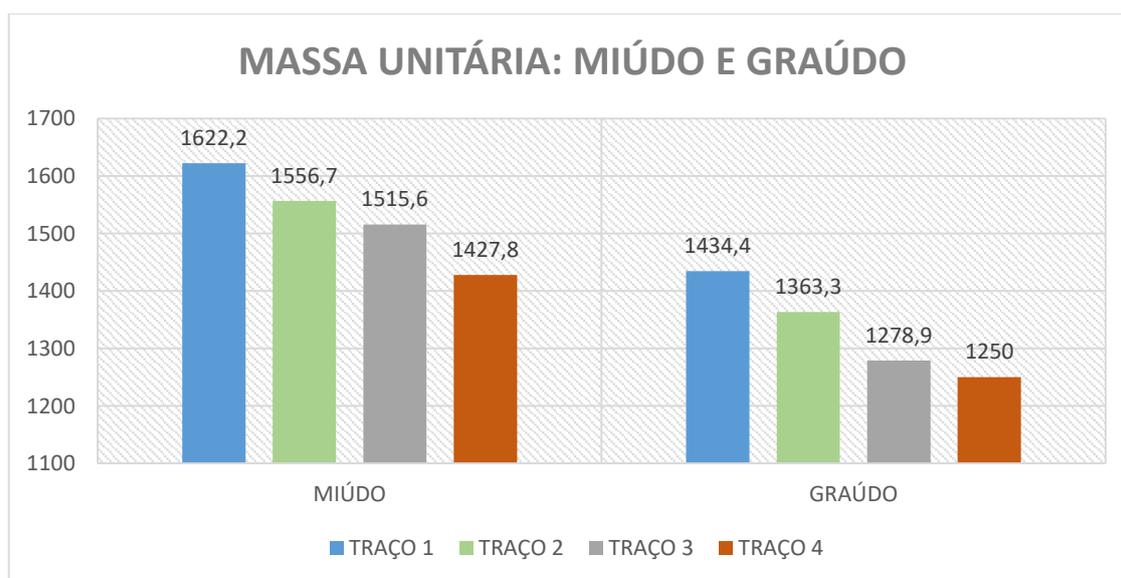
Ao analisar as tabelas de 1 a 8 localizadas em Apêndice é possível constatar que há uma diminuição com relação ao peso do material, ou seja, ao haver a substituição do material natural por um material reciclado verifica-se que o reciclado é mais leve que o material natural. Sendo que as Tabelas 1, 3, 5 e 7 representam a massa unitária do agregado miúdo e as Tabelas 2, 4, 6 e 8 representam a massa unitária do agregado graúdo, onde foi determinado o peso do material em seu estado seco, considerando os espaços vazios, conforme a Tabela 14 e o Gráfico 7.

Tabela 14 - Massa unitária do agregado miúdo e graúdo.

MASSA UNITÁRIA		
TRAÇO	MIÚDO (kg/m <sup>3</sup> )	GRAÚDO (kg/m <sup>3</sup> )
Traço Referência	1622,2	1434,4
25% Natural e 75% Reciclado	1556,7	1363,3
50% Natural e 50% Reciclado	1515,6	1278,9
75% Natural e 25% Reciclado	1427,8	1250,0

Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 7 - Massa unitária do agregado miúdo e graúdo.



Fonte: Autor, 2017.

Devido a substituição do agregado natural pelo o agregado reciclado apresentou uma diminuição da massa unitária dos agregados, conforme o Gráfico 7.

#### 4.1.3 Massa específica

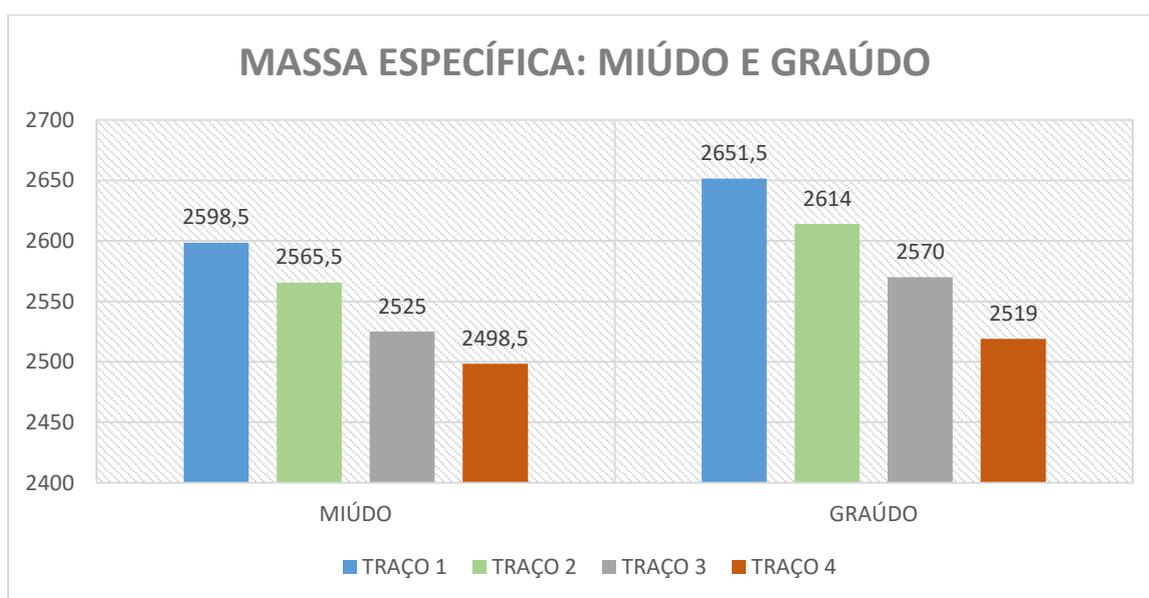
A Tabela 16 mostra o resultado de massa específica para todos os traços, sabendo que a massa específica desconsidera os vazios.

Tabela 15 - Massa específica do agregado graúdo e miúdo.

MASSA ESPECÍFICA		
TRAÇO	MIÚDO (kg/m <sup>3</sup> )	GRAÚDO (kg/m <sup>3</sup> )
Traço Referência	2598,5	2651,5
25% Natural e 75% Reciclado	2565,5	2614,0
50% Natural e 50% Reciclado	2525,0	2570,0
50% Natural e 50% Reciclado	2498,5	2519,0

Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 8 - Massa unitária do agregado miúdo e graúdo.



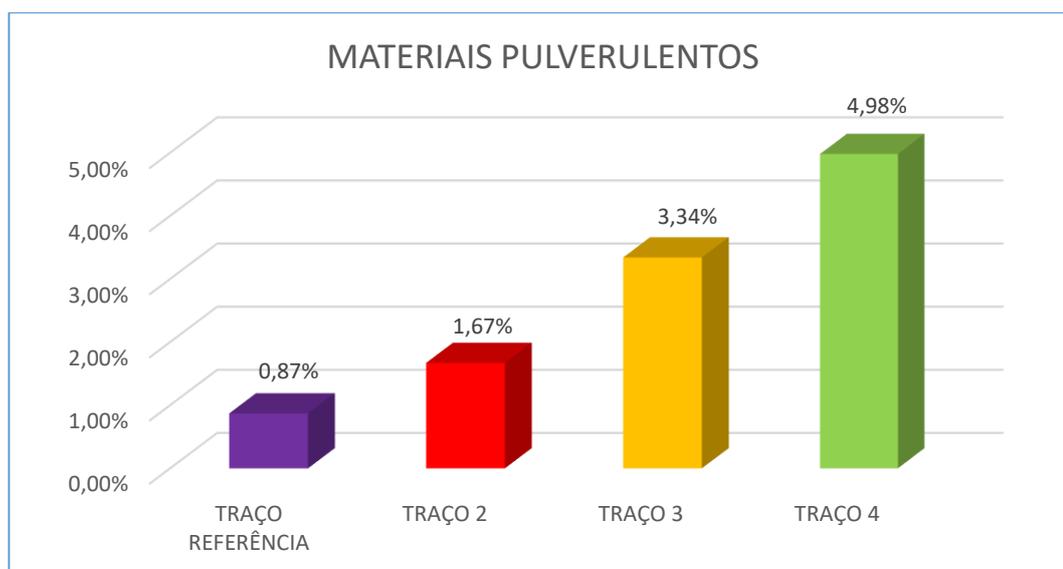
Fonte: Autor, 2017.

De acordo os Gráficos 7 e 8, a com a substituição dos agregados para os traços estudados, o agregado natural e o reciclado apresentam uma diferença no peso de forma decrescente tanto para o miúdo e graúdo, onde o agregado natural é mais pesado que o reciclado e os gráficos mostram que conforme a substituição de 25%, 50% e 75%.

#### 4.1.4 Materiais pulverulentos

De acordo com a NBR NM 46:2003, onde a classifica a quantidade adequada de materiais pulverulento existente no concreto. O Gráfico 9 apresenta a quantidade de material pulverulento em cada traço realizado e é possível observar que há uma maior substituição de material natural por material reciclado há um aumento na quantidade material pulverulento existente.

Gráfico 9 – Materiais pulverulentos



Fonte: Autor, 2017.

#### 4.2 CÁLCULO DA DOSAGEM

Para a determinação da dosagem do material foi a partir da Fórmula G, onde foi fixado o fator água cimento e havendo um aumento de 5 litros de água e em seguida determinado a quantidade de cimento. Onde o aumento só existia quando o abatimento do material não se encontrava dentro do valor estabelecido para cálculo.

##### 4.2.1 Traço Referência

Para a realização dos traços em primeiro instante seguiu-se com a escolha do abatimento, havendo a determinação do slump de 90 mm para o concreto utilizado. Conforme a Tabela 1, o slump máximo e mínimo estabelecido de acordo com Mehta e Monteiro no Anexo 1. Todavia, através dos ensaios houve a determinação do diâmetro máximo do agregado graúdo sendo ele de 19 mm e em seguida a deliberação do fator

água/cimento, sendo que aos 28 dias o  $F_{cj}$  apresenta-se com 31,6 MPa e a resistência normal do cimento aos 28 dias é de 32 MPa. Desta forma, a relação água cimento é de 0,50. Portanto, foi determinado o consumo de água conforme a Tabela 19, em relação ao abatimento de 90 mm e ao diâmetro máximo do agregado graúdo de 19 mm, obtendo-se 205 litros de água e a determinação do consumo de cimento igual a 205 por 0.50, determinando o consumo de cimento de 410  $\text{Kg}/\text{m}^3$ .

De acordo com a Figura 22, o consumo de agregado graúdo, a relação entre o módulo de finura 2,41 e a dimensão característica máxima do agregado de 19 mm, encontrando-se o volume de brita de 0,710  $\text{m}^3$  sendo multiplicado pela massa unitária do agregado graúdo de 1434,4  $\text{Kg}/\text{m}^3$ , encontrando-se o consumo de brita de 1018,45  $\text{Kg}/\text{m}^3$ . O consumo de areia foi determinado, sendo que o volume do agregado miúdo subtraindo-se um pelo o consumo de cimento 410  $\text{Kg}/\text{m}^3$  pela massa específica do cimento de 3040  $\text{Kg}/\text{m}^3$ , somando com o consumo de brita de 1018,45  $\text{Kg}/\text{m}^3$  dividindo-se pela massa específica da brita 2651,50  $\text{Kg}/\text{m}^3$  e por fim somando-se com o consumo de agregado miúdo é de 717,26  $\text{Kg}/\text{m}^3$ . A partir dos resultados adquiridos o cimento, os agregados e o fator água cimento o traço é determinado segundo a Tabela 17 e apresentados na Figura 26, onde não houve a necessidade de recalcular o traço determinado.

Figura 26 - Dosagem do traço 1.



Fonte: Autor, 2017.

Tabela 16 - Dosagem pelo o método ABCP, traço 1 – 100% natural.

TRAÇO REFERÊNCIA - 100% NATURAL			
CIMENTO	AGREGADO MIÚDO	AGREGADO GRAÚDO	FATOR a/c
410/410	717,26/410	1018,45/410	205/410
<b>1</b>	<b>1,75</b>	<b>2,48</b>	<b>0,50</b>

Fonte: Autor, 2017.

Os resultados obtidos para a realização do estudo estão conforme a Tabela 16 onde o traço referência obteve um abatimento de 83 mm de acordo com a Figura 27.

Figura 27 - Ensaio de abatimento para o Traço Referência.



Fonte: Autor, 2017.

#### 4.2.2 Traço 75% natural 25% reciclado

Conforme a Tabela 17 o segundo traço foi necessário ser recalculado mantendo-se a relação água cimento, já que o mesmo apresentou um abatimento inferior ao adotado, não atingindo ao abatimento esperado, segundo a Figura 25 A.

Tabela 17 - Dosagem pelo o método ABCP, traço 2 – 75% natural e 25% reciclado.

TRAÇO 2 - 75% NATURAL E 25 % RECICLADO			
CIMENTO	AGREGADO MIÚDO	AGREGADO GRAÚDO	FATOR a/c
410/410	746,86/410	973,40/410	205/410
<b>1</b>	<b>1,82</b>	<b>2,37</b>	<b>0,50</b>

Fonte: Autor, 2017.

Sendo assim, ao recalcular o traço para que o abatimento esteja entre o intervalo adequado, foi adicionado 5 litros de água, onde o mesmo foi de 205 litros para 210 litros, colocando na fórmula inversa do consumo de cimento, é determinado um novo consumo de cimento que foi de 410 Kg/m<sup>3</sup> para 420 Kg/m<sup>3</sup>, recalculando o consumo de agregado miúdo foi de 746,86 Kg/m<sup>3</sup> para 725,86 Kg/m<sup>3</sup> de acordo com a Figura 28, onde a mesma mostra a quantidade de material adicionado ao traço para que o mesmo atingisse o abatimento adequado ao que foi determinado para o estudo.

Figura 28 - Dosagem do traço 75% natural e 25 % reciclado.



Fonte: Autor, 2017.

Após isso, conforme a tabela 18 e conforme a Figura 29 B, o ensaio de abatimento foi para 85 milímetro.

Tabela 18 - Dosagem pelo o método ABCP, traço 2 – 75% natural e 25% reciclado + 5 litros de água.

<b>TRAÇO 2 - 75% NATURAL E 25% RECICLADO + 5 LITROS DE ÁGUA</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AGREGADO MIÚDO</b>	<b>AGREGADO GRAÚDO</b>	<b>FATOR a/c</b>
420/420	725,35/420	973,40/420	210/420
<b>1</b>	<b>1,73</b>	<b>2,32</b>	<b>0,50</b>

Fonte: Autor, 2017.

Figura 29 - Ensaio de abatimento para o traço 75% natural e 25% reciclado.



A

B

Fonte: Autor, 2017.

#### 4.2.3 Traço 50% natural 50% reciclado

Para o terceiro traço houve a necessidade de recalculá-lo por cinco vezes conforme as Tabelas 9, 10, 11 e 12 no Apêndice C e D e a Figura 30, onde o primeiro dimensionamento o traço 1:1,94:2,17 fator a/c 0,50, com 410 Kg/m<sup>3</sup> de cimento, 793,57 Kg/m<sup>3</sup> de agregado miúdo, 888,83 Kg/m<sup>3</sup> de agregado graúdo e a quantidade de água 205

litros. Portanto, o abatimento foi de 15 mm conforme a Figura 31 da letra A e Tabela 9 no Apêndice C.

Figura 30 - Dosagem do traço 3.



Fonte: Autor, 2017.

O segundo cálculo o traço foi 1:1,84:2,12 fator a/c 0,50 com 420 Kg/m<sup>3</sup> de cimento, 772,64 Kg/m<sup>3</sup> de agregado miúdo e 888,83 Kg/m<sup>3</sup> de agregado graúdo e 210 litros de água, onde a relação a/c é fixada de 0,50. O abatimento foi de 35 mm, ou seja, estando fora do padrão de uso adequado estipulado para o estudo, conforme a Figura 31 da letra B e Tabela 10 no Apêndice D.

Em seguida foi realizado uma terceira dosagem onde o traço foi 1:1,75:2,07 fator a/c 0,5, com 430 Kg/m<sup>3</sup> de cimento, 751,70 Kg/m<sup>3</sup> de agregado miúdo e 888,83 Kg/m<sup>3</sup> de agregado graúdo e 215 litros de água, onde a relação a/c é fixada de 0,50. O abatimento foi de 50 mm, ou seja, não estando dentro dos padrões estabelecidos para realização do estudo, conforme a Figura 31 da letra C e Tabela 11 no Apêndice D. Desta forma foi necessário realizar um quarto o traço de 1:1,66:2,02 fator a/c 0,5, com 440 Kg/m<sup>3</sup> de cimento, 730,77 Kg/m<sup>3</sup> de agregado miúdo e 888,83 Kg/m<sup>3</sup> de agregado graúdo e 220 litros de água, onde a relação a/c é fixada de 0,50. O abatimento foi de 65 mm estando abaixo do limite estabelecido para avaliação, conforme a Figura 32 da letra A e Tabela 12 no Apêndice D.

Por fim, foi realizado o dimensionamento de uma quinta dosagem para o traço que foi de 1:1,58:1,98 fator a/c 0,5, com 450 Kg/m<sup>3</sup> de cimento, 709,84 Kg/m<sup>3</sup> de agregado miúdo e 888,83 Kg/m<sup>3</sup> de agregado graúdo e 225 litros de água, onde a relação a/c é fixada de 0,50. O abatimento foi de 85 mm, ou seja, o valor obtido no abatimento se adequa para realizar a moldagem dos corpos de prova já que o mesmo está dentro dos critérios estabelecidos para realização deste estudo, conforme a Figura 32 da letra B e de acordo com a Tabela 19.

Tabela 19 - Dosagem pelo o método ABCP, traço 3 – 50% natural e 50% reciclado + 20 litros de água.

<b>TRAÇO 3 - 50% NATURAL E 50 % RECICLADO + 20 LITROS DE ÁGUA</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AGREGADO MIÚDO</b>	<b>AGREGADO GRAÚDO</b>	<b>FATOR a/c</b>
450/450	709,84/450	888,83/450	225/450
<b>1</b>	<b>1,58</b>	<b>1,98</b>	<b>0,50</b>

Fonte: Autor, 2017.

Figura 31 - Ensaio de abatimento para o traço 50% natural e 50% reciclado.



A

B

C

Fonte: Autor, 2017.

Figura 32 – Ensaio de abatimento para o traço 50% natural e 50% reciclado.



A

B

Fonte: Autor, 2017.

#### 4.2.4 Traço 25% natural 75% reciclado

Ao iniciar os cálculos para determinação do abatimento para o quarto traço houve a necessidade recalcular por nove vezes para que o mesmo pudesse está dentro do limite estabelecido para cálculo segundo a Figura 33 onde houve as adições dos materiais. Sendo que a relação entre o traço referência e o 25% natural 75% reciclado obteve  $80 \text{ Kg/m}^3$  de cimento de diferença.

Figura 33 - Dosagem para o traço 4.



Fonte: Autor, 2017.

Apresentando assim o traço 1:1,37:1,68 fator a/c 0,50, após haver todos os cálculos o traço estabelecido para moldagem dos corpos de prova do traço 25% natural e 75% reciclado constituiu-se da seguinte maneira 490 Kg/m<sup>3</sup> de cimento, 669,08 Kg/m<sup>3</sup> de agregado miúdo, 821,25 Kg/m<sup>3</sup> de agregado graúdo e 245 litros de água, de acordo com a Tabela 20. A Figura 34 “A, B e C”, e Figura 35 “A e B, são os resultados em decorrer do traço quatro, onde a o abatimento esperado foi de 84 mm, conforme a Figura 28 B.

Tabela 20 - Dosagem pelo o método ABCP, traço 4 – 75% natural e 25% reciclado + 40 litros de água.

<b>TRAÇO 4 - 25% NATURAL E 75% RECICLADO + 40 LITROS DE ÁGUA</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AGREGADO MIÚDO</b>	<b>AGREGADO GRAÚDO</b>	<b>f a/c</b>
490/490	669,08/490	821,25/490	245/490
<b>1</b>	<b>1,37</b>	<b>1,68</b>	<b>0,5</b>

Fonte: Autor, 2017.

Figura 34 - Ensaio de abatimento para o traço 4.



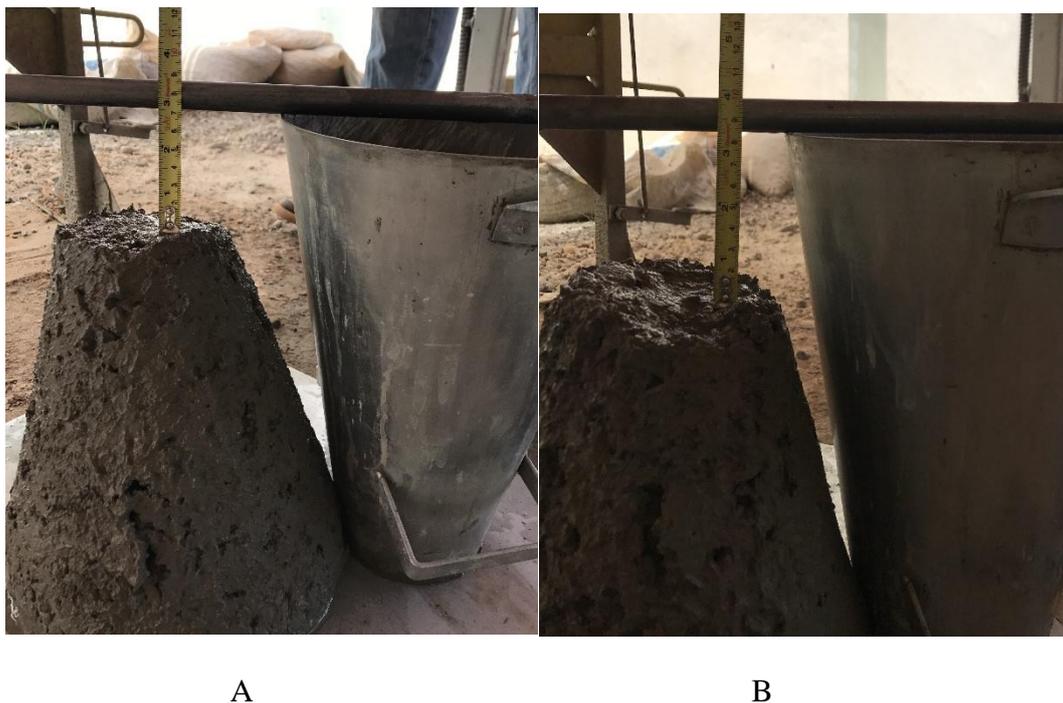
A

B

C

Fonte: Autor, 2017.

Figura 35 - Ensaio de abatimento para o traço 4.



Fonte: Autor, 2017.

Portanto ao visualizar a Tabela 16 pode-se observar que o abatimento foi atingido e não houve necessidade de que o traço fosse recalculado, pois apresenta uma menor absorção de água já que possui poucos materiais pulverulentos. Mas ao analisar as Tabelas 17, 18, 19 e 20 onde ambos possuem uma substituição significativa de material reciclado foi possível observar que possuía uma maior quantidade de materiais pulverulentos e por isso houve uma maior absorção de água, fazendo com que o abatimento não atingisse o valor estabelecido para modo de cálculo, havendo a necessidade de ser recalculado, sendo que quando maior o percentual de material reciclado maior foi à absorção de água e havendo mais necessidade de recalculando o traço para que o mesmo alcançasse o abatimento dentro do limite estabelecido.

Tabela 21 – Abatimentos aprovados e reprovados.

<b>ABATIMENTO X CONSUMO DE CIMENTO X CONSUMO DE ÁGUA</b>				
<b>X</b>	<b>SLUMP (mm)</b>	<b>ÁGUA (L)</b>	<b>CONSUMO DE CIMENTO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>SLUMP ADOTADO PARA MOLDAGEM</b>
<b>TRAÇO 1</b>	<b>83</b>	<b>205</b>	<b>410</b>	<b>APROVADO</b>
<b>TRAÇO 2</b>	50	205	410	REPROVADO
	<b>81</b>	<b>210</b>	<b>420</b>	<b>APROVADO</b>
<b>TRAÇO 3</b>	15	205	410	REPROVADO
	35	210	420	REPROVADO
	50	215	430	REPROVADO
	65	220	440	REPROVADO
	<b>85</b>	<b>225</b>	<b>450</b>	<b>APROVADO</b>
<b>TRAÇO 4</b>	0	205	410	REPROVADO
	0	210	420	REPROVADO
	0	215	430	REPROVADO
	15	220	440	REPROVADO
	35	225	450	REPROVADO
	45	230	460	REPROVADO
	61	235	470	REPROVADO
	70	240	480	REPROVADO
	<b>84</b>	<b>245</b>	<b>490</b>	<b>APROVADO</b>

Fonte: Autor, 2017.

A partir da Tabela 21 é possível verificar os traços que não puderam ser utilizados (reprovado) devido o abatimento não ter atingido o valor estabelecido. É possível analisar que quando maior a quantidade de material reciclado, maior foi a quantidade de água e cimento obtidos através da Fórmula G.

#### 4.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A propriedade mais comum de resistência do concreto é a resistência à compressão, determinada a partir de ensaio com corpos de prova. Sendo que, a maioria dos concretos são dosados para atender determinada resistência à compressão. Onde a idade também é determinante na ruptura axial dos corpos de prova.

##### 4.5.1 Traço Referência

Segundo a Tabela 22 onde ilustra a resistência à compressão axial do concreto em relação aos dias rompidos. Sendo que, é possível observar que ao terceiro dia o concreto apresenta-se 75% da sua resistência esperada aos 28 dias. Contudo, aos 14 dias o mesmo já atingiu o Fck esperado e aos 28 dias ultrapassou o Fcj médio esperado.

Tabela 22 - Compressão axial do traço referência.

<b>TRAÇO</b>	<b>TRAÇO 1 - 100 % NATURAL</b>		<b>DATA 23/08/2017</b>		
<b>SLUMP ESP.</b>	90±10 mm	<b>SLUMP</b>	83 mm	<b>FCK</b>	25 MPa
CORPO DE PROVA	3 DIAS 26/08/2017	7 DIAS 30/08/2017	14 DIAS 06/09/2017	28 DIAS 20/09/2017	
CP 1	19,8	22,4	24,5	31,4	
CP 2	18,6	23,2	25,4	29,9	
CP 3	17,9	24,5	26,8	35,6	
<b>MÉDIA</b>	<b>18,8</b>	<b>23,4</b>	<b>25,6</b>	<b>32,3</b>	

Fonte: Autor, 2017.

##### 4.5.2 Traço 75% natural 25% reciclado

O segundo traço apresentou-se superior a 75% da sua resistência à compressão axial ao 7 dias sendo que o mesmo só atingiu a resistência à compressão axial estabelecida com 28 dias e não atingiu o Fcj estabelecido. É importante ressaltar que aos 28 dias o primeiro corpo de prova foi descartado, já que o mesmo apresentava-se com uma diferença superior a 10% com relação aos demais corpos de prova para aquela quantidade de dias, ou seja, o mesmo poderia afetar na resistência por isso houve o descarte do mesmo a Tabela 23 mostra os valores adquiridos para este traço.

Tabela 23 - Compressão axial do traço 75% natural e 25% reciclado.

<b>TRAÇO</b>		TRAÇO 2 - 75 % NATURAL E 25 % RECICLADO			<b>DATA</b>	30/08/2017
<b>SLUMP ESP.</b>		90±10mm	<b>SLUMP</b> 85 mm	<b>FCK</b>		25 MPa
CORPO DE PROVA	3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS		
	02/09/2017	06/09/2017	13/09/2017	27/09/2017		
CP 1	16,6	19,4	23,5	21,5		
CP 2	16,1	20,1	23,1	27,2		
CP 3	17,1	18,9	22,6	28,4		
<b>MÉDIA</b>	<b>16,6</b>	<b>19,5</b>	<b>23,1</b>	<b>27,8</b>		

Fonte: Autor, 2017.

#### 4.5.3 Traço 50% natural 50% reciclado

Para o terceiro traço apresentado na Tabela 24, consta os resultados obtidos. Sendo que ao terceiro dia o corpo de prova 3 foi descartado já que o mesmo apresentou-se uma diferença superior a 10% ao demais e o mesmo ocorreu aos 28 dias para o corpo de prova 3. Aos 14 dias o traço apresenta-se com uma resistência superior a 75% a resistência esperada, porém ao verificar aos 28 dias a resistência à compressão axial não atingiu aos 25 MPa.

Tabela 24 - Compressão axial do traço 50% natural e 50% reciclado.

<b>TRAÇO</b>		TRAÇO 3 - 50 % NATURAL E 50 % RECICLADO			<b>DATA</b>	11/09/2017
<b>SLUMP ESP.</b>		90±10 mm	<b>SLUMP</b> 85 mm	<b>FCK</b>		25 MPa
CORPO DE PROVA	3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS		
	14/09/2017	18/09/2017	25/09/2017	09/10/2017		
CP 1	15,5	18,1	21,6	24,4		
CP 2	14,9	16,9	19,7	23,6		
CP 3	12,3	16,4	20,7	19,6		
<b>MÉDIA</b>	<b>15,2</b>	<b>17,1</b>	<b>20,7</b>	<b>24,0</b>		

Fonte: Autor, 2017.

#### 4.5.4 Traço 25% natural 75% reciclado

Segundo a Tabela 25 é apresentado os resultados obtidos para após a determinação do quarto traço. Sendo que, para este traço foi observado que somente aos 28 dias é que

o mesmo atingiu mais que 75% da resistência esperada para o que era estabelecido, ou seja, aos 28 dias era esperado uma resistência de 25 MPa, mas, o mesmo não apresentou tal resistência à compressão axial.

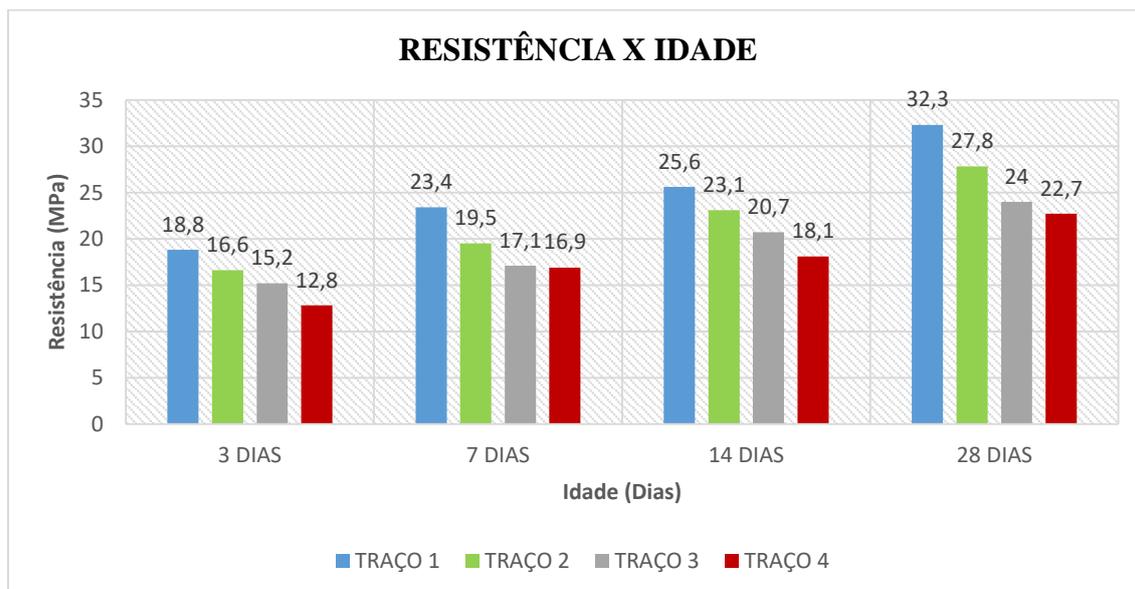
Tabela 25 - Compressão axial do traço 75% natural e 25% reciclado.

TRAÇO 4 - 25 % NATURAL E 75 % RECICLADO				DATA
TRAÇO	90±10mm	84mm		16/09/2017
SLUMP ESP.				FCK
				25 MPa
CORPO DE PROVA	3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
	19/09/2017	23/09/2017	30/09/2017	14/10/2017
CP 1	12,8	15,9	17,8	23,9
CP 2	11,5	16,6	18,5	21,7
CP 3	14,1	18,3	18,1	22,4
<b>MÉDIA</b>	<b>12,8</b>	<b>16,9</b>	<b>18,1</b>	<b>22,7</b>

Fonte: Autor, 2017.

Após o rompimento de todos os corpos de prova para todos os traços foi possível avalia-los e compara-los em relação à resistência à compressão axial em todos os dias de rompimento. De acordo com Gráfico 10, é possível verificar que havendo a substituição de 25% de agregado reciclado (conforme o segundo traço deste trabalho) o mesmo apresenta-se com a resistência esperada, porém os demais traços não chegaram na resistência estabelecida que é a de 25 MPa aos 28 dias.

Gráfico 10 - Resistência dos corpos de prova.



Fonte: Autor, 2017.

Por não ter tido uma seleção do material reciclado a ser utilizado não houve a separação dos corpos de prova possuindo a mesma resistência característica do concreto.

Todavia, pode-se observar que o Gráfico 10 se comporta de forma decrescente para cada dia em relação à resistência apresentada para cada corpo de prova e o mesmo apresenta-se de forma crescente para o mesmo traço em relação à resistência obtida para cada dia de rompimento isso se dá devido a quantidade de material pulverulento.

#### 4.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para a realização deste ensaio os corpos de prova foram utilizados todos com a mesma idade de 40 dias. Sendo que, o traço referência apresentou-se em média 4,93% de absorção de água, o traço 75% natural e 25% reciclado obteve uma absorção de água de 6,53%, para o traço 50% natural e 50% reciclado sua absorção foi de 8,70% e por fim o traço 25% natural e 75% reciclado apresentam-se com uma absorção 9,47%, ou seja, quanto mais material reciclado maior foi à absorção água desta forma o traço que possui uma maior absorção de água é o traço 25% natural 75% reciclado. A Tabela 26 mostra os resultados obtidos a partir de ensaio para a determinação da absorção de água de cada corpo de prova e em seguida foi realizado a média desses resultados para obtenção do valor final.

Tabela 26 - Absorção de água.

<b>ABSORÇÃO DE ÁGUA</b>							
<b>TRAÇO</b>	<b>PESO ÚMIDO (Kg)</b>		<b>PESO SECO (Kg)</b>		<b>ABSORÇÃO CP 1</b>	<b>ABSORÇÃO CP 2</b>	<b>MÉDIA</b>
	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>			
TRAÇO REFERÊNCIA	3,72	3,73	3,54	3,56	5,08%	4,78%	4,93%
75% NATURAL 25% REICLADO	3,66	3,68	3,45	3,44	6,09%	6,98%	6,53%
50% NATURAL 50% REICLADO	3,62	3,57	3,34	3,28	8,38%	9,01%	8,70%
25% NATURAL 75% REICLADO	3,54	3,51	3,24	3,20	9,26%	9,69%	9,47%

Fonte: Autor, 2017.

#### 4.7 CONSUMO DOS MATERIAIS

Tabela 27 - Consumos dos materiais

<b>CONSUMO DOS MATERIAIS</b>				
<b>TRAÇO</b>	<b>CIMENTO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>AGREGADO MIÚDO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>AGREGADO GRAÚDO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>ÁGUA (l/m<sup>3</sup>)</b>
Traço Referência	410	717,26	1018,45	205
75% natural 25% reciclado	420	725,35	973,4	210
50% natural 50% reciclado	450	709,84	888,83	225
25% natural 75% reciclado	490	669,08	821,25	245

Fonte: Autor, 2017.

De acordo com a Tabela 27 houve o aumento do cimento e de água levando em consideração do traço referência ao traço 25% natural 75% reciclado, sempre levando em consideração a fixação do fator água/cimento para a elaboração dos traços. E houve a uma diminuição nos agregados miúdo e graúdo. Tudo isso, para poder alcançar o abatimento estabelecido no trabalho.

## 5. CONCLUSÃO

A realização deste trabalho confirma experimentalmente a possibilidade de aquisição de um novo material para a construção civil com seu emprego como matéria prima em resíduos de concreto industrial.

A partir do estudo ao longo deste trabalho, foi possível concluir que os quatro traços no diz respeito às propriedades granulométricas, massa específica, massa unitária, módulo de finura, dosagem, as propriedades no estado plástico e endurecido do concreto, onde todos apresentaram características distintas para cada traço realizado.

Neste caso, ao determinar a composição granulométrica do material para todos os traços houve um aumento no módulo de finura dos mesmos, ou seja, o material apresentou-se com maior número de material na zona ótima e somente o traço quatro em zona utilizável superior. Deste modo, o material encontrou-se adequado para a realização do estudo.

A substituição do agregado graúdo reciclado pelo natural apresenta boa adequação ao método de dosagem proposto. A ressalva a ser feita neste caso refere-se à trabalhabilidade. Com isso o agregado reciclado absorvia a água de amassamento do concreto que antes seria usada para dar trabalhabilidade, também atingindo o fator água/cimento, relacionado à resistência do concreto. Desta maneira, a distribuição granulométrica dos agregados influencia na trabalhabilidade do concreto fresco. Os traços que apresentaram maior número de finos foram necessário haver a adição de mais água de amassamento para poder atingir a trabalhabilidade desejada e, a fim de manter o fator água/cimento, exigindo um acréscimo de cimento.

Após a realização da dosagem do material e moldagem dos corpos de prova foi possível avaliar e comparar as propriedades do concreto no seu estado plástico e endurecido. Onde o abatimento do material foi estabelecido em  $90 \pm 10$  milímetros, sendo que foi observado que ao aumentar o número de material reciclado o abatimento não era atingindo, ou seja, era necessário recalcular o traço para que o material estivesse dentro do abatimento determinado. Concluindo assim que, o material reciclado tem uma maior absorção de água. Em seguida, houve a comparação e a avaliação do seu estado endurecido, onde o traço referência atingiu ao terceiro dia 75% da resistência característica do concreto estabelecida para o estudo, porém os demais traços não obtiveram tal desenvolvimento, o traço 75% natural e 25% reciclado ao sétimo dia atingiu

além dos 75% da resistência característica do concreto, o traço 50% natural e 50% reciclado alcançou 75% da resistência característica do concreto com 14 dias e o traço 25% natural e 75% reciclado atingiu aos 28 dias 75% da resistência característica do concreto.

Contudo, é possível concluir que o traço referência e o 75% natural 25% reciclado atingiu aos 28 dias a resistência estimada para o estudo, portanto a substituição dos agregados (miúdo e graúdo) para estes traços são viáveis no que se refere à resistência característica, porém os demais traços não atingiu a resistência característica estimada, sendo inviável para utilização.

## **6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Elaboração do indicativo de custo para cada traço buscando a viabilidade dos mesmos.
- A substituição do material agregado graúdo havendo uma seleção do material a ser reciclado, utilizando apenas aqueles que foram moldados com seixo britado.
- A determinação da flexão diametral do corpo de prova.

## **7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45. Determinação da Massa Unitária do Agregado em estado solto.** Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46 - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52. Agregado miúdo – Determinação de massa específica por meio do frasco de Chapman.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica.** 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, com ensaio de abatimento.** 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739 Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico.** Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738 – Concreto –procedimento para moldagem e cura de corpo de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

AMBROZEWICZ, P. H.. *Materiais de Construção*. PINI. São Paulo: 2012.

ABRECOM. **Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição**. <http://www.abrecon.org.br/>. Acesso em: 30 de Março de 2017.

AGUIAR, G. D. **Estudo de argamassas com agregados reciclados contaminados por gesso de construção**. Dissertação apresentada para Título de Mestre em Engenharia, São Paulo – SP, 2004.

BAUER, L. A. Falcão. *Materiais de Construção*. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

BUTTLER, A. M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – influencias da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos**

**reciclados.** Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Estruturas, São Carlos, 2003.

DIAS, Reinaldo. **Sustentabilidade ambiental, Ecologia, Meio ambiente.** (2009)

RESOLUÇÃO CONAMA N° 307 – **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Publicada no DOU de 17 de julho de 2002.

**IPT – NBR 9776 – Agregados – Deteminação da massa específica de agregados graúdos por meio do picnômetro.**

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010.

LEVY, S.M. **Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulho de construção civil.** São Paulo, 1997.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Microestrutura, Propriedades e Materiais.** IBRACON. São Paulo, 2008

NEVILLE, A. M.. *Tecnologia do Concreto.* Bookman Editora Ltda, 2013.

SANTOS, S. **Concreto com sustentabilidade.** Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina, CREA-SC. Santa Catarina, 2013.

PAISE, S. A. e SANTOS, P. C. H. **Análise da viabilidade técnica e econômica da utilização do agregado graúdo reciclado de concreto pra execução de concreto convencional.** Monografia de conclusão de curso de construção civil do Instituto Federal do Tocantins – IFTO. Palmas – TO, 2009.

PETRUCCI, E. G.. *Concreto de Cimento Portland.* São Paulo: Globo, 1998.

GONÇALVES, R .D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais.** Monografia de conclusão de curso de construção civil de São Carlos, da Universidade de São Paulo- SP, 2001.

Verçoza, E. J.. *Materiais de Construção.* 3 ed. Porto Alegre. Sagra, 1987.



## APÊNDICES

### APÊNDICE A

Tabela 1: Determinação da massa unitária do agregado miúdo, 100% natural.

<b>MASSA UNITÁRIA AGREGADO MIÚDO NATURAL</b>
--

DETERMINAÇÃO	VOLUME DO RECIPIENTE (dm <sup>3</sup> )	MASSA DO RECIPIENTE + AMOSTRA (Kg)	MASSA DO RECIPIENTE (Kg)	MASSA UNITÁRIA (Kg/dm <sup>3</sup> )	MASSA UNITÁRIA (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>1</b>	15	31,75	7,55	1,61	1613,33
<b>2</b>	15	31,9	7,55	1,62	1623,33
<b>3</b>	15	32,00	7,55	1,63	1630,00
<b>MÉDIA</b>	15	31,88	7,55	<b>1,62</b>	<b>1622,22</b>

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 2: Determinação da massa unitária do agregado graúdo, 100% natural.

MASSA UNITÁRIA AGREGADO GRAÚDO NATURAL					
DETERMINAÇÃO	VOLUME DO RECIPIENTE (dm <sup>3</sup> )	MASSA DO RECIPIENTE + AMOSTRA (Kg)	MASSA DO RECIPIENTE (Kg)	MASSA UNITÁRIA (Kg/dm <sup>3</sup> )	MASSA UNITÁRIA (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>1</b>	15	29,00	7,55	1,43	1430,00
<b>2</b>	15	29,30	7,55	1,45	1450,00
<b>3</b>	15	28,90	7,55	1,42	1423,33
<b>MÉDIA</b>	15	29,07	7,55	<b>1,43</b>	<b>1434,44</b>

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 3: Determinação da massa unitária do agregado miúdo, 75% natural e 25% reciclado.

MASSA UNITÁRIA AGREGADO MIÚDO, 75% NATURAL E 25 % RECICLADO					
DETERMINAÇÃO	VOLUME DO RECIPIENTE (dm <sup>3</sup> )	AMOSTRA (Kg)	MASSA DO RECIPIENTE (Kg)	MASSA UNITÁRIA (Kg/dm <sup>3</sup> )	MASSA UNITÁRIA (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>1</b>	15	30,6	7,55	1,54	1536,7
<b>2</b>	15	31,0	7,55	1,56	1563,3
<b>3</b>	15	31,10	7,55	1,57	1570,0
<b>MÉDIA</b>	15	30,90	7,55	<b>1,56</b>	<b>1556,7</b>

Fonte: Autor, 2017.

## APÊNDICE B

Tabela 4: Determinação da massa unitária do agregado graúdo, 75% natural e 25% reciclado.

<b>MASSA UNITÁRIA AGREGADO GRAÚDO, 75% NATURAL E 25% RECICLADO</b>					
<b>DETERMINAÇÃO</b>	<b>VOLUME DO RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>MASSA DO RECIPIENTE + AMOSTRA (Kg)</b>	<b>MASSA DO RECIPIENTE (Kg)</b>	<b>MASSA UNITÁRIA (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>MASSA UNITÁRIA (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	15	27,95	7,55	1,36	1360,00
<b>2</b>	15	28,20	7,55	1,38	1376,67
<b>3</b>	15	27,85	7,55	1,35	1353,33
<b>MÉDIA</b>	15	28,00	7,55	<b>1,36</b>	<b>1363,33</b>

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 5: Determinação da massa unitária do agregado miúdo, 50% natural e 50% reciclado.

<b>MASSA UNITÁRIA AGREGADO MIÚDO, 50% NATURAL E 50 % RECICLADO</b>					
<b>DETERMINAÇÃO</b>	<b>VOLUME DO RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>AMOSTRA (Kg)</b>	<b>MASSA DO RECIPIENTE (Kg)</b>	<b>MASSA UNITÁRIA (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>MASSA UNITÁRIA (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	15	29,95	7,5	1,50	1496,7
<b>2</b>	15	30,35	7,5	1,52	1523,3
<b>3</b>	15	30,40	7,5	1,53	1526,7
<b>MÉDIA</b>	15	30,23	7,5	<b>1,52</b>	<b>1515,6</b>

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 6: Determinação da massa unitária do agregado graúdo, 50% natural e 50% reciclado.

<b>MASSA UNITÁRIA AGREGADO GRAÚDO, 50% NATURAL E 50% RECICLADO</b>					
<b>DETERMINAÇÃO</b>	<b>VOLUME DO RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>MASSA DO RECIPIENTE + AMOSTRA (Kg)</b>	<b>MASSA DO RECIPIENTE (Kg)</b>	<b>MASSA UNITÁRIA (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>MASSA UNITÁRIA (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	15	26,75	7,55	1,28	1280,00
<b>2</b>	15	26,85	7,55	1,29	1286,67
<b>3</b>	15	26,60	7,55	1,27	1270,00
<b>MÉDIA</b>	15	26,73	7,55	<b>1,28</b>	<b>1278,89</b>

Fonte: Autor, 2017.

## APÊNDICE C

Tabela 7: Determinação da massa unitária do agregado miúdo, 25% natural e 75% reciclado.

<b>MASSA UNITÁRIA AGREGADO MIÚDO, 25% NATURAL E 75 % RECICLADO</b>					
<b>DETERMINAÇÃO</b>	<b>VOLUME DO RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>AMOSTRA (Kg)</b>	<b>MASSA DO RECIPIENTE (Kg)</b>	<b>MASSA UNITÁRIA (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>MASSA UNITÁRIA (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	15	29,0	7,55	1,43	1430,0
<b>2</b>	15	28,7	7,55	1,41	1410,0
<b>3</b>	15	29,2	7,55	1,44	1443,3
<b>MÉDIA</b>	15	29,0	7,55	<b>1,43</b>	<b>1427,8</b>

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 8: Determinação da massa unitária do agregado graúdo, 25% natural e 75% reciclado.

<b>MASSA UNITÁRIA AGREGADO GRAÚDO, 25% NATURAL E 75% RECICLADO</b>					
<b>DETERMINAÇÃO</b>	<b>VOLUME DO RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>MASSA DO RECIPIENTE + AMOSTRA (Kg)</b>	<b>MASSA DO RECIPIENTE (Kg)</b>	<b>MASSA UNITÁRIA (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>MASSA UNITÁRIA (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	15	26,35	7,55	1,25	1253,33
<b>2</b>	15	26,10	7,55	1,24	1236,67
<b>3</b>	15	26,45	7,55	1,26	1260,00
<b>MÉDIA</b>	15	26,30	7,55	<b>1,25</b>	<b>1250,00</b>

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 9: Dosagem pelo o método ABCP, traço 3 – 50% natural e 50% reciclado.

<b>TRAÇO 3 - 50% NATURAL E 50 % RECICLADO</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AREIA</b>	<b>BRITA</b>	<b>A/C</b>
410/410	793,57/410	888,83/410	205/410
1	1,94	2,17	0,5

Fonte: Autor, 2017.

## **APÊNDICE D**

Tabela 10: Dosagem pelo o método ABCP, traço 3 – 50% natural e 50% reciclado + 5 litros de água.

<b>TRAÇO 3 - 50% NATURAL E 50 % RECICLADO + 5 LITROS DE ÁGUA</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AREIA</b>	<b>BRITA</b>	<b>a/c</b>
420/420	772,64/420	888,83/420	210/420
1	1,84	2,12	0,5

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 11: Dosagem pelo o método ABCP, traço 3 – 50% natural e 50% reciclado + 10 litros de água.

<b>TRAÇO 3 - 50% NATURAL E 50 % RECICLADO + 10 LITROS DE ÁGUA</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AREIA</b>	<b>BRITA</b>	<b>a/c</b>
430/430	751,70/430	888,83/430	215/430
1	1,75	2,07	0,5

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 12: Dosagem pelo o método ABCP, traço 3 – 50% natural e 50% reciclado + 15 litros de água.

<b>TRAÇO 3 - 50% NATURAL E 50 % RECICLADO + 15 LITROS DE ÁGUA</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AREIA</b>	<b>BRITA</b>	<b>a/c</b>
440/440	730,77/440	888,83/440	220/440
1	1,66	2,02	0,5

Fonte: Autor, 2017.

## **APÊNDICE E**

Tabela 13: Dosagem pelo o método ABCP, traço 4 – 25% natural e 75% reciclado

<b>TRAÇO 4 - 25% NATURAL E 75 % RECICLADO</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AREIA</b>	<b>BRITA</b>	<b>A/C</b>
410/410	834,77/410	821,25/410	205/410
1	2,04	2,00	0,5

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 14: Dosagem pelo o método ABCP, traço 4 – 25% natural e 75% reciclado

<b>TRAÇO 4 - 25% NATURAL E 75% RECICLADO + 20 LITROS DE ÁGUA</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AREIA</b>	<b>BRITA</b>	<b>a/c</b>
450/450	751,93/450	821,25/450	225/450
1	1,67	1,83	0,5

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 15: Dosagem pelo o método ABCP, traço 4 – 25% natural e 75% reciclado

<b>TRAÇO 4 - 25% NATURAL E 75% RECICLADO + 25 LITROS DE ÁGUA</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AREIA</b>	<b>BRITA</b>	<b>a/c</b>
460/460	731,22/460	821,25/460	230/460
1	1,59	1,79	0,5

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 16: Dosagem pelo o método ABCP, traço 4 – 25% natural e 75% reciclado

<b>TRAÇO 4 - 25% NATURAL E 75% RECICLADO + 30 LITROS DE ÁGUA</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AREIA</b>	<b>BRITA</b>	<b>a/c</b>
470/470	710,50/470	821,25/470	235/470
1	1,51	1,75	0,5

Fonte: Autor, 2017.

## **APÊNDICE F**

Tabela 17: Dosagem pelo o método ABCP, traço 4 – 25% natural e 75% reciclado

<b>TRAÇO 4 - 25% NATURAL E 75% RECICLADO + 35 LITROS DE ÁGUA</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AREIA</b>	<b>BRITA</b>	<b>a/c</b>
480/480	689,79,50/480	821,25/480	240/480
1	1,44	1,71	0,5

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 18: Dosagem pelo o método ABCP, traço 4 – 25% natural e 75% reciclado

<b>TRAÇO 4 - 25% NATURAL E 75% RECICLADO + 40 LITROS DE ÁGUA</b>			
<b>CIMENTO</b>	<b>AREIA</b>	<b>BRITA</b>	<b>a/c</b>
490/490	669,08/490	821,25/490	245/490
1	1,37	1,68	0,5

Fonte: Autor, 2017.

**ANEXOS**

**ANEXO A**

Tabela 1 - Slump máximo e mínimo recomendados conforme a aplicação de concreto (Metha & Monteiro)

Tipo de construção	Slump (mm)	
	Máximo	Mínimo
Fundações, paredes e sapatas armadas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifícios	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto em grandes volumes	50	25

Tabela 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTAS

- O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
- O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
- O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.