

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARCIO OLIVEIRA LUIZ

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS DE
CONCRETO PARA NOVOS CONCRETOS**

PATO BRANCO

2021

MARCIO OLIVEIRA LUIZ

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE
CONCRETO PARA NOVOS CONCRETOS**

FEASIBILITY OF USING CONCRETE WASTE FOR NEW CONCRETE

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Msc. José Miguel Etchalus.

PATO BRANCO

2021



4.0 Internacional

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MARCIO OLIVEIRA LUIZ

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE
CONCRETO PARA NOVOS CONCRETOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22/novembro/2021

Cleovir José Milani
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

Osmar João Consoli
Mestrado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

José Miguel Etchhalus
Mestrado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

PATO BRANCO

2021

DEDICATÓRIA

A minha família, em especial à minha mãe que não mediu esforços para que alcançasse meu sonho e a meu pai (in memoria) que onde estiver sempre estará olhando por mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela força que ele me proporcionou constantemente, pois através dele consegui essa conquista tanto almejada.

Agradeço à minha família, pelo apoio prestado e pelas palavras de amor e carinho que me conduziu até aqui, pelo incentivo mostrado nos momentos difíceis que passei e pelos conselhos que irei levar durante a minha vida.

Agradeço aos meus amigos que me deram apoio, carinho e incentivo durante as fases difíceis encontradas nesse caminho arduo.

Em especial, agradecemos ao meu orientador Prof. Msc. José Miguel Etchalus pelos conhecimentos transmitidos, os quais foram de grande aprendizado me ajudando no crescimento profissional. Obrigado pela dedicação, amizade, paciência e colaboração ao longo desses meses. Gostaríamos de estender o agradecimento também aos componentes da banca, Profº Dr. Cleovir José Milani e Profº Msc. Osmar João Consoli, pela disponibilidade e contribuições ao trabalho.

Gostaríamos de deixar registrado também o meu reconhecimento aos amigos de convívio em meu lar, pela paciência e conselhos durante todos os anos que estivemos juntos.

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, por disponibilizar os equipamentos e materiais necessários para a realização do trabalho.

Por fim, e não menos importante, o meu muito obrigado a todos os professores que passaram pela minha formação que foram os grandes responsáveis para o conhecimento e que de alguma maneira contribuíram para a realização e finalização deste trabalho.

EPÍGRAFE

Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.
(ALBERT, Einstein)

RESUMO

Vista como uma das maiores geradoras de resíduos sólidos, a construção civil vem buscando alternativas cada vez mais voltadas para sustentabilidade. A partir disso vem se pensando cada vez mais em reduzir os resíduos gerados por esse setor, várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas para a reutilização de materiais proveniente dos descartes da construção. Que na maioria das vezes são descartados de forma irregular, tais pesquisas visam a geração de um novo material para absorção desses resíduos na própria construção civil. Para a produção de concretos a ser utilizados em estruturas a partir de agregados reciclados é necessário atingir uma resistência mínima para uso, ligado ao fator resistência existe também a trabalhabilidade do concreto. Um dos fatores que interfere na resistência é a relação água/cimento, sendo assim quanto maior a relação água/cimento menor é a resistência. O consumo de água está relacionado ao índice de vazios do concreto no estado endurecido, quanto mais água o concreto consumir, maior será a influência no índice de vazios. Isso afeta diretamente sua resistência, pois no processo de cura, bolhas de ar incorporadas ficam aprisionadas no interior da massa do concreto, em geral interligadas umas às outras, facilitando assim a penetração de agentes agressivos e consequentemente criando pontos de fragilidade. Concretos reciclados e empregados como agregados, absorvem mais água que concretos convencionais, tornando-o menos resistentes, por isso é necessário todo um estudo na incorporação desses agregados. O presente trabalho tem por objetivo a substituição do agregado graúdo natural nas proporções de 20%, 40% e 60% de agregado reciclado na produção de concretos de características estruturais usados na construção civil, avaliando assim sua resistência mecânica a compressão e cura.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Concreto. Agregado. Reciclado. Estrutural. RCD. Corpo de prova

ABSTRACT

Seen as one of the biggest generators of solid waste, the civil construction sector has consistently been searching for alternatives more targeted in sustainability. Henceforth, there is ongoing effort to reduce the rubble created by the sector, with many researches being actively developed to improve material reuse in construction waste, such as creating new materials to absorb the residues, erstwhile irregularly discarded, in the civil industry itself. To produce structural concrete from recycled aggregates, it is necessary to reach a minimum strength for use, and linked to the strength factor there is also the workability of the concrete. One of the factors that interferes with resistance is the water/cement ratio, so the higher the water/cement ratio, the lower the resistance. Water consumption is related to the void ratio of concrete in the hardened state, the more water the concrete consumes, the greater the influence on the void ratio. This directly affects its resistance, as in the curing process, air bubbles get trapped inside the concrete mass, generally interconnected to each other, thus facilitating the penetration of aggressive agents, and consequently creating weak points. Recycled concrete used as aggregates absorb more water than conventional concrete, making it less resistant, which is why an entire study is needed in the incorporation of these aggregates. This work aims to replace natural coarse aggregate recycled aggregate in proportions of 20%, 40%, and 60% in the production of concrete with structural characteristics used in civil construction, as to evaluate its mechanical resistance to compression and cure.

Keywords: Sustainability. Concrete. Aggregate. Recycled. Structural. Test body.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Quantidade de RCC coletada em 2017 e 2018 nas regiões do país Abrelpe (2019).....	37
Figura 2 - Cronograma de atividades (Autoria Própria).....	50
Figura 3 - Britador tipo Mandíbula - Autoria Própria 2021	52
Figura 4 - Adição dos Materiais ao Triturador - Autoria Própria 2021	52
Figura 5 - Peneira 19mm - Autoria Própria 2021	53
Figura 6 - Peneira 9,5mm - Autoria Própria 2021	53
Figura 7 - Separação das Amostras de Agregado Miúdo - Autoria Própria 2021	55
Figura 8 - Posicionamento das Peneiras - Autoria Própria 2021	55
Figura 9 - Curva Granulometria do Agregado Miúdo - Autoria Própria 2021	91
Figura 10 - Amostras A e B de Agregado Graúdo - Autoria Própria 2021	56
Figura 11 - Posicionamento das Peneiras - Autoria Própria 2021	57
Figura 12 - Curva Granulométrica Brita 1 Natural - Autoria Própria 2021	94
Figura 13 - Curva Granulométrica Brita 1 Reciclável - Autoria Própria 2021	94
Figura 14 - Vaso de Chapman com Adição dos materiais - Autoria Própria 2021	58
Figura 15 - Lavagem dos Agregados Graúdo - Autoria Própria 2021	59
Figura 16 - Material Natural Lavado - Autoria Própria 2021	60
Figura 17 - Material Reciclável Lavado - Autoria Própria 2021	60
Figura 18 - Brita Natural Submersa - Autoria Própria 2021	61
Figura 19 - Brita Reciclável Submersa - Autoria Própria 2021	61
Figura 20 - Material Coberto e Deixado por 24 horas - Autoria Própria 2021.....	61
Figura 21 - Secagem Superficial dos Agregados - Autoria Própria 2021	62
Figura 22 - Equipamento Utilizado para o Ensaio - Autoria Própria 2021	62
Figura 23 - Cesto com material de superfície seca - Autoria Própria 2021	63
Figura 24 - Cesto Submerso com Material - Autoria Própria 2021	63
Figura 25 - Recipiente Utilizado para Realizar o Ensaio - Autoria Própria 2021	65
Figura 26 - Etapa do Lançamento do Material - Autoria Própria 2021	66
Figura 27 - Compactação com Haste Metálica - Autoria Própria 2021	66
Figura 28 - Recipiente Cilíndrico Usado para o Ensaio - Autoria Própria 2021	68
Figura 29 - Material sendo lançado ao recipiente - Autoria Própria 2021	69

Figura 30 - Arrasamento do topo do recipiente - Autoria Própria 2021.....	70
Figura 31 - Curva de inchamento da areia - Autoria Própria 2021	71
Figura 32 - Tabela de Abrams - FERREIRA 2012	74
Figura 33 - Tabela com linhas auxiliares - Autoria Própria 2021.....	75
Figura 34 - Determinação aproximada do consumo de água - HELENE 1993 ...	75
Figura 35 - Betoneira utilizada na fabricação do concreto - Autoria Própria 2021	78
Figura 36 - Imprimação da betoneira - Autoria Própria 2021.....	79
Figura 37 - Homogeneização dos materiais - Autoria Própria 2021.....	80
Figura 38 - Abatimento não atingido - Autoria Própria 2021	81
Figura 39 - Concreto corrigido - Autoria Própria 2021	82
Figura 40 - Molde corpo de prova - MANUAL DO CONCRETO 2017.....	83
Figura 41 - Corpos de provas moldados - Autoria Própria 2021	84
Figura 42 - Corpos de prova desmoldados - Autoria Própria 2021.....	85
Figura 43 - Prensa hidráulica EMC - Autoria Própria 2021	87
Figura 45 - Resistencia a Compressão - Autoria Própria 2021.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Demanda Mundial de concreto - Abrelpe 2006.....	24
Tabela 2 - Demanda mundial de concreto - Abrelpe 2017	24
Tabela 3 - Características dos agregados reciclados, conforme sua origem, LEVY (2001).....	39
Tabela 4 - Composição Granulométrica da Areia - Autoria Própria 2021.....	91
Tabela 5 - Composição Granulométrica Brita Natural - Autoria Própria 2021 ...	93
Tabela 6 - Composição Granulométrica Brita Reciclável - Autoria Própria 2021	93
Tabela 7 - Massa Especifica Agregado Natural - Autoria Própria 2021	64
Tabela 8 - Massa Especifica Agregado Reciclável - Autoria Própria 2021	64
Tabela 9 - Massa Unitária do Agregado Natural - Autoria Própria 2021	67
Tabela 10 - Massa Unitária do Agregado Reciclável - Autoria Própria 2021	67
Tabela 11 - Determinação do inchamento da Areia - Autoria Própria 2021.....	71
Tabela 12 - Consumo de agregado graúdo - CURTI 2016 "Adaptado"	76
Tabela 13 - Resultados do Ensaio de Abatimento - Autoria Própria 2021.....	88
Tabela 14 - Resistencia a Compressão - Autoria Própria 2021	89
Tabela 15 - Limites granulométricos do agregado miúdo - NBR 5734	92
Tabela 16 - Massa especifica da areia - Autoria Própria 2021	95
Tabela 17 - Massa especifica brita natural - Autoria Própria 2021	95
Tabela 18 - Massa especifica brita reciclável - Autoria Própria 2021	95

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Mostra a formula matemática de equacionamento da massa unitária	27
Equação 2 - Massa Especifica.....	28
Equação 3 - Teor de umidade dos agregados	28
Equação 4 - Coeficiente de inchamento.....	29
Equação 5 - Massa especifica da areia	58
Equação 6 - Equação da Massa Unitária Compactada	67
Equação 7 - Determinação do fcj ao final dos 28 dias	74
Equação 8 - Consumo de cimento	76
Equação 9 - Consumo de Agregado Graúdo	76
Equação 10 - Volume do agregado miúdo	76
Equação 11 - Consumo de agregado miúdo.....	77
Equação 12 - Traço do concreto	77

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Mpa	Mega pascal
Fck	Resistencia característica do concreto a compressão
Fcj	Resistencia média do concreto a compressão
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
AC	Água cimento
Vm	Volume agregado miúdo
C	Consumo de concreto
CB	Consumo de brita
γ	Massa específica
δ_{cim}	Massa específica cimento
δ_{brita}	Massa específica brita
δ_{areia}	Massa específica areia
Cm	Consumo agregado miúdo
Mc	Massa unitária compactada
Vc	Volume agregado de concreto
Ca	Consumo de água
RCD	Resíduos de construção e demolição
RC	Resíduos da construção
Mra	Massa recipiente mais amostra
Mr	Massa recipiente
Vr	Volume do recipiente
L	Leitura do frasco
g/cm ³	Gramas por centímetros cúbicos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.2. OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
1.3 JUSTIFICATIVA	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1 HISTÓRIA DO CONCRETO.....	23
2.2 AGREGADOS	25
2.2.1 <i>Granulometria dos Agregados.....</i>	26
2.2.2 <i>MASSA UNITÁRIA</i>	27
2.2.3 <i>Massa Específica</i>	27
2.2.4 <i>Teor de umidade dos agregados.....</i>	28
2.2.5 <i>Coefficiente de inchamento</i>	29
2.3 CONCRETO.....	30
2.3.1 <i>Relação água/cimento.....</i>	30
2.3.2 <i>Cura do concreto.....</i>	32
2.3.3 <i>Resistência característica do concreto (fck).....</i>	32
2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	33
2.4.1 <i>Trabalhabilidade.....</i>	33
2.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	34
2.5.1 <i>Resistência do Concreto</i>	34
2.5.2 <i>Porosidade</i>	35
2.6 RESÍDUOS GERADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL	36
2.7 AGREGADOS RECICLADOS	37
2.7.1 <i>Processo de produção de agregados reciclados e sua granulometria</i>	39
2.8 CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS	40

	15
2.8.1 Avaliação estrutural do concreto Reciclado.....	41
2.8.2 Trabalhabilidade e relação água/cimento.....	43
2.9 PROPRIEDADES DO CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS.....	44
2.9.1 Resistência.....	44
2.9.2 Porosidade.....	45
2.10 MÉTODOS PARA MELHORAR O USO DOS AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETOS.....	46
2.11 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	47
3 METODOLOGIA.....	49
3.1 MATERIAIS.....	50
3.1.1 Cimento.....	51
3.1.2 Agregado Graúdo Reciclado.....	51
3.1.3 Agregados Naturais.....	54
3.1.3.1 Granulometria Agregado Miúdo.....	54
3.1.3.2 Ensaio de granulometria do Agregado Graúdo.....	56
3.1.4 Ensaio de Massa Específica dos Agregados.....	57
3.1.4.1 Massa Específica Agregado Miúdo.....	57
3.1.4.2 Massa Específica dos Agregados Graúdos.....	59
3.1.4.3 Ensaio de Massa Unitária Compactada dos Agregados Graúdos.....	65
3.1.4.4 Ensaio de Inchamento do Agregado Miúdo.....	67
3.2 DOSAGEM DO CONCRETO.....	72
3.2.1 Cálculo da dosagem do concreto.....	73
3.3 FABRICAÇÃO DO CONCRETO.....	78
3.3.1 Ensaio Slump Test.....	80
3.3.2 Moldagem dos Corpos de Prova.....	82
3.3.3 Cura dos corpos de prova.....	84
3.3.4 Rompimento dos Corpos de Prova.....	86

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	88
4.1 ENSAIO DE ABATIMENTO (SLUMP TEST)	88
4.2 ENSAIO DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO	89
4.3 ENSAIO DE GRANULOMETRIA AGREGADO MIÚDO	90
4.3 ENSAIO DE GRANULOMÉTRIA AGREGADO GRAUDO	92
4.4 MASSA ESPECIFICA DOS AGREGADOS	95
4.5 INCHAMENTO DA AREIA.....	95
4.6 MASSA UNITÁRIA COMPACTADA	95
5 CONCLUSÕES	96
6 REFERÊNCIAS.....	98
ANEXO A – BOLETIM DE ENSAIOS DE CIMENTO	104
ANEXO B – COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA SEM ADIÇÃO DE RCD 105	
ANEXO C – COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA COM 20% DE ADIÇÃO DE RCD.....	106
ANEXO D - COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA COM 40% DE ADIÇÃO DE RCD	107
ANEXO E - COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA COM 60% DE ADIÇÃO DE RCD	108

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos e os seus impactos correlacionados preocupa os meios técnicos–científico na busca de soluções visando tornar as atividades produtivas sustentáveis.

Com o avanço do progresso acabou-se com o crescimento normal da natureza, onde os recursos naturais presentes em tempos mais remotos eram considerados ilimitados e hoje com avanços em pesquisas sobre tais recursos, acabou se constatando que as reservas vêm diminuindo, e a, portanto uma necessidade de se restabelecer tal crescimento linear, para podermos garantir a preservação ambiental e até mesmo a sobrevivência da humanidade.

Como a construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais, cerca no Brasil de 210 milhões de toneladas, acaba sendo necessário achar soluções que contornem tais dispersões no crescimento natural dos recursos presente em nosso globo, então sugere o conceito de sustentabilidade (JOHN, 2000).

Hoje o conceito de sustentabilidade está muito enraizado em nossa população gerando uma grande comoção e sentimentalismo nas pessoas, mas a reciclagem em especial a de resíduos de construção e demolição (RCD), está longe de ser perfeita, vista que as empresas e prefeituras passam por processos lentos para se adequar as novas normas, contudo a reciclagem vem ganhando espaço no contexto histórico, pois a mesma é praticada a algum tempo.

Houve uma compreensão a respeito da problemática do desperdício nas construções, onde os resíduos acabam sendo descartados sem dar uma possível reutilização. Assim observando a necessidade de reconstrução de cidades destruídas, por guerras ou catástrofes naturais, deu origem a técnica bem sucedida de reaproveitamento dos resíduos e de aplicações dos mesmos na produção de artefatos e outros serviços inerentes a construção, conforme mostra o resultado de pesquisa e desenvolvimento da Europa, Estados Unidos, Rússia e Japão (LEVY, 2001; HANSEN, 1992 e outros).

A partir da 2.^a guerra mundial, houve a primeira aplicação relevante de entulhos reciclados provenientes dos escombros dos edifícios demolidos, britados e transformados em agregados e depois empregados na confecção de um novo concreto (LEVY, 2001).

Com a grande capacidade de geração de resíduos que a construção civil possui os mesmos podem gerar grandes incômodos as populações urbanas, essa principalmente as questões ambientais que causam transtornos imediatos a população de diversos países.

A construção civil produz grandes porcentagens de resíduos sólidos e a destinação irregular desses resíduos vem gerando diversos problemas principalmente na questão ambiental em todo o mundo. O assunto ganha um grande destaque, pois vem se estudando cada vez mais a incorporação de práticas de sustentabilidade, principalmente para restos de concreto, que podem ser sobras das concreteiras, estruturas pré-moldadas que não foram bem-sucedidas, ou até mesmo demolição de estruturas que tem como material principal o concreto (FERREIRA, 2014).

O mercado da construção civil é uma das melhores alternativas para o consumo de materiais reciclados, tal reciclagem pode ser vista de uma maneira macro, como as madeiras, ferros, vidros, alumínio, etc... e também de uma maneira micro como a reciclagem do concreto para a produção de novas matérias. Essa reciclagem do concreto proporciona grandes melhoras no meio ambiente e também no financeiro de uma empresa, além de reutilizar um material que volta a ser matéria-prima para a obra. Para grandes pesquisadores, a principal contribuição é mostrar que a reciclagem de resíduos de concreto pode auxiliar na produção de um novo material com custo mais baixo, podendo assim gerar construções mais em conta para a população.

Então tornou-se necessário conhecer e categorizar as características dos agregados reciclados em especial o concreto, sendo de suma importância para que possamos usá-los em diversas frentes de trabalho, visto que a reutilização do mesmo está empregada a sustentabilidade e a economia, tendo em vista que a reutilização pode gerar um produto de atributos semelhantes.

Tendo por base tais necessidades, o presente estudo visa encontrar uma melhor dosagem dos agregados reciclados com os de origem natural, visando diminuir ao máximo o uso dos oriundos do meio ambiente, deixando o novo concreto concebido com as propriedades semelhantes ao do convencional, por isso aqui discorreremos as características deste agregado que está sendo utilizado, determinando assim sua viabilidade técnica na aplicação em concreto estruturais na construção civil.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Observar a influência da utilização dos resíduos provenientes de estruturas de concreto gerados pela construção civil, em substituição ao agregado graúdo, na produção de um novo concreto e sua influência na resistência a compressão.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a influência da substituição dos agregados de origem natural por agregados de origem reciclável, na confecção de novos concretos, fazendo variações na quantidade total de agregado graúdo, a variação ocorrerá nas proporções de 20%, 40% e 60%, na substituição do agregado natural pelo agregado reciclável. Buscando alcançar 25 Mpa de resistência a compressão, ao final de 28 dias;
- Estabelecer as características dos agregados utilizados na pesquisa, através dos métodos estabelecidos pela Norma Brasileira (NBR) necessários para a dosagem através do método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP);
- Determinar a influência dos agregados graúdos, na propriedade mecânica do concreto em estado endurecido (resistência à compressão);

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, um dos principais temas tratados pelo mundo atual, é a questão da sustentabilidade, onde diversos empreendimentos tomam cuidados para que não seja causado algum impacto ambiental. Entre esses empreendimentos notamos que a construção civil é reconhecida como uma das principais atividades, que gera um grande desenvolvimento social e econômico para o país.

Por outro lado, também é um dos ramos de nosso país que mais gera impactos ambientais em nosso meio, gerando uma abundante quantidade de Resíduos da Construção e Demolição (RCD). A construção civil faz parte do grupo de atividades que mais provocam impactos ambientais e uma das maiores geradoras de resíduos (LAURITZEN, 1994).

Com tanta geração de entulho o mundo se depara com um problema, no que tange a destinação dos resíduos de construção e demolição. Sem a destinação correta de tais resíduos acabam sendo depositados em lugares não apropriados como, terrenos baldios, curso de águas ou beiras de estradas, tais destinações incorretas acabam gerando danos ambientais em áreas urbanas. Conforme o IBGE (2016) a grande maioria de massa de resíduos sólidos urbanos são de origem da construção civil, que a maioria das vezes são descartados de forma irregular, segundo o mesmo cerca de 5% das cidades brasileiras possuem uma destinação correta para a reciclagem do RCD. Com a falta de destinação dos resíduos a solução mais adequada seria a própria indústria da construção civil.

A reciclagem dos entulhos gerados pela construção civil se torna importante, dado que a mesma está relacionada a práticas sustentáveis que acompanham o crescimento global no avanço social e assim obedecendo à lei n.º 12.305/10 — Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), minimizando os possíveis impactos ambientais.

Essa reciclagem pode poupar florestas, reduzir a extração de pedras de pedreiras sob arbustos e grandes áreas verdes, poupar também a água, evitando assim que o entulho seja descartado em rios, riachos, represas e mares e ainda gera trabalho e renda (SILVA, 2006).

Como é abordado por Leite (2001), o mercado da construção civil, é visto como uma das melhores alternativas para consumir material reciclado. Essa 'reciclagem' do concreto, proporciona melhorias significativas do ponto de vista

ambiental e financeiro, além de introduzir no mercado um novo material com grande potencial de uso, ou seja, transformar o entulho novamente em matéria-prima.

Patto (2006) afirma que a principal contribuição é mostrar que a reciclagem de concretos, pode auxiliar na produção de materiais de baixo custo, colaborando assim para a construção de habitações mais baratas. Tornando assim a sua, relevante pesquisar, pois, a partir da reciclagem de concretos é possível se obter, concretos de agregados reciclados com características próximas do concreto convencional.

Para Patto (2006) a principal contribuição é mostrar que a reciclagem de concreto pode auxiliar na produção de um novo material com o custo mais baixo, podendo vir a colaborar construções de edificações mais baratas.

Conhecer as características do concreto com agregado reciclado realizar estudos se faz necessário, dado que a importância de se reutilizar o concreto e emprega-lo em novos materiais está ligada diretamente à sustentabilidade e economia, tendo em vista que utiliza menos matéria-prima e de certa forma cria um material, com características semelhantes ao original. Sendo assim, visando a obtenção de concretos com agregados provenientes da reciclagem de outros concretos, o presente estudo visa encontrar a melhor quantidade de agregado reciclado para que o concreto atinja propriedades semelhantes ao concreto convencional, por isso existe a necessidade de discorrer sobre algumas técnicas de melhoramento das características deste agregado que está sendo reutilizado, determinando assim a viabilidade técnica para a aplicação em concretos na construção civil.

Dentre os vários resíduos da construção civil, os resíduos de concreto são os que possuem um dos maiores potenciais de reutilização, devido principalmente ao conhecimento de suas características básicas (fck, idade, etc.), e seu menor grau de contaminação por outros materiais (GONÇALVES, 2001).

As maneiras mais tradicionais de utilização do agregado reciclado, são em materiais sem função estrutural, como em argamassas de assentamento e revestimento, contrapisos, reforço de base, sub-base e subleito de pavimentos e correções topográficas de terrenos. No entanto, algumas indústrias, ou mesmo as usinas de reciclagem, também produzem com os agregados reciclados artefatos como: blocos de vedação, contramarco e vergas para janelas, vigas para lajes pré-moldadas e elementos decorativos (MIRANDA, 2005).

No Brasil, algumas pesquisas com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição (RCD) nos mostram ser possível o aproveitamento em concreto, mas fica claro a necessidade de conhecer melhor os agregados de tal origem.

Como algumas formas já foram estudadas e com diferentes dosagens, esse trabalho, objetiva originalmente, avaliar a resistência do concreto em estado endurecido quanto a utilização de agregados de origem reciclável, avaliando assim se existirá uma proporção entre agregado natural e agregado reciclável que mais se adequa a utilização em concreto estrutural, destacando assim se a ou não viabilidade do uso em estruturas. E com o fim do estudo comparar os diferentes ensaios com a utilização do RCD, com um concreto sem adição do mesmo (100% agregados naturais), onde o mesmo servirá de base para verificação de sua capacidade de carga e seu comportamento em relação à resistência.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nos próximos itens serão apresentados para contribuir com o tema, levantamento histórico, pesquisas e artigos para conceituações teóricas sobre o campo de pesquisa, de modo a se fazer um entendimento sobre a mesma. Os tópicos serão relacionados aos problemas ambientais gerados pela construção civil e o impacto que a mesma gera na poluição do ecossistema, mostrando as definições, quantificações, origem e características dos agregados vindo das construções e demolições, provenientes dos concretos, buscando um melhoramento dos mesmos de modo a alcançar uma resistência equivalente.

2.1 HISTÓRIA DO CONCRETO

O concreto sempre esteve diretamente ligado a história da humanidade, a cerca de 2.000 anos o império romano utilizava para a construção de aquedutos e estradas, os mesmos são conhecidos por utilizarem o material construtivo na criação de estradas com cerca de 5.300 milhas (ca. 8.530 km) e também por serem os pioneiros a utilizar pozolane e outros aditivos como, gordura animal, leite e outros.

Já o primeiro fato registrado aponta para o ano 1756, quando John Smeaton fez concreto misturando agregado graúdo e cimento. Em 1793, ele construiu o Eddystone Lighthouse in Cornwall (Inglaterra) com o uso de cimento hidráulico. Outro grande desenvolvimento aconteceu no ano 1824.

O inventor inglês Joseph Aspdin desenvolveu o cimento portlant ele fez concreto queimando giz com terra e finalmente argila, em um forno até que o dióxido de carbono evaporasse, resultando em um forte cimento, desde então esse vem sendo o material mais utilizado no mundo para a confecção de obras civis.

Tal composto é muito utilizado atualmente como um material para construção, por apresentar uma vida útil longa e poder ser moldado conforme suas necessidades, como no caso de vigas e pilares. O composto é obtido através do emprego de alguns aglomerantes, agregado miúdo, agregado graúdo, água e também pode ser utilizados alguns aditivos, criando assim uma mistura homogênea a qual possui características próprias.

Já, contudo o uso de resíduos da construção civil (RCC) são algo mais recente onde as suas primeiras pesquisas datam de, 1928 onde começaram a ser

desenvolvidos estudos de forma mais sistemática para avaliar o consumo de cimento, a quantidade de água e o efeito da granulometria dos agregados oriundos de alvenaria britada e de concreto. A primeira aplicação significativa de RCD só foi registrada após a Segunda Guerra Mundial, na reconstrução das cidades europeias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos e os escombros ou entulho resultante foram britados para produção de agregado visando atender à demanda da época (Wedler e Hummel, 1946 apud Levy e Helene, 1995). Já em 1983 nos Estados Unidos, houve deterioração de 9 km de uma pavimentação em concreto, esses escombros foram britados e utilizados como agregado para o concreto empregado na nova pavimentação (Mehta, 1999).

Para expressarmos uma justificativa para a utilização dos resíduos da construção e demolição (RCD) podemos observar a quantidade gerada de entulho proveniente da construção civil, onde os mesmos atingem valores expressivos em nosso país, estes mesmos não recebem uma destinação adequada onde atingindo assim valores alarmantes, que geram um grande impacto ao nosso meio ambiente urbano. Conforme observado pela Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2019), são produzidas 122,012 toneladas de RCD por dia no Brasil, sendo as regiões sudeste e nordeste as maiores produtoras de entulho em território nacional. Outro sim, que podemos tomar como necessidade da utilização dos RCD são a quantidade de concreto fabricados por ano, o qual consome os recursos naturais, acelerando o esgotamento de reservas pelo mundo. Conforme estudos apresentados em 2017

Tabela 1 - Demanda Mundial de concreto - Abrelpe 2006

DEMANDA MUNDIAL DE CONCRETO	
Concreto	11 bilhões t/ano
Água	1,0 bilhão t/ano
Agregado	9 bilhões t/ano
Cimento	1,5 bilhões t/ano

Tabela 2 - Demanda mundial de concreto - Abrelpe 2017

PESQUISA REPETIDA EM 2017	
Concreto	33 bilhões t/ano
Água	2,7 bilhões t/ano
Agregado	27 bilhões t/ano
Cimento	3,7 bilhões t/ano

- Projeção em 2006 para 2050 era de 16 bilhões t/ano (Mehta e Monteiro, 2014)

A observação presente mostrada pelos pesquisadores mostra que a utilização dos recursos naturais acelera a cada ano na indústria civil, fazendo com que haja necessidade de reutilizar os materiais empregados de outras construções passadas.

2.2 AGREGADOS

Agregados para construção civil são materiais minerais, sólidos inertes que, de acordo com granulometrias adequadas, são utilizados para fabricação de produtos artificiais resistentes mediante a mistura com materiais aglomerantes de ativação hidráulica ou com ligantes betuminosos. (BAUER, 2000).

Tal componente ocupa entre 60% a 80% no volume total do concreto, os espaços presentes entre os agregados são preenchidos pela pasta cimentícia a qual a mistura dos materiais concede as características habituais do concreto.

Neville e Brooks (2013) também consideram que cerca de $\frac{3}{4}$ do volume de concreto são ocupados pelos agregados, então eles desempenham uma importância significativa, sendo necessário existir uma qualidade do material. A qualidade dos agregados é de grande importância para a fabricação de um bom concreto, exercendo nítida influência não apenas na resistência mecânica do produto acabado como, também, em sua durabilidade e no desempenho estrutural.

A granulometria do agregado usada para o preparo do concreto pode apresentar grandes variações, dependendo do tamanho da partícula a ser empregada para a obtenção do mesmo. A Norma brasileira (NBR 7211) define agregado da seguinte forma.

Agregado miúdo: de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm (peneira de malha quadrada com abertura nominal de “x” mm, neste caso 4,8 mm) e ficam retidos na peneira ABNT 0,150 mm.

Agregado graúdo: o agregado graúdo é o pedregulho natural, ou a pedra britada proveniente do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam pela peneira ABNT 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm.

Ao ser observado que a resistência mecânica do agregado, afeta as condições do concreto é de grande notoriedade a observação destes.

Il-Seok-Oh (2001) apud Pompeu Neto (2004) identificou em seu estudo que para uma mesma argamassa, tipos, formas e texturas diferentes de agregados resultaram em concretos com diferentes resistências.

As características dos agregados derivam da mineralogia da rocha matriz, das condições de exposição às quais a rocha foi submetida antes de gerar o agregado e das operações e equipamentos usados para a produção dos mesmos (POMPEU NETO, 2004).

O agregado influencia diretamente na resistência do concreto, pois agregados com propriedades indesejáveis podem não apenas produzir um concreto pouco resistente, mas também pode comprometer o desempenho estrutural do mesmo (NEVILLE, 1997).

2.2.1 Granulometria dos Agregados

Conhecer as propriedades e características de um agregado é de grande importância para definir os usos mais adequados que se pode fazer dele (Hagemann, 2011).

Os agregados são amplamente utilizados para a composição de diversos materiais da construção civil, estudar suas características físicas e comportamentos garantem que esses materiais tenham o melhor desempenho e custo otimizado (Lopes, 2017). A granulometria de um agregado tem grande influência na qualidade das argamassas e concretos que irão compor, principalmente, no que diz respeito à compacidade, trabalhabilidade e resistência mecânica (Lara, 2013).

A granulometria é uma propriedade que reflete a distribuição dos tamanhos dos grãos de um agregado, ou seja, determinam-se as porcentagens de uma amostra que pertence a uma determinada faixa granulométrica, conforme o tamanho dos grãos (Hagemann, 2011).

Tal distribuição granulométrica é determinada por meio do ensaio descrito na NBR 7217/87, que consiste no peneiramento da amostra de material cuja massa mínima é expressa pela tabela encontrada em norma, em função da dimensão máxima do agregado a ser peneirado (Hagemann, 2011).

2.2.2 MASSA UNITÁRIA

A massa unitária é grande importância na tecnologia dos concretos e argamassas, pois serve para converter os traços de massa em volume e vice-versa, assim como também é utilizada no cálculo do consumo de materiais e no dimensionamento de recipientes para seu transporte (LARA, 2013).

A determinação da massa unitária de um agregado é feita através da relação entre sua massa e seu volume sem compactar, considerando também os vazios entre grãos. Essa relação permite transformar massa em volume e vice-versa. A massa unitária compactada parte do mesmo princípio, porém considera sua relação massa volume na forma compactada, também considerando os vazios existentes nos grãos (LOPES, 2017).

A equação 1 mostra a fórmula matemática de equacionamento da massa unitária.

Equação 1 - Mostra a fórmula matemática de equacionamento da massa unitária.

$$P = \frac{m}{v}$$

P = Massa Unitária;

M = Massa;

V = volume (considerando os vazios dos grãos);

Para a determinação da massa unitária dos agregados é utilizada a norma NBR NM 45 2006.

2.2.3 Massa Específica

A massa específica é um índice físico que está diretamente relacionado à compactação dos grãos, ou seja, quanto menor for a massa específica do agregado, mais leve é o material ou mais vazios ele possui (LOPES, 2017)

A massa específica (μ) é a relação entre a massa (M) de uma determinada quantidade de agregado e a soma dos volumes dos grãos componentes, chamado volume real (Vr) (LARA, 2013). Para o ensaio da massa específica é observado a norma NBR 9776.

Equação 2 - Massa Especifica

$$\gamma = \frac{M}{V_r}$$

2.2.4 Teor de umidade dos agregados

Conhecer o teor de umidade dos agregados é fundamental, pois este valor pode interferir na dosagem do concreto (LOPES, 2017).

A quantidade de água presente nos agregados interfere em muitas de suas propriedades e aplicações. A areia, mesmo que pareça seca, contém quantidade razoável de água e sofre a influência do inchamento. A brita não sofre esse efeito e mesmo molhada seca rapidamente, pois os espaços entre os grãos são maiores, o que facilita a evaporação da água (LARA, 2013).

A umidade influi na utilização da areia para confecção de concretos, sobretudo, por exigir duas correções durante a sua aplicação alteração da água de amassamento da mistura e alteração do volume da areia na confecção do traço, devido ao inchamento (LARA, 2013).

Se a areia estiver úmida e não se determinar essa umidade, a água incorporada à areia vai alterar a proporção entre água e cimento do concreto, o que causa danos à resistência do mesmo. Se a umidade for conhecida, pode-se corrigir a quantidade de água a ser adicionada ao concreto, pois já se terá conhecimento a respeito da quantidade de água incorporada à areia (HAGEMANN, 2011).

Define-se como teor de umidade do agregado a relação em porcentagem entre a massa total da água envolvida na superfície dos grãos a qual preenche os poros permeáveis do agregado em relação a sua massa seca (LOPES, 2017).

Equação 3 - Teor de umidade dos agregados

$$h(\%) = \left[\frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100 \right] \%$$

h = umidade em porcentagem

Mh = Massa úmida

Ms = Massa seca

Existe mais de um método para determinação da umidade. O mais utilizado é a secagem em estufa, o qual é contemplado pela NBR 6457/2016, cuja amostra é

pesada antes de ser colocada na estufa a 100 °C. Este peso corresponde ao peso úmido (Ph). Após permanecer no mínimo 24 hrs na estufa, a amostra é pesada novamente e tem-se o peso seco (Ps) (HAGEMANN, 2011).

Método Speedy: Este método é muito utilizado, pois, diferente do método de estufa realizado em laboratório, este é mais rápido e pode ser feito diretamente na obra. O teor de umidade é determinado por pressão. O agregado miúdo é colocado em um cilindro com esferas metálicas e uma ampola de carboneto de cálcio. Em seguida, agita-se o cilindro e verifica-se a pressão no manômetro acoplado. Com a leitura da pressão, utiliza-se uma tabela padrão estabelecida e determina-se o teor de umidade (LOPES, 2017).

2.2.5 Coeficiente de inchamento

Uma das propriedades importantes a serem estudadas dos agregados é o inchamento. Ele ocorre em agregados miúdos e pode mascarar o seu real volume (LOPES, 2017).

A água presente entre os grãos de agregado provoca o afastamento entre eles, o que resulta no inchamento do conjunto. Esse aumento de volume ocorre até determinado teor de umidade acima do qual o inchamento permanece praticamente constante. Esse teor de umidade é chamado Umidade Crítica (HAGEMANN, 2011).

O inchamento é o aumento de volume que ocorre em uma quantidade de areia, em função da quantidade de água que ela contém. O inchamento (I) é o volume de água ($V_{ag} = V_h - V_s$) referido percentualmente em relação ao volume da areia seca. Para cada teor de umidade, há um coeficiente de inchamento correspondente (LARA, 2013). O ensaio de inchamento é descrito pela NBR 6467/2006.

Equação 4 - Coeficiente de inchamento

$$I\% = \left[\frac{V_h - V_s}{V_s} \times 100 \right] \%$$

I = inchamento em porcentagem

V_h = Volume úmido

V_s = Volume Seco

A água pode agir penetrando por entre os grãos de areia invadindo inicialmente os poros permeáveis. Uma vez saturados, a água forma uma película ao redor do grão que, em função de seu tamanho pequeno e leveza, é afastado do seu “vizinho”, produzindo um aumento de volume do conjunto (LARA, 2013).

2.3 CONCRETO

Podemos definir o como sendo um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), e ar. Pode também conter adições (cinza volante, pozolanas, sílica ativa, etc.) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (BASTOS, 2006).

. Logo após a mistura o concreto deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em formas, adquirindo coesão e resistência com o passar do tempo, devido às reações que se processam entre aglomerante e água (ALMEIDA, 2002).

A proporção entre os diversos constituintes do concreto é buscada pela tecnologia, para atender simultaneamente as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade requeridas para o concreto, além das características de trabalhabilidade necessárias para o transporte, lançamento e adensamento, condições estas que variam caso a caso (HELENE, 2010).

Para se obter as características essenciais do concreto, como a facilidade de manuseio quando fresco, boa resistência mecânica, durabilidade e impermeabilidade quando endurecido, é necessário que alguns fatores sejam conhecidos como a, qualidade dos materiais, proporcionalidade adequada (Agregados miúdo, agregados graúdos, água/ cimento), manipulação adequada após a mistura, cura cuidadosa (ALMEIDA, 2002).

2.3.1 *Relação água/cimento*

A água exerce um papel fundamental para o concreto ela é a responsável por possibilitar as reações químicas do cimento, chamadas reações de hidratação, que irão garantir as propriedades de resistência e durabilidade. Essa

também a função de lubrificar as demais partículas a qual propícia o manuseio do concreto. A água potável é a indicada para a confecção dos concretos (Bastos, 2006).

Observando tal relação destaca-se que a água tem um papel fundamental no composto, e a relação entre a massa da água e a massa do cimento dentro de uma mistura recebeu o nome, fator água cimento (a/c). Dizemos que este fator é a base para a definição de todas as misturas compostas com cimento e água, devendo ser muito bem compreendido por todos aqueles que trabalham com o concreto, pois tal fator tem influência direta na resistência do concreto (NEVILLE, 1997).

A água presente na mistura deve ser necessária para envolver os grãos, permitindo a hidratação e cristalização do cimento. Observa-se que a relação água/cimento está ligada a porosidade da pasta endurecida, considerando que a sua resistência é inversamente proporcional a está relação (NEVILLE, 1997).

O fator água/cimento constitui a fluidez da pasta, a qual relação dependerá, essencialmente, da distribuição granulométrica do cimento e da quantidade de água adicionada, expressa pela relação água/cimento. Quanto maior essa relação, mais fluída é a pasta (ANDRADE, 2010).

Conforme Abrams (1918), ao término de sua pesquisa constatou que apesar de todos os materiais importarem para a constituição do concreto, a água tem um papel de destaque em tal composto, “Quanto mais água adicionar a mistura, mais fraco ficará o concreto, e será mais propício a apresentar fissuras”. Borges (2009), observou que muitas vezes essa relação é ignorada, simplesmente adicionando quantidades de águas não calculadas a mistura em canteiro de obras a de modo melhorar a trabalhabilidade dos funcionários.

O fator água cimento, é definida como a razão entre duas substâncias, e geralmente está em torno de valores como 0,4 e 0,7. A NBR 7212 (ABNT, 2012), apresenta em seu corpo que ao verificar que o composto apresenta abatimento dentro da classe de consistência especificada, não se admite mais nenhuma adição suplementar de água, não deixando que a quantidade de água ultrapasse o limite previsto na dosagem inicial do concreto.

2.3.2 Cura do concreto

A cura do concreto é uma série de procedimentos adotados, para manter a hidratação do cimento, para que o concreto endureça de maneira correta e as estruturas apresentem, após o procedimento, o desempenho esperado. Uma das principais funções da cura é evitar que o concreto perca água para o ambiente e retraia abruptamente, o que acarreta o surgimento de fissuras. (PINI, 2012)

Conforme ressaltado por Petrucci (2005), algumas condições interferem nas propriedades de endurecimento do concreto, como a temperatura do meio que o composto está inserido e a umidade encontrada, isso faz com que a cura seja necessária.

Tempo e umidade são, fatores importantes nos processos de hidratação controlados pela difusão da água. Além disso, como em todas as reações químicas, a temperatura tem um efeito acelerador sobre as reações de hidratação (METHA E MONTEIRO, 1994).

A NBR 14931/2004 estabelece que a cura deve ser feita para, evitar a perda de água, assegurar uma superfície com resistência adequada, assegurar a formação de uma capa superficial durável.

Para a NBR 6118/2014, a cura deve ser feita durante os primeiros 7 dias contados do lançamento, enquanto a NBR 12655/2015 estabelece sua manutenção até que o concreto atinja a resistência de 15 MPa, recomendando para tal, dentre diversas técnicas, a cura úmida é a mais empregada nas construções.

2.3.3 Resistência característica do concreto (f_{ck})

Dá-se o termo, resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}), a qual adotamos para os cálculos a fim de estabelecer uma resistência a tal projeto, onde se adota uma probabilidade da ocorrência de apenas 5% de resistência à compressão menor do que ela. O concreto de acordo com seu f_{ck} ficará mais barato ou mais caro, e a necessidade será determinada no momento do cálculo estrutural que será feito pelo engenheiro (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Para Petrucci (1998), a resistência a esforços mecânicos do concreto é caracterizada pela resistência a compressão f_{ck} e a partir desta, pode-se obter dados a respeito da resistência a outras solicitações.

Mehta e Monteiro (2008) complementam que a resistência à compressão dá a ideia de qualidade do concreto e a define como sendo a tensão máxima que o concreto pode suportar até romper.

A NBR 5739/2015 estabelece uma normativa para ensaios em corpos de provas, afim de analisar a resistência que o concreto possui.

2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

2.4.1 *Trabalhabilidade*

Para Petrucci (1998) e Neville e Brooks (2013), trabalhabilidade é a propriedade fundamental para que o concreto seja empregado para alguma finalidade. Para Mehta e Monteiro (2008) a trabalhabilidade é definida como sendo o esforço necessário para lançar, adensar e acabar o concreto, dependendo de fatores como atrito interno (agregados) e externo (formas).

A trabalhabilidade é umas das principais propriedades do concreto fresco. Podendo ser definida como a propriedade que facilita a mistura, aplicação e acabamento em uma condição íntegra e homogênea do concreto (CARASEK, 2004).

Existem fatores que afetam a consistência e conseqüentemente a trabalhabilidade do concreto, Petrucci (1998) expõe alguns fatores de classe externa e de classe interna. Entre os que corroboram para os externos estão a mistura, transporte e adensamento. Já como fatores internos, é observado a relação água/cimento, características dos agregados e aditivos.

Aditivos podem ser responsáveis pelo aumento da fluidez, ou seja, afetar o seu abatimento (METHA e MONTEIRO, 2008).

É de grande dificuldade medir a trabalhabilidade, a qual torna-se uma unidade de difícil obtenção, à qual não existe nenhum método específico. Porém a consistência é medida pelo ensaio de abatimento do tronco de cone NBR 16889/2020, (Slump test).

2.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

2.5.1 Resistência do Concreto

A NBR 12655/2015 define concreto endurecido como concreto no estado sólido que desenvolveu resistência mecânica. As propriedades do concreto no estado endurecido giram em torno da durabilidade, impermeabilidade, estabilidade e resistência.

A propriedade mais importante do concreto é a resistência, a qual segundo Neville e Brooks (2013), tal fator oferece uma ideia geral da qualidade do concreto, tal fator pode ser medido para os processos de qualidade.

A resistência pode ser descrita como a capacidade do concreto endurecido em resistir as diversas condições de carregamento a qual está sendo solicitado. Muito embora a resistência dependa de outros fatores, ainda é necessário especificar para fins de aceitação (NEVILLE, 1997).

As principais propriedades do concreto endurecido são normalmente expressas pelo projetista das estruturas (HELENE e ANDRADE, 2010).

Para Neville e Brooks (2013), um dos fatores fundamentais para a resistência do concreto é sua porosidade, a qual é representada pelo volume de vazios presentes na pasta do cimento.

Petrucci (1998), corrobora com a afirmação citando que também um fator essencial para atingir a resistência desejada depende diretamente da relação água cimento presente no concreto, a qual é primordial para a sua resistência.

Resistência pode ser definida como a medida da tensão exigida para romper o material (METHA, 1994).

O concreto é um material que resiste bem aos esforços de compressão e mal aos esforços de tração. Sua resistência a tração é da ordem de décima parte a resistência a compressão (ROMANO, 2004).

Algumas ações como as mecânicas, físicas e químicas podem atuar de forma isolada ou combinada por meio do intemperismo natural ou resultante de resíduos industriais, essas ações podem contribuir para a redução da vida útil do concreto. Quando o concreto aumenta a sua permeabilidade ele pode afetar diretamente sua durabilidade permitindo que o mesmo fique exposto aos fatores de

intemperismo. Um dos fatores que pode colaborar para o aumento de sua vida útil é usar cimentos com alta resistência a sulfatos (EFFTING, 2014).

As reações entre a água e o cimento variam conforme o tempo, adotando-se normalmente a idade de 28 dias como idade padrão e ensaiando-se o material em idades inferiores, como 7 dias, para se chegar a resultados de resistência mais rapidamente (PETRUCCI, 1998).

2.5.2 Porosidade

O concreto é um material obrigatoriamente poroso, tal porosidade deve receber a devida importância, pois confere ao concreto permeabilidade para líquidos e gases (BAUER, 2008).

Existem vários fatores que afetam a porosidade do cimento, entre eles podemos citar uma das mais importantes, a necessidade de utilizar uma quantidade de água superior à que precisa para a hidratação do aglomerante e essa água ao evaporar deixa vazios no concreto (ROMANO, 2004).

Mehta (1994) também cita que, o tamanho, volume e continuidade dos poros na estrutura de concreto determinam a porosidade, e assim, a sua permeabilidade e absorção, que é definida com a quantidade de água que pode ser incorporada aos poros permeáveis.

Damieli (2007), expõe que a porosidade do concreto pode ser definida a partir de alguns fatores, relação água/cimento, falhas ao adensar o material, quantidade de ar incorporado, e a porosidade dos agregados incorporados a mistura. Sendo que a porosidade dos agregados determinará a qualidade do concreto final.

Um dos fatores primordiais para evitar a porosidade em estruturas de concreto é fazer o adensamento corretamente. O adensamento é o processo de moldagem do concreto dentro das formas, podendo ser feita com auxílio de vibradores (MEHTA e MONTEIRO 2008).

A NBR 14931/2004 estabelece que o adensamento deve ser feito tanto durante quanto imediatamente após o lançamento do concreto, sendo vibrado para que preencha todos os recantos das formas.

Para Mehta e Monteiro (2008), o objetivo do adensamento é a expulsão de ar, desse modo o concreto endurecido obterá uma menor quantidade de vazios, tornando-o mais durável e com baixa permeabilidade.

2.6 RESÍDUOS GERADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os agregados naturais estão entre os minerais mais consumidos no Brasil, sendo que a estimativa de uso no país gira em torno de $380,6 \times 10^6$ de toneladas por ano, além dos impactos ambientais relevantes como geração de áreas degradadas em volta do setor urbano e transporte intensivo, e para a prevenção ao meio ambiente se torna necessário a utilização de outros fins, como a reciclagem dos materiais provenientes da construção civil, chamados de RC (ÂNGULO, 2002).

Os resíduos da construção (RC) ou comumente chamados resíduos da construção e demolição (RCD), geralmente, são constituídos em cerca de 90% por frações de natureza mineral (concretos, argamassas, rochas naturais, solos e cerâmicas), no Brasil como na Europa (CARNEIRO, 2000).

Do ponto de vista químico a composição estimada do RCD brasileiro, em oxido, seria majoritariamente sílica de alumínio e óxido de cálcio (ÂNGULO, 2002).

A construção civil é uma das maiores geradoras de resíduos, provenientes de reformas, demolições, construções, sobras, entre outros (CONAMA, 2016).

A classificação desses resíduos é feita através da resolução CONAMA 307/2002 e suas modificações. Essa resolução estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção, visando encontrar formas de minimizar os impactos ambientais. O artigo terceiro da Resolução de número 307 diz:

Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I – Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras; (CONAMA, 2002, Art 3º).

A Abrelpe (2019) realizou pesquisas onde apresenta a quantidade de RCC coletada diariamente por região no Brasil, entre os anos de 2017 e 2018, como se pode verificar na Figura 1.

Regiões	2017	População 2018	2018
	RSU Total (toneladas/dia)		RSU Total (toneladas/dia)
Norte	12.705	18.182.253	13.069
Nordeste	43.871	56.760.780	43.763
Centro-Oeste	14.406	16.085.885	14.941
Sudeste	103.741	87.711.946	105.977
Sul	21.327	29.754.036	21.561
BRASIL	196.050	208.494.900	199.311

Figura 1- Quantidade de RCC coletada em 2017 e 2018 nas regiões do país Abrelpe (2019)

2.7 AGREGADOS RECICLADOS

Desde a década de 50, os pesquisadores da área da construção civil têm buscado alternativas para a obtenção de concretos mais duráveis e mais resistentes. Isso os levou a investigações mais detalhadas sobre as propriedades dos agregados, que deixaram de exercer um papel apenas econômico para a composição do concreto, e passaram a apresentar uma alternativa, influenciando positivamente não só a trabalhabilidade, como as propriedades físicas e mecânicas do concreto, bem como a sua trabalhabilidade (LEVY, 2001).

Para isso são estudados os agregados provenientes da construção civil, pode-se dizer que os agregados reciclados a partir de concretos antigos é um material proveniente da moagem, e por esse processo acaba possuindo uma formação particular de argamassa aderida ao agregado natural, usado na produção do concreto antigo. Por isso, com essas características estudadas, este material possui aplicações importantes na construção civil, diminuindo a deposição deste material em locais não adequados (QIAN, 2014).

Quando se estuda a utilização de agregados para a fabricação de concreto, várias características devem ser levadas em consideração, principalmente quando se trata de novos materiais, como o uso de agregados reciclados (LEVY, 2001).

Há várias características a serem observadas na composição de concreto com agregados reciclados. Entre elas a granulometria, a absorção de água, a forma e a textura, sua resistência a compressão e o modulo de elasticidade (METHA e MONTEIRO 1994).

A viabilidade técnica da utilização do concreto, dependera totalmente do conhecimento ao seu comportamento na estrutura. Assim sendo o material a ser reciclado deverá ser trabalhado, levando-se em consideração os cuidados necessários e obedecendo uma sequência de procedimentos, tais como britagem, peneiramento e descontaminação, caso necessário, só então o material poderá ser utilizado na obra, como no caso a fabricação de novos concretos (LEVY, 2001).

A Tabela 3, apresenta as principais características de três tipos de agregados reciclados, conforme sua origem, possibilidade de conter impurezas e potencial resistência mecânica, segundo (LEVY, 2001).

Tabela 3 - Características dos agregados reciclados, conforme sua origem, LEVY (2001).

Agregados provenientes de resíduos de alvenaria
Origem: são conseguidos a partir da britagem de fragmentos de materiais minerais, extraídos de materiais de demolição, ou resíduos de construção.
Impurezas: podem ou não estar contaminados com resíduos de tinta, gipsita e outras substâncias em menor ou maior teor.
Resistência à compressão: é inferior à resistência a compressão de agregados naturais; poderão, ou não, conforme sua qualidade e sua granulometria, desenvolver reação pozolânica.
Agregados provenientes de resíduos de concreto
Origem: são conseguidos a partir da britagem de fragmentos de materiais minerais extraídos da demolição de estruturas de concreto fresco, endurecido ou rejeitado.
Impurezas: poderão estar contaminados por agentes agressivos como cloretos e ou sulfatos, dependendo somente da origem dos fragmentos. Podem ou não estar contaminados com resíduos de tinta.
Resistência à compressão: em geral, sua resistência à compressão dependerá da resistência à compressão dos agregados naturais utilizados na produção do concreto original.
Agregados provenientes de resíduos compostos
Origem: são conseguidos a partir da britagem de fragmentos de materiais minerais extraídos de demolição de obras convencionais, de estruturas de concreto e de vedações de alvenaria revestidas ou aparentes.
Impurezas: poderão estar contaminados por agentes agressivos, como cloretos e ou sulfatos, dependendo somente da origem dos fragmentos. Podem ou não estar contaminados também com resíduos de tinta.
Resistência à compressão: em geral sua resistência à compressão dependerá da resistência à compressão dos agregados naturais utilizados na produção do concreto original.

2.7.1 Processo de produção de agregados reciclados e sua granulometria

As características do agregado reciclado podem variar de acordo com método de produção que foi gerado. Quanto melhor for o processo produtivo, melhor será também a qualidade do agregado. Um dos principais resultados esperados com a reciclagem é a geração de um material mais homogêneo e a produção do maior número de materiais diferentes (FERREIRA, 2014).

Atualmente existem diversos processos de produção de agregados reciclados, o mais comum consiste em utilizar um britador. Na primeira etapa é feito o transporte do material a ser britado, normalmente por pá carregadeira ou retroescavadeira, até um alimentador vibratório. Na entrada desse britador, uma grelha retira os materiais indesejáveis e que, por sua vez, são removidos por um transportador de correia. Esse processo inicial evita o desgaste desnecessário do britador (MAPRE, 2014).

Buttler (2003) recomenda que a quantidade mínima de partículas menores que 0,3 mm deve estar entre 12% a 15%, em volume, incluindo o cimento. Essa limitação é o que proporciona boa trabalhabilidade, facilidade no adensamento e coesão. No entanto, porcentagens menores ou maiores aumentarão a porosidade, absorção de água, permeabilidade e diminuirão a estabilidade do sólido, podendo ainda afetar a resistência mecânica à compressão.

Soltsos, Tang e Milliard (2011) mostram que os agregados reciclados miúdos têm uma influência ainda maior na absorção de água de peças pré-moldadas, apresentando uma absorção maior que dos agregados reciclados graúdos, devido a maior superfície específica.

2.8 CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS

O concreto é considerado o material mais nobre encontrado em RCC, principalmente pela sua composição conter elevado teor de material pétreo e pelo fato de poder ser então melhor reutilizado para produção de novos concretos (HENDRIKS, 2001).

Desta forma, essa reciclagem pode representar uma forma de converter um resíduo em uma matéria-prima, tendo um potencial grande de redução de resíduos dispostos em aterros, ao mesmo tempo em que se preservam as fontes de material virgem, sem problemas ambientais (MARINKOVIÄ et al., 2012).

Para obtenção de um bom concreto, é necessária uma dosagem ideal, um processo pelo qual se obtém uma ótima proporção entre o cimento, agregados, água e aditivos, para atender a determinadas especificações. O trabalho de dosagem é o primeiro passo para se produzirem concretos dentro de condições controladas, isso faz necessários também para os agregados reciclados (FONSECA, 2006).

Os agregados reciclados têm sido utilizados na fabricação de concretos com baixa resistência mecânica, ou aplicados como aterros e sub-bases para estradas. Embora a utilização desses agregados seja permitida em alguns países na fabricação de concretos estruturais, a quantidade utilizada permanece indefinida a qual utilizar de agregados reciclados (MARINKOVIÄ., 2012).

Alguns problemas quanto à utilização de brita reciclada em concreto são observadas por Hendriks (2001). A resistência do concreto quando todo agregado

graúdo é trocado por agregado reciclado é geralmente de 60% a 80% da resistência do concreto feito com agregado natural. Sua desvantagem é a menor densidade e sua maior porosidade. Com isto, mais água é necessária para atingir total saturação do agregado.

A composição granulométrica dos agregados reciclados tem uma grande influência sobre a trabalhabilidade dos concretos em seu estado fresco. Esses agregados tem uma tendência a formar no concreto uma composição mais grossa, do que os agregados naturais, o que acaba sendo um fator importante para dosar a quantidade certa das misturas recicladas (BATISTA, 2009).

A utilização de agregado reciclado no concreto, em proporções devidamente controladas, não afeta a resistência nem a durabilidade do concreto com relação à corrosão das armaduras. Inclusive se consegue observar melhoras em algumas propriedades. É possível afirmar, também, que há fortes indícios da economia gerada a partir da utilização do agregado reciclado (KATZ, 2002).

O uso de agregados reciclados em concreto promove uma promissora solução para o problema de gerenciamento de resíduos, além de uma diminuição com custos e impactos ambientais de matéria-prima de agregados. Porém, as propriedades do concreto com agregado reciclado são afetadas e, por isso, devem ser analisadas (RAO; JHAB; MISRAA, 2007).

2.8.1 Avaliação estrutural do concreto Reciclado

A partir do ano de 1945, começaram os estudos sobre a utilização de resíduos de construção e demolição para obtenção de agregados que permitissem a produção de novos concretos, porém só foi no final da década de 1980 que começaram as pesquisas para este uso de RCD em concretos para elementos estruturais (REIS, 2009).

Em 1997, normas europeias e normas japonesas já permitiam a utilização de concretos produzidos com parte dos agregados graúdos naturais substituídos por reciclados para construção de elementos estruturais (BARRA; VASQUEZ, 1997). Porém, na literatura, o assunto ainda era pouco abordado, assim como nas normas brasileiras.

Ao passar do tempo no Brasil, Butler (2003) afirmou que na utilização de agregados de RCD para concretos estruturais deve-se dar atenção especial às propriedades de deformabilidade, pois a retração por secagem do concreto reciclado pode chegar a 60% maior que o valor para concreto convencional, devido à alta porosidade do material.

Aragão (2007) analisou o uso estrutural de concreto reciclado de construção e demolição em lajes pré-moldadas. Os teores de substituição de agregado graúdo e miúdo foram de 50% e 100%. Os corpos-de-prova com 50% de substituição apresentaram redução de 15% na resistência à compressão, enquanto os concretos com 100% de substituição mostraram uma diminuição de 21% em comparação ao concreto convencional.

Já no Japão, Eguchi et al. (2007) estudou a aplicação de agregados reciclados de concreto na produção de concretos para fins estruturais. Segundo o autor, o ministério de construção do Japão lançou, em 1996, estratégias para o uso dos agregados graúdos de resíduos de concreto para produção de concreto estrutural, porém estas estratégias não foram realmente aplicadas a estruturas devido ao elevado custo de produção. O autor propôs um método mais simples para o processo de obtenção e beneficiamento do agregado reciclado, e realizaram sua aplicação no concreto em conjunto com agregado natural para garantir o desempenho estrutural desejado.

Li (2009) estudou na China, a flexão em vigas com agregado graúdo reciclado, e verificou que o teor de substituição não influencia na capacidade de suporte das vigas, porém com o aumento do teor de agregado graúdo reciclado ocorre um aumento na deformação da viga, chegando a valores de 10% a 24% de deformação em casos com 100% de substituição.

Ana (2011) realizou uma revisão da literatura sobre estudos da utilização de concreto reciclado de resíduos de construção e demolição em elementos estruturais na Engenharia Civil. Segundo os mesmos, já é possível a utilização de concreto reciclado em elementos estruturais em bases de pavimentos, em estruturas residenciais até 20 MPa e na produção de pré-moldados de concreto, e concluem que as pesquisas mostram viabilidade técnica para o emprego de agregados reciclados tanto graúdos como miúdos em concretos estruturais de média resistência.

Muitos dos países que utilizam agregados reciclados na construção civil, aos quais desenvolveram normas, propostas ou especificações, visando uma

utilização mais correta e segura do material no Brasil a NBR 15116: que diz respeito a agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil que são utilizados em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. A ABNT Estabelece requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos na construção, ao qual pode ser usado agregados graúdos e miúdo total ou parcial. No Brasil embora a norma não recomendar o uso de agregados recicláveis em fabricação de concretos estruturais a mesma não o proíbe, desde que acha estudos e comprovações empíricas de seu uso!

Já na Suíça a SIA 162/4 (1994) e OT 70085 (2006) defini porcentagem de incorporação máxima em função do tipo de agregado e concreto a ser produzido, que asseguram que o concreto reciclado apresente características equivalentes as de um concreto convencional, assegurando que não sejam necessárias mudanças no dimensionamento das estruturas, tal órgão permite o uso estrutural, como concreto armado.

2.8.2 Trabalhabilidade e relação água/cimento

Para a confecção de concretos existe vários conceitos relativos a serem abordados um deles é o de trabalhabilidade, a qual não se refere a uma propriedade intrínseca do concreto, mas, no entanto, está diretamente ligada à aplicação do mesmo (MEHTA E MONTEIRO 1994).

A definição de trabalhabilidade pode ser expressa como sendo, “a maior ou menor facilidade com que o concreto é transportado, colocado, adensado e acabado e a maior ou menor facilidade com que se desagrega ou segrega durante essas operações é designada pelo termo genérico de trabalhabilidade” (COUTINHO, 1997).

Para Coutinho (1997), há várias propriedades físicas que interferem na trabalhabilidade dos concretos. Elas podem ser, o ângulo de atrito, a coesão e a viscosidade, a massa volumétrica, a segregação e a exsudação. Onde cada uma dessas propriedades exerce uma influência diferente na trabalhabilidade dos concretos.

O concreto com agregado reciclado, a trabalhabilidade é bastante afetada pela granulometria e pela forma e textura dos grãos. Já o consumo de água está diretamente ligado à absorção/porosidade do agregado. Por essa razão, a quantidade

de água para uma dada consistência dependerá das características do agregado (FONSECA, 2006).

Os concretos reciclados tendem a apresentar menor trabalhabilidade do que concretos feitos com agregados naturais de mesmo traço, requerendo maior quantidade de água na mistura para que se possa obter a mesma trabalhabilidade (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Quanto menor e mais poroso for o agregado reciclado e, quanto maior a fluidez da pasta, maior será a quantidade de pasta e/ou água absorvida. Em contrapartida, se o agregado reciclado for pré - umedecido em água, ocorrerá o maior percentual de absorção desta água pelo agregado antes da mistura no concreto e a probabilidade de o agregado absorver água da pasta é menor. Nesse caso é possível que ocorra o fenômeno inverso, ou seja, o agregado pode devolver parte da água absorvida para a mistura (BARRA, 1996).

2.9 PROPRIEDADES DO CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS

2.9.1 Resistência

A resistência é considerada, geralmente, a propriedade fundamental do concreto, pois esta dá a indicação geral da qualidade do concreto por estar diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento endurecida. Para os casos gerais, à medida que aumentam as resistências mecânicas melhoram-se as demais propriedades, daí a importância de se controlar a resistência à compressão, pois estarão sendo avaliadas, indiretamente, as demais propriedades do concreto endurecido (NEVILLE, 1997).

Com a utilização de RC notamos, uma diminuição da resistência dos concretos reciclados a qual pode estar ligada diretamente à altas taxas de absorção de água dos agregados. Limbachiya (2000) e Levy (2001), noticiam que o decréscimo da resistência nos concretos com agregados reciclados se dá, principalmente, devido à alteração da relação entre água e cimento A/C. Por ser um agregado mais poroso, certamente precisará de mais água para atingir a mesma trabalhabilidade dos concretos convencionais.

Para Mehta e Monteiro (1994), é observada que a resistência do concreto cresce com o aumento do módulo de finura do agregado, com aumento da resistência do agregado, e com o aumento da superfície de contato agregado/pasta (para uma mesma granulometria).

Hansen (1992) afirma que, na aplicação dos concretos reciclados, a sua resistência varia entre 60% e 80% em relação ao concreto com agregados naturais. Segundo o ele, em várias pesquisas desenvolvidas, foi encontrado valores de resistência à compressão de concretos com agregados graúdos reciclados, variando entre 5 a 20% mais baixos que os valores de resistência dos concretos de referência naturais.

Fonseca (2006) ressalta que é importante que, as operações de ensaios propriamente ditam pode alterar os resultados a serem obtidos, o que explica a necessidade de se normalizarem os métodos de ensaio (moldagem, cura, capeamento, velocidade de aplicação da carga, etc.).

2.9.2 Porosidade

A absorção de água em agregados reciclados varia de 3 a 12%, e o valor vai depender do tipo de concreto usado para produção do agregado (RAO, JHAB; MISRAA, 2007).

Nota-se que este valor é bem maior que o determinado para agregados naturais, onde a absorção é em torno 0,5-1% (RAO, JHAB; MISRAA, 2007).

A alta porosidade dos agregados reciclados é a responsável pela alta absorção comparada aos agregados naturais. Essa porosidade elevada pode ser atribuída ao resíduo de argamassa aderida ao agregado original. Essa argamassa aderida varia de uma porcentagem de 25 a 65% do peso do agregado (JUAN; GUTIERREZ, 2009).

2.10 MÉTODOS PARA MELHORAR O USO DOS AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETOS

Geralmente concretos com agregados reciclados possuem bons desempenhos desde que atendam os parâmetros estipulados citados acima (LEITE, 2001).

A maioria das pesquisas tratam de sua resistência à compressão. Porém, para que um bom resultado seja alcançado, antes da concretagem é necessário que o agregado reciclado passe por um tratamento, que na maioria das vezes é a lavagem para diminuir a porcentagem de finos nas amostras, ou até mesmo um empacotamento de partículas (HERMANN, 2016).

Chen (2003), em sua pesquisa, sobre a confecção de concretos, utilizando agregados graúdos reciclados, lavados e não lavados. Alcançou resultados que mostraram que concretos reciclados obtidos a partir dos agregados graúdos lavados, tiveram valores em torno de 90% da resistência a compressão e flexão de concretos com referência, já para concretos de agregados reciclados não lavados, os valores não atingiram mais que 75%.

Já no procedimento utilizado por Leite (2001) que tinha como base a pré-molhagem dos agregados um pouco antes da concretagem, possibilitou uma melhora na trabalhabilidade e conseqüentemente no valor do abatimento.

Um fator importante para o melhoramento do uso dos RC na confecção de concretos é o fator de empacotamento. Pois uma variável importante e determinante no desempenho de concretos é a distribuição granulométrica dos agregados miúdos e graúdos, tanto no que se referem as proporções adequadas de tamanhos, mas também no que se refere à morfologia e textura das partículas (SILVA, 2006).

O empacotamento de partículas explicado por OLIVEIRA (2000), pode ser definido como sendo o problema da correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente.

Assim sendo, um material com densidade de empacotamento teórica máxima possuiria ausência de vazios. Esta condição poderia ser alcançada, porém devido à irregularidade no formato das partículas e na distribuição granulométrica, torna-se muito difícil reproduzir o máximo empacotamento teórico para misturas

granulares como o concreto. Mesmo assim, é possível aumentar a densidade de empacotamento do concreto para melhorar sua qualidade (SILVA, 2006).

A densidade de empacotamento é dada pela porcentagem de sólidos presentes em uma unidade de volume. Já em concretos, a seleção e combinação dos agregados apresenta influência dominante na qualidade do mesmo. Isto acontece porque os agregados representam mais da metade do volume total do concreto (DE LARRARD, 2009).

Dentre os benefícios do empacotamento dos agregados em concretos pode-se citar: a elevação da resistência mecânica, o aumento do módulo de elasticidade, redução da exsudação, redução da fluência, redução da retração e maior durabilidade (HERMANN, 2016).

2.11 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A transformação no setor da construção civil exige mudanças em termos de regulamentação, mercado, precificação de produtos e insumos e mensuração de lucros e perdas. Mudanças essas que se tornarão realidade na medida em que passarmos a encarar os desafios da cadeia produtiva da construção não mais sob uma lógica de custos, mas de oportunidades (SIMÃO, 2014).

Para isto então as práticas sustentáveis têm o objetivo de alterar o paradigma da construção civil, e demonstrar as vantagens que podem trazer ao se aplicar os seus métodos e procedimentos.

O conceito de sustentabilidade é derivado do debate sobre o desenvolvimento sustentável, cujo marco inicial é a primeira Conferência Internacional das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano (United Nations Conference on the Human Environment), realizada no ano de 1972 na cidade de Estocolmo, Suécia. Dada a evolução do termo e conceitos a respeito de Desenvolvimento Sustentável, o termo sustentabilidade aplicado à construção civil ganhou ênfase, primeiramente na década de 1980, com o fundador do Worldwatch Institute, conceito este que se tornou um padrão mundial.

Uma comunidade é sustentável quando satisfaz plenamente suas necessidades de forma a preservar as condições para que as gerações futuras também o façam. Da mesma forma, as atividades processadas por agrupamentos

humanos não podem interferir prejudicialmente nos ciclos de renovação da natureza e nem destruir esses recursos de forma a privar as gerações futuras de sua assistência (CIB, 2002).

3 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho foi uma pesquisa explicativa, quantitativa e qualitativa, onde foi realizado uma a pesquisa bibliográfica, a partir de fontes já existentes sobre o assunto pesquisado.

De acordo com Gil (1994), os objetivos da pesquisa a classificam uma pesquisa explicativa, pois esse é o tipo de pesquisa que aprofunda o conhecimento da realidade por utilizar métodos experimentais nos procedimentos técnicos.

A partir disso, o objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade técnica da utilização dos resíduos provenientes de concreto na construção civil, em especial os resíduos provenientes da construção para confecção do concreto a ser utilizado em vigas de concreto armado, tornando um produto viável para a sua utilização e benéfico para a sociedade e o meio acadêmico, deste modo, pode-se afirmar que o estudo se trata de uma pesquisa explicativa.

A abordagem quantitativa é caracterizada pelo emprego da quantificação nas modalidades de coleta de informações e no tratamento de técnicas estatísticas. Já a abordagem qualitativa difere-se da quantitativa, à medida que não emprega um instrumento estatístico como base na análise de um problema, não pretendendo medir ou numerar categoria. (DALFOVO et al. 2008, apud RICHARDSON, 1989).

Assim, neste trabalho, o pesquisador utilizou métodos e técnicas de análise, caracterizados como caráter explicativo, já que a pesquisa serviu para analisar os resultados dos experimentos.

No decorrer deste trabalho foram realizados ensaios e tratamento de agregados reciclados britados de concretos antigos provenientes de obras passadas, para identificação das características dos mesmos, bem como a resistência do concreto produzido com esses agregados.

Para a fase experimental desse trabalho, objetiva-se levantar dados e apresentar vantagens do uso de Resíduos da Construção (RC). Através dessas informações o fluxograma representa as etapas metodológicas que serão realizados.

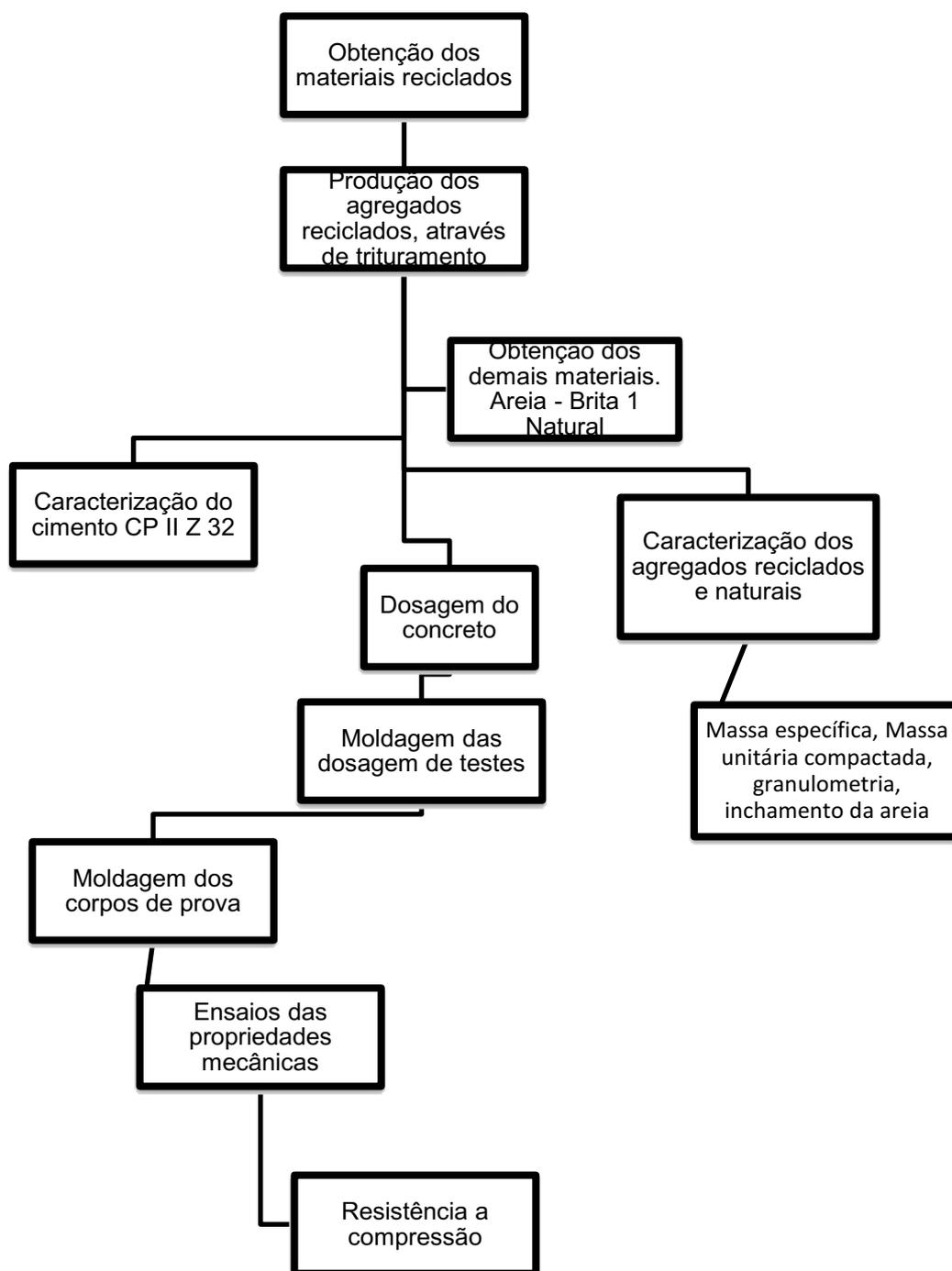


Figura 2 - Cronograma de atividades (Autoria Própria)

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a pesquisa foram: areia média seca, brita 1, cimento Portland CII – Z – 32, agregados reciclados a partir de concretos e água. A caracterização dos materiais está descrita nos próximos itens. Visando conhecer as

características dos materiais utilizados para a pesquisa, é de suma importância fazer uma caracterização dos mesmos, ou seja, fazer análises geralmente amparadas por normas para empregar os materiais de forma correta. Sendo assim, cada material passou pelos procedimentos necessários para ter suas características conhecidas.

3.1.1 Cimento

Para o estudo, optou-se por utilizar o CP-II-Z-32, que contém adição de material pozolânico que varia de 6% a 14% em massa, o que confere ao cimento menor permeabilidade. Este cimento também pode conter adição de material carbonático (fíler) no limite máximo de 10% em massa.

Optou-se por utilizar esse cimento, pois a resistência do mesmo não é tão elevada, não interferindo assim nos resultados, pois o enfoque da pesquisa são os agregados. Os dados do cimento foram fornecidos pelo fabricante e estão no Anexo A.

3.1.2 Agregado Graúdo Reciclado

Visando a produção de concretos que utilizam o agregado graúdo na substituição de agregados naturais, foram coletadas sobras de concreto provenientes da demolição de pilares, vigas e contrapisos dos blocos O e P da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco. Para tornar possível a utilização do material, o mesmo teve que ser triturado de forma homogênea no triturador do tipo mandíbula, disponível no canteiro de obras da universidade.

A moagem do concreto a ser reciclado, foi feita através do britador da UTFPR – Pato Branco, como mostra a Figura 3. O intuito foi alcançar uma granulometria similar a brita 1, a mais usualmente utilizada em obras cotidianas, com uma dimensão mínima de 9,5mm e máxima de 19,00mm conforme NBR 7211/2009.



Figura 3 - Britador tipo Mandíbula - Autoria Própria 2021

Com a composição granulométrica pode-se obter indícios do potencial trabalhabilidade do agregado a partir de concreto reciclado, e ter parâmetros comparativos com agregados já conhecidos.

O primeiro passo para a obtenção dos agregados foi a fragmentação através do triturador, onde as peças de concreto foram colocadas gradualmente para que conseguir uma maior eficiência durante o processo a Figura 4, mostra esse processo.



Figura 4 - Adição dos Materiais ao Triturador - Autoria Própria 2021

Após o tritramento os materiais foram passados nas peneiras de 19mm Figura 5 e na peneira de 9,5mm Figura 6, e o material retido entre as duas peneiras foi separado para análise.



Figura 5 - Peneira 19mm - Autoria Própria 2021



Figura 6 - Peneira 9,5mm - Autoria Própria 2021

3.1.3 Agregados Naturais

Para a composição dos materiais utilizados no concreto foi utilizada a areia natural média sendo realizado o ensaio de granulometria, conforme a NBR NM 248/2003 e massa específica, segundo a NBR 16916/2021.

É necessário determinar a composição granulométrica do agregado graúdo, para assim obter as porcentagens máximas e mínimas passantes nas peneiras.

Com a composição granulométrica pode-se obter indícios da potencial trabalhabilidade do agregado a partir de concreto reciclado, e ter parâmetros comparativos com agregados já conhecidos.

Este ensaio é normalizado pela NBR NM 248 (ABNT, 2003), sendo verificados os valores de massa retida, retida e acumulada para todas as amostras.

Para se determinar as características e propriedades do material foram necessários os ensaios: de determinação da massa específica dos agregados e absorção de água.

3.1.3.1 Granulometria Agregado Miúdo

Para a realização deste ensaio, foi seguido a normativa ABNT NBR NM 248, onde para o procedimento foram separadas duas amostras A e B, tais amostras possuem a mesma quantidade de material, coletadas na mesma localidade e posta em estufa para a secagem. Os procedimentos adotados são relatados a seguir.

Primeiramente foram coletadas 300 gramas de agregado miúdo para cada amostra, como mostra a Figura 7.



Figura 7 - Separação das Amostras de Agregado Miúdo - Autoria Própria 2021

Foram posicionadas as peneiras conforme a norma reguladora do ensaio, sendo a mesma posicionada da maior espessura até o fundo. O posicionamento das peneiras é mostrado na Figura 8.



Figura 8 - Posicionamento das Peneiras - Autoria Própria 2021

Em seguida o ensaio é realizado nas amostras separadamente, o material então é colocado na primeira peneira e vibrado manualmente por um período mínimo

de três minutos. O restante do processo é constituído por pesagem das peneiras com o material retido em cada uma delas.

3.1.3.2 Ensaio de granulometria do Agregado Graúdo

O ensaio de para determinação da granulometria do agregado graúdo é semelhante ao do agregado miúdo, onde o mesmo também é regido pela ABNT NBR NM 248/2003, onde há uma variação na quantidade de material a ser separado e as peneiras utilizadas nesse processo. Para a realização do ensaio foi separado duas amostras do agregado, denominadas amostra A e amostra B, tais amostras possuem a mesma quantidade de material, coletadas do mesmo local. O ensaio foi aplicado tanto para a brita natural quanto para a brita de origem reciclável.

Primeiramente foram coletadas 5000 gramas de agregado graúdo para cada amostra, como mostrado na Figura 10.



Figura 9 - Amostras A e B de Agregado Graúdo - Autoria Própria 2021

Foram posicionadas as peneiras conforme a norma reguladora do ensaio, sendo a mesma posicionada da maior espessura até o fundo. Tal posicionamento é mostrado abaixo pela Figura 11.



Figura 10 - Posicionamento das Peneiras - Autoria Própria 2021

3.1.4 Ensaio de Massa Específica dos Agregados

3.1.4.1 Massa Específica Agregado Miúdo

Para a determinação da massa específica do agregado miúdo utilizou – se o método do vaso de Chapman.

Para a realização desse ensaio foi separada uma quantidade de amostra de 500 gramas de agregado miúdo já devidamente seco em estufa.

Em seguida de modo a separar os grãos e materiais indesejados como os de origem orgânica da amostra o material foi passado na peneira 4,75 mm.

A prosseguir o ensaio, foi adicionada 200ml de água ao vaso até sua indicação presente, em seguida com a ajuda de um funil e concha, foi colocada a amostra no vaso de Chapman, tomando cuidado para que os grãos do agregado não ficassem presos a parede do vaso, tal resultado é mostrado na Figura 14.



Figura 11 - Vaso de Chapman com Adição dos materiais - Autoria Própria 2021

Posteriormente a esse processo o vaso foi agitado para o assentamento do agregado, evitando os espaços com ar. Cerca de cinco minutos depois a espuma que ficou no vaso já havia se dissolvido e as bolas de ar presente na amostra já haviam sido liberadas, então foi feita a leitura do nível de água, o qual significa o volume de água deslocado pelo agregado (L), onde a leitura correspondente foi de 391 ml.

Com os dados coletados pelo experimento pode-se calcular a massa específica do material através da fórmula apresentada.

Equação 5 - Massa específica da areia

$$\gamma = \frac{500}{L - 200}$$

y = Massa específica

L = Leitura no frasco

500 = Quantidade da amostra seca

200 = Quantidade de ml de água adicionada

Com a leitura em mãos determinou – se o valor da massa específica como sendo de 2,62 g/cm³.

O frasco Chapman torna visível o valor real da massa específica da areia. Este tipo de ensaio é feito para determinar o valor real do agregado, pois com a utilização de água no frasco de Chapman faz com que os espaços de ar existentes

entre as partículas de areia sejam ocupados totalmente, podendo assim ter maior precisão com relação à massa específica do agregado.

3.1.4.2 Massa Específica dos Agregados Graúdos

A determinação de massa específica dos agregados graúdos a qual é regida pela ABNT NBR NM 53 2009, foi realizada em duas frentes, uma quanto ao agregado natural e outra frente com o agregado de origem reciclável, assim foi possível determinar as especificações de cada um deles.

A massa específica do agregado graúdo assim como a do agregado miúdo é de suma importância para elaborar o traço do concreto, visto que essas massas podem influenciar na resistência e economia dos materiais. A massa específica do agregado graúdo nos dá uma ideia da quantidade de água que deverá ser adicionada a mistura para se obter a resistência do concreto pretendida.

O processo se inicia com a separação da quantidade de amostra, onde as mesmas foram passadas por um procedimento de lavagem na peneira 4,75 mm como mostra a Figura 15, com o objetivo de fazer toda a limpeza de qualquer material pulverulento presente nas amostras.



Figura 12 - Lavagem dos Agregados Graúdo - Autoria Própria 2021



Figura 13 - Material Natural Lavado - Autoria Própria 2021



Figura 14 - Material Reciclável Lavado - Autoria Própria 2021

O passo seguinte foi a colocação desses materiais em estufa com temperatura constante de 105 a 110 °C. Os materiais ficam alocados em estufa por um período 2 horas, após decorrido esse período o mesmo foi retirado e conferido seu peso, em seguida voltam a estufa onde permaneceram por mais trinta minutos e foram retirados para uma nova pesagem onde os valores se mantiveram constantes.

O material após sair da estufa deve ficar um período de tempo para seu resfriamento, após decorrido esse período os materiais estão prontos para serem submersos.

As amostras são submersas em água por um período de 24 horas a qual os mesmos permanecem cobertos como mostra as Figuras de 18 a 20.



Figura 15 - Brita Natural Submersa - Aatoria Própria 2021



Figura 16 - Brita Reciclável Submersa - Aatoria Própria 2021



Figura 17 - Material Coberto e Deixado por 24 horas - Aatoria Própria 2021

Após decorrido esse período a água presente nos recipientes foram escorridas e em seguida foi realizada a secagem superficial do material com um pano como mostra a Figura 21.



Figura 18 - Secagem Superficial dos Agregados - Autoria Própria 2021

Para a continuação do ensaio, foi retirado o peso do cesto seco e o peso imerso em água, a Figura 22 mostra o equipamento utilizado para imergir o cesto e realizarmos o ensaio.



Figura 19 - Equipamento Utilizado para o Ensaio - Autoria Própria 2021

Em seguida foi adicionado ao cesto o material saturado com superfície seca Figura 23, e imerso em água para retirada do peso do conjunto Figura 24.



Figura 20 - Cesto com material de superfície seca - Autoria Própria 2021



Figura 21 - Cesto Submerso com Material - Autoria Própria 2021

Em seguida o material foi levado mais uma vez a estufa por três horas, onde após decorrer esse período o mesmo foi retirado pesado e voltado novamente a estufa por mais trinta minutos, onde após decorrência de tempo foi constatada a constância de peso.

Após a realização dos ensaios em laboratório foram efetuados alguns cálculos para o preenchimento da tabela, obtendo assim os valores de massa específica dos agregados graúdos, natural e reciclável. Tais tabelas são indicadas abaixo Tabela 5 agregado natural e Tabela 6 agregado reciclável.

Massa específica Brita Natural			
Peso (Agregado + Cesto) Imeroso		g	1194,85
Peso do cesto imerso		g	338,1
Peso do agregado Imeroso		g	856,75
Peso do recipiente + Agregado SSS (Saturado superfície seca)		g	1228,76
Peso do recipiente		g	16,77
Peso do Agregado SSS		g	1304,91
Peso do agregado seco + Recipiente		g	1321,68
Peso do Agregado seco		g	1228,76
Volume do agregado (como um todo)		cm ³	448,16
Volume da parte impermeável do agregado		cm ³	372,01
Massa específica Aparente do agregado Seco		g/cm ³	2,741789
Massa específica Real		g/cm ³	3,303029
Massa específica efetiva		g/cm ³	2,741
Absorção		%	0,6

Tabela 4 - Massa Específica Agregado Natural - Autoria Própria 2021

Massa específica Brita Reciclável			
Peso (Agregado + Cesto) Imeroso		g	1085,4
Peso do cesto imerso		g	338,1
Peso do agregado Imeroso		g	747,3
Peso do recipiente + Agregado SSS (Saturado superfície seca)		g	1241,78
Peso do recipiente		g	17,38
Peso do Agregado SSS		g	1504
Peso do agregado seco + Recipiente		g	1321,68
Peso do Agregado seco		g	1304,3
Volume do agregado (como um todo)		cm ³	756,7
Volume da parte impermeável do agregado		cm ³	557
Massa específica Aparente do agregado Seco		g/cm ³	1,723669
Massa específica Real		g/cm ³	2,341652
Massa específica efetiva		g/cm ³	2,03266
Absorção		%	1,53

Tabela 5 - Massa Específica Agregado Reciclável - Autoria Própria 2021

3.1.4.3 Ensaio de Massa Unitária Compactada dos Agregados Graúdos

O ensaio de massa específica unitária compactada do agregado graúdo é determinado pela norma NBR NM 45 /2006, a qual descreve os procedimentos necessários para a realização do mesmo.

Os procedimentos descritos aqui foram realizados para os agregados graúdos, tanto de origem natural quanto para o de origem reciclável.

Primeiramente os materiais utilizados para estudo é levado a estufa de 105 °C a 110 °C, durante um período mínimo de 24 horas, objetivando a secagem do material.

Posterior a secagem do material é então separado um recipiente cuja seus lados sejam simétricos, como mostra a figura 25, o recipiente contém as medidas 31,5 x 31,5 x 20 cm, possuindo um volume de 0,01985 m³.



Figura 22 - Recipiente Utilizado para Realizar o Ensaio - Autoria Própria 2021

Com o material previamente seco, é então colocado em um balde para realizar o lançamento do material a uma altura de 20 cm, o lançamento é feito em 3

etapas sendo que cada etapa corresponde a $\frac{1}{3}$ do volume total, como mostrado na Figura 26.



Figura 23 - Etapa do Lançamento do Material - Autoria Própria 2021

A cada lançamento é realizada uma compactação com haste metálica sendo disferido 25 golpes com a mesma, como mostra a figura 27.



Figura 24 - Compactação com Haste Metálica - Autoria Própria 2021

Após proceder com o lançamento e os golpes, o material é nivelado com a superfície do recipiente.

A última etapa do procedimento é a pesagem do material. O procedimento é realizado três vezes, onde os valores de cada pesagem são anotados. Após a realização dessas etapas foi gerado uma tabela para o agregado de origem natural e outra para o de origem reciclável.

Para a determinação da massa unitária compactada foi utilizada a Equação 6 expressa a baixo.

Equação 6 - Equação da Massa Unitária Compactada

$$\mu = \frac{mra - mr}{Vr}$$

μ = massa unitária compactada

mra = massa do recipiente mais amostra

mr = massa do recipiente

Vr = volume do recipiente

AGREGADO DE ORIGEM NATURAL				
DETERMINAÇÃO	VOL. DO RECIPIENTE (dm ³)	MASSA DO RECIPIENTE + AMOSTRA (kg)	MASSA DO RECIPIENTE (kg)	MASSA UNITÁRIA (kg/dm ³)
1 ^a	19,85	37,55	3,15	1,73
2 ^a	19,85	37,60	3,15	1,74
3 ^a	19,85	37,53	3,15	1,73
Média	19,85	37,56	3,15	1,733

Tabela 6 - Massa Unitária do Agregado Natural - Autoria Própria 2021

AGREGADO DE ORIGEM RECICLAVÉL				
DETERMINAÇÃO	VOL. DO RECIPIENTE (dm ³)	MASSA DO RECIPIENTE + AMOSTRA (kg)	MASSA DO RECIPIENTE (kg)	MASSA UNITÁRIA (kg/dm ³)
1 ^a	19,85	24,68	4,05	1,039
2 ^a	19,85	24,63	4,05	1,035
3 ^a	19,85	24,67	4,05	1,038
Média	19,85	24,66	4,05	1,038

Tabela 7 - Massa Unitária do Agregado Reciclável - Autoria Própria 2021

3.1.4.4 Ensaio de Inchamento do Agregado Miúdo

Os agregados miúdos têm grande capacidade de retenção de água, portanto, na preparação de concretos em que o agregado é proporcionado em volume, é importante considerar o inchamento devido à absorção de água do agregado miúdo

conforme a granulometria, podendo variar de 20 a 40%. O inchamento varia com a umidade e, conhecendo-se a curva de inchamento (inchamento em função da umidade), basta que se determine a umidade para se obter essa característica. Em linhas gerais a tensão superficial da película de água aumenta a bolha, os grãos de areia se separam. Depois de certa umidade a água toma os esforços e os grãos descem por adensamento.

O ensaio seguiu conforme a regulamentação da ABNT NBR 6467/06, para a realização do ensaio as amostras foram coletadas conforme as normas NBR 16915/2021.

Para a realização desse ensaio foi necessário primeiro secar uma quantidade de amostra por 24 horas ou até massa constante, em estufa a temperatura de $(105 + 5) ^\circ\text{C}$, assim obteve-se um material seco sem influência de umidade a qual poderia atrapalhar a realização de tal ensaio. Foi então separado 4 quilos dessa amostra quantidade especificada pela norma regulamentadora, para a realização do ensaio!

Em seguida foi determinado o volume do recipiente constatado em $1,343 \text{ dm}^3$, e determinado a massa desse mesmo recipiente 900 gramas. As Figuras 29 mostra o recipiente utilizado para o ensaio.



Figura 25 - Recipiente Cilíndrico Usado para o Ensaio - Autoria Própria 2021

Para a realização desse ensaio é necessário que o mesmo seja repetido dez vezes, onde a primeira utilizamos o material seco, e em sua sequência realizamos o mesmo com umidades diferentes como seque a de resultados Tabela 9.

Na primeira determinação utilizamos o material seco já misturado com a espátula na forma que utilizaremos como base para o agregado.



Figura 29 - Material Seco Apresentado para Ensaio - Autoria Própria 2021

Após isso o recipiente foi preenchido com o agregado, onde a altura de lançamento desse material deve respeitar uma altura mínima de 10 cm da borda do recipiente, afim de evitar que o material se compacte dentro do próprio recipiente.

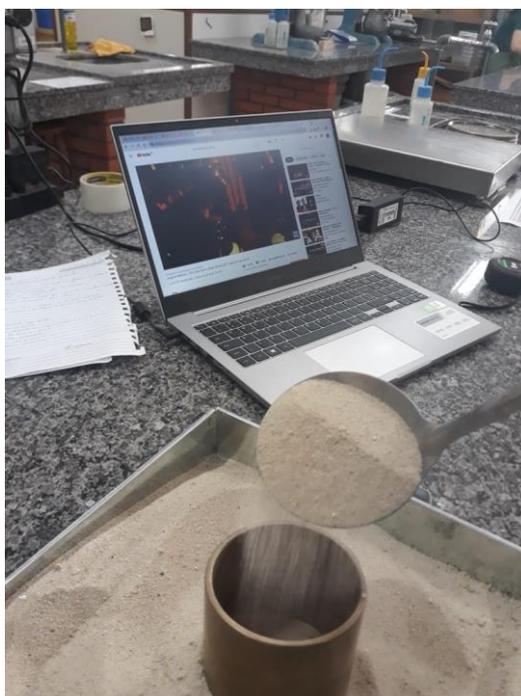


Figura 26 - Material sendo lançado ao recipiente - Autoria Própria 2021

Após o enchimento do recipiente foi utilizada a régua metálica rígida, para fazer o arrasamento do material, de modo a deixar nivelado o material com a borda.

Esse procedimento foi realizado com muita cautela para que não fosse gerado vibração no recipiente, para que o mesmo não se adense.



Figura 27 - Arrasamento do topo do recipiente - Autoria Própria 2021

Em seguida o material foi pesado em balança de precisão onde foram anotados os valores da massa do recipiente mais a amostra, na tabela. Após a pesagem o material foi retornado a forma metálica para ser reutilizado nas próximas etapas a seguir.

Sobre o material separado para o estudo foi adicionado mais 0,5% de água, onde o mesmo foi homogeneizado cuidadosamente a amostra úmida manualmente na forma metálica, evitando perdas de material.

O adcionamento da água foi feito através de proveta graduada para haver uma maior precisão e controle no adcionamento do componente.

Em seguida foi repetido o procedimento anterior, onde foi enchendo o recipiente com a concha até transbordar, despejando o agregado de uma altura de aproximadamente 10 cm. Com a régua de aço, rígida, retirar o excesso de material, por rasamento, deixar no mesmo nível das bordas superiores do recipiente e determinar a massa do recipiente mais agregados.

O ensaio foi repetido sucessivamente aplicando os mesmos procedimentos com a mesma amostra obtida, variando os teores de umidade conforme expresso na tabela de resultados.

Após a realização do ensaio foi possível o preenchimento da Tabela 9.

Determinação do Inchamento dos Agregados Miúdos ABNT NBR 6457										
Massa da Bacia (g) = 100	Vol. Do Recepente Vazio (g) = 1,343	Massa total da Amostra (g) = 4000								
Água estabilizada na ABNT (%)	0	0,50%	1,00%	2,00%	3,00%	4%	5%	7%	9%	12%
(Ma) Massa de água adicionada (g)	0	20	20	40	40	40	40	80	80	120
(Tp) Tara do recipiente Vazio (g)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
(Mra) Massa do recipiente + amostra (g)	1600	1431	1485	1432	1432	1433	1442	1424	1340	1388
(Mt) Massa da Amostra (g)	1500	1331	1385	1332	1332	1333	1342	1324	1240	1288
(Vr) Volume do recipiente (dm ³)	1,343	1,343	1,343	1,343	1,343	1,343	1,343	1,343	1,343	1,343
YH Massa Unitaria Solta em cada Ponto (kg/dm ³)	1,514	1,373	1,246	1,125	1,067	1,027	1,088	1,103	1,111	1,239
YS Massa Unitaria solta seca (Kg/dm ³)	1,514	1,514	1,514	1,514	1,514	1,514	1,514	1,514	1,514	1,514
(VH/VS)	1	1,108	1,228	1,372	1,461	1,533	1,461	1,469	1,485	1,368
	$(VH/VS) = [(ys/vh) (100+h)/100]$									

Tabela 8 - Determinação do inchamento da Areia - Autoria Própria 2021

Com os valores obtidos e expresso na presente tabela é possível gerar uma curva do inchamento para o agregado miúdo, onde a mesma é apresentada abaixo pela Figura 33 desse trabalho com sua presente denotação.

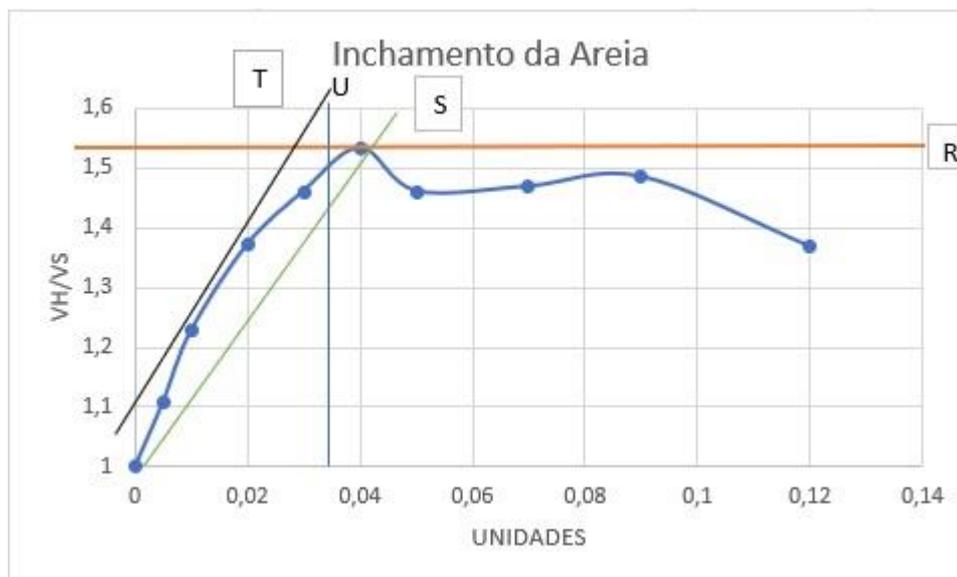


Figura 28 - Curva de inchamento da areia - Autoria Própria 2021

Conhecer a curva de inchamento dos grãos é de suma importância para a determinação do traço do concreto, uma vez que os agregados miúdos têm grande

capacidade de retenção de água, portanto, na preparação de concretos o inchamento é fundamental para a determinação do traço em volume. O inchamento varia com a umidade e, conhecendo-se a curva de inchamento (inchamento em função da umidade), basta que se determine a umidade para que se obtenha essa característica, essas umidades são determinadas com auxílio da curva de inchamento do material, a qual se determinou 3,72 % umidade crítica do agregado e 1,52 como sendo a umidade média da areia. Depois de certa umidade a água toma os esforços e os grãos descem por adensamento.

3.2 DOSAGEM DO CONCRETO

Entende-se a dosagem do concreto em cimento Portland, como os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido como traço. Essa proporção ideal pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível e sempre mais rigorosa a proporção expressa em massa seca de materiais. Deve se considerar como materiais passíveis em uso de concretos e possíveis de serem utilizados em estudo de dosagem, os vários cimentos presentes no mercado, os agregados miúdos, os agregados graúdos, a água e o teor de ar incorporado e aprisionado, os aditivos, os pigmentos e as fibras. Com relação aos agregados que podem ser utilizados para confecção de concretos, podem se distinguir entre agregados recicláveis, artificiais, industrializados e naturais.

Com a realização dos ensaios foi possível realizar uma dosagem mais exata do concreto, o método utilizado nesse trabalho foi o ABCP. Este método de dosagem foi criado na década de 80 pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) por meio de experimentos. Esse método se aplica a concretos com resistência plástica e fluida, e não é aplicável a concretos auto adensáveis e em concretos de consistência seca. A ideia é utilizar o método a fim de que se obtenha um traço-base, molde-se corpos de prova e, com os resultados dos ensaios, sejam observadas a resistência do concreto.

Tais dosagem são estudadas para suprirem os esforços mecânicos, compressão simples, modulo de deformação, tração por compressão diametral, tração na flexão e desgaste por abração.

Uma boa dosagem é a que proporciona uma adequada economia de materiais, onde garanta uma boa trabalhabilidade, resistência física e mecânica, durabilidade e custos reduzidos.

Para que se aplique o método de dosagem ABCP é necessário conhecer as características dos materiais, os ensaios realizados em laboratório dos agregados foram de extrema importância, para que seja aplicado a dosagem ABCP. Entre as características dos materiais é de suma importância que seja conhecida a massa específica e a granulometria de todos os agregados, também é fundamental que saibamos a dimensão máxima do agregado gráudo a qual com a passagem em peneira e também disponibilizado por norma, sua dimensão máxima é de 19 mm. Em relação ao cimento utilizado para a dosagem devemos conhecer o tipo que será utilizado, sua massa específica e qual sua resistência aos 28 dias!

A dosagem ABCP possui algumas condições de preparo, a qual é relacionada a um coeficiente em sua formula que é chamado de SD. Esse coeficiente está relacionado ao desvio padrão, onde o mesmo é definido teoricamente pela condição de preparo do concreto! O SD pode ser considerado em três situações:

CONDIÇÃO A: O cimento e o agregado são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados (concreto normalmente produzido por empresas de serviços de concretagem). SD = 4,0 MPA

CONDIÇÃO B: O cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados em volume. A umidade do agregado miúdo é determinada pelo menos 3 vezes ao dia. O volume do agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento estabelecida especificamente para o material utilizado. SD = 5,5 MPA

CONDIÇÃO C: O cimento é medido em massa, e os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto. SD = 7,0 MPA

3.2.1 Cálculo da dosagem do concreto

O primeiro passo para que seja aplicado o método de dosagem ABCP, é a necessidade de definirmos um F_{cj} , onde o mesmo nos resultará em uma resistência

pretendida ao decorrer de 28 dias, nesse trabalho será definido uma resistência de 25 Mpa ao final desse período decorrido. Outra coisa a ser definida é o abatimento do concreto que será utilizado, o definido para esse trabalho foi de 10 (+/- 2) cm, onde tal abatimento se comporta muito bem para peças estruturais. Também foi definido a utilizado da condição B, onde possuímos um desvio padrão SD de 5,5 MPA, para tal determinação é utilizado a Equação 7.

Equação 7 - Determinação do f_{cj} ao final dos 28 dias

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 * sd$$

$$f_{c28} = 34 \text{ mpa}$$

O seguinte passo é definir a relação água cimento AC, onde seus valores são expressos em função da resistência pretendida no final dos 28 dias e relação água cimento a mesma pode ser definida pela tabela de ABRAMS, onde está apresentada pela Figura 34.

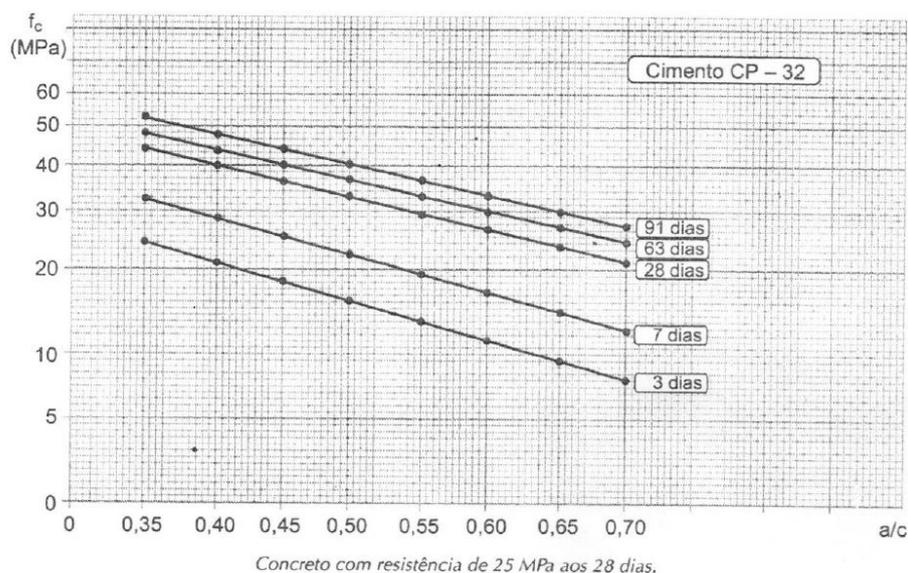


Figura 29 - Tabela de Abrams - FERREIRA 2012

Com a tabela em mãos, traçamos linhas auxiliares no encontro da relação água cimento que deverá ser utilizada para a confecção do concreto.

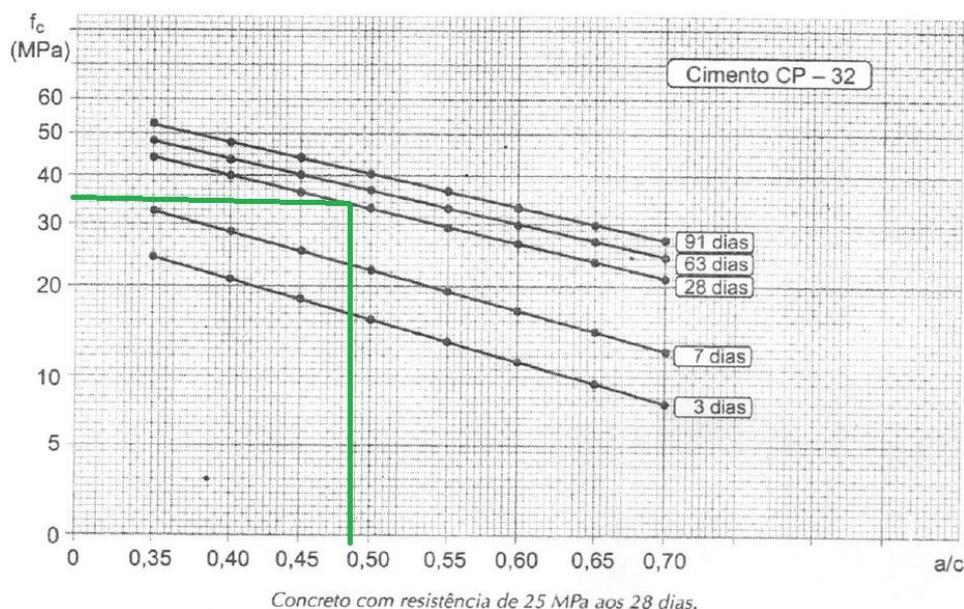


Figura 30 - Tabela com linhas auxiliares - Autoria Própria 2021

Onde foi observado uma relação água cimento (A_c) igual à 0,475.

No passo seguinte é determinado o consumo de água a ser utilizado na confecção do concreto que será moldado. Através de tabela apresentada em obra por (HELENE, 1993) podemos encontrar o consumo de água, a Figura 36 apresentada é expressa em função do diâmetro máximo do agregado graúdo e o abatimento pretendido.

Determinação aproximada do consumo de água (C_a)

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

Figura 31 - Determinação aproximada do consumo de água - HELENE 1993

Consumo de água (C_a) encontrado foi de 205 L/m^3

Com o consumo de água definido podemos calcular o consumo de cimento através da Equação 8, tal consumo corresponde a fabricação de 1 m^3 para nossa resistência pretendida ao final dos 28 dias. O consumo de cimento (C) é dado pela divisão do consumo de água (C_a) pela relação água cimento (A_c).

Equação 8 - Consumo de cimento

$$C = \frac{Ca}{Ac}$$

Após a realização do cálculo constatou que o consumo de cimento é 431,6 kg/m³.

Para determinarmos o consumo de agregado graúdo (CB) a ser utilizado na confecção do concreto é necessário conhecer o modulo de finura (MF) do nosso material, o qual definido por experimentos em laboratório foi constatado ser 2,6. Outro fator importante a ser conhecido é a massa unitária compactada do nosso agregado (MC) onde o valor encontrado através dos ensaios foi de 1,73 kg/dm³, com essas condições podemos usar a Tabela 10, encontrando assim o volume do agregado seco em m³ de concreto (VC), e determinando por fim o consumo do material.

Determinação do consumo de agregado graúdo (CB)

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

Tabela 9 - Consumo de agregado graúdo - CURTI 2016 "Adaptado"

Com o valor do volume de agregado seco encontrado podemos calcular o consumo de agregado graúdo através da Equação 9.

Equação 9 - Consumo de Agregado Graúdo

$$CB = VC * MC$$

$$CB = 1193,7 \frac{kg}{m^3}$$

Determinamos agora o consumo de agregado miúdo, o mesmo se dá pela Equação 10 onde encontramos o volume dos mesmos:

Equação 10 - Volume do agregado miúdo

$$Vm = 1 - \left(\frac{C}{\delta_{cim}} + \frac{CB}{\delta_{brita}} + \frac{CA}{\delta_a} \right)$$

Vm = Volume de agregado miúdo

C = Consumo de cimento

CB = Consumo de brita

CA = Consumo de Água

δ_{cim} = massa específica do cimento

δ_{brita} = massa específica da brita

δ_{a} = massa específica da água

Com isso escrevemos a equação 10

$$Vm = 1 - \left(\frac{431,6}{2100} + \frac{1193,7}{2700} + \frac{203}{1000} \right)$$

$$Vm = 0,207$$

Por fim para determinarmos o consumo de agregado miúdo a ser utilizado, observamos a seguinte equação 11.

Equação 11 - Consumo de agregado miúdo

$$Cm = \delta m * Vm$$

Cm = consumo de agregado miúdo

δm = massa específica do agregado miúdo

Vm = volume do agregado miúdo

Dada a equação anterior é possível obtermos o consumo de agregado miúdo a ser utilizado na dosagem onde.

$$Cm = 2650 * 0,207$$

$$Cm = 548,55 \frac{kg}{m^3}$$

Com os cálculo realizado anteriormente, observamos os seguintes consumos:

$$Ca = 203 \text{ l/m}^3$$

$$C = 431,6 \text{ kg/m}^3$$

$$Cb = 1035 \text{ kg/m}^3$$

$$Cm = 548,55 \text{ kg/m}^3$$

Após a determinação do consumo de cada material, podemos agora escrever o traço que caracteriza nossa dosagem. Onde a apresentação do traço através da Equação 12.

Equação 12 - Traço do concreto

$$\frac{C}{C} : \frac{Cb}{C} : \frac{Cm}{C} : \frac{Ca}{C}$$

$$\frac{431,6}{431,6} : \frac{1035}{431,6} : \frac{548,55}{431,6} : \frac{203}{431,6}$$

Com os devidos cálculos realizados obtemos o seguinte traço para a elaboração do concreto:

1: 2,4: 1,28: 0,47

Com a obtenção do traço, pode-se passar para a etapa seguinte, a fabricação do concreto para a montagem dos corpos de prova.

3.3 FABRICAÇÃO DO CONCRETO

Para ser produzido corretamente o concreto seguiu-se a apostila tecnologia do concreto, do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná de 2004, o qual relata em si como operar para que a produção do composto ocorra de forma correta.

De início para que não haja desperdício de material foi calculado uma quantidade necessária para a fabricação de $0,0126\text{m}^3$, quantidade essa necessária para a moldagem de oito corpos de prova com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento. Para a elaboração dessa quantidade de concreto foi estipulado os seguintes valores, 5,43 quilos de cimento, 13,05 quilos de brita, 7 quilos de areia, 2,55 litros de água.

Após determinar a quantidade de material necessário para a fabricação dos corpos de prova, foi separado os materiais em baldes, e utilizado uma betoneira de 400 litros para a produção do concreto, como mostra a Figura 35.



Figura 32 - Betoneira utilizada na fabricação do concreto - Autoria Própria 2021

A primeira etapa para a homogeneização do concreto se dá pela a imprimação da betoneira a ser utilizada, tal método consiste em “sujar a betoneira” onde consiste em colocar um pouco de cada material e rolar em seu interior, isso se dá para que o material a ser fabricado não fique impregnado nas paredes do equipamento. A betoneira foi imprimada com 10 quilos de brita, 7 quilos de areia, 4 quilos de cimento e 3,5 litros de água, após o amassamento dos materiais o equipamento o mesmo apresentou a forma expressa na Figura 36.



Figura 33 - Imprimação da betoneira - Autoria Própria 2021

Para realização das etapas seguintes, foi retirado o material de imprimação e descartados em local apropriado, o qual poderá ser estudada suas características em trabalhos futuros.

Após realizarmos a imprimação deu-se início a fabricação do concreto, para a produção do material foi observado os procedimentos presentes no manual de fabricação, onde é relatado a sequência de colocação dos materiais na betoneira, dando início com a colocação do agregado graúdo, adição da metade de água necessária para o amassamento, cimento, colocação do agregado miúdo e pôr fim a coloca-se o restante da água.

Para que ache uma boa mistura dos componentes dos agregados com os aglomerantes dever deixar o material rolar por cerca de cinco minutos no interior do equipamento.

A mistura dos componentes fora bem homogeneizada no interior da betoneira, onde pode-se ser notado na Figura 37.



Figura 34 - Homogeneização dos materiais - Autoria Própria 2021

3.3.1 Ensaio Slump Test

O slump test mede a consistência do concreto para conferir a trabalhabilidade e verificar se aquele concreto poderá ser utilizado. Tal ensaio é definido pela NBR NM 67-98. O ensaio consiste no procedimento de 6 etapas, o teste slump, consiste em preencher o molde tronco de cone com concreto, em 3 camadas, com o auxílio de uma concha ou colher de pedreiro.

Em cada camada são realizados 25 golpes com a haste metálica para compactação, após o preenchimento da terceira camada é feito o nivelamento da boca do cone, em seguida retira-se o molde em uma velocidade constante não fazendo a retirada do mesmo de maneira brusca, para averiguar o abatimento vira-se o cone e mede-se a altura do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova.

O ensaio foi realizado para conferência do abatimento pré-determinado em nossos cálculos, onde foi conferido se o mesmo precisaria ser ajustado para o alcance do abatimento.

A primeira realização do teste constou um abatimento superior ao recomendado, onde o mesmo apresentou um abatimento de 12,5 cm em relação ao

tronco de cone, tal medida pode ser evidenciada pela Figura 38. Onde não foi constatada o abatimento pré-determinado nos cálculos necessários para a dosagem.

Houve então a necessidade de correção do concreto, o mesmo foi corrigido através de cálculo simples, onde foi constatado a necessidade de acrescentar mais 3 quilos de agregado miúdo, com a adição do material chegou-se ao abatimento esperado de 10 cm, onde pode ser constatado na Figura 39.



Figura 35 - Abatimento não atingido - Autoria Própria 2021



Figura 36 - Concreto corrigido - Autoria Própria 2021

Após realizado a conferencia do abatimento do concreto, deu-se início a montagem dos corpos de prova. Como o objetivo desse trabalho é a averiguação do RCD em substituição aos agregados graúdos naturais, não foi modificado o traço para nenhuma das dosagens presente nesse trabalho.

3.3.2 Moldagem dos Corpos de Prova

Para a montagem dos corpos de prova, foram utilizados cilindros metálicos os quais possuem 10cm de diâmetro e 20cm de comprimento como exposto na Figura 40.



Figura 37 - Molde corpo de prova - MANUAL DO CONCRETO 2017

Para cada dosagem foram moldados 8 corpos de prova, a fim de garantir a análise do comportamento dos mesmos.

A montagem dos corpos de prova é normatizada pela NBR 5738/2015, a mesma relata como proceder para a montagem dos corpos de provas, o método se dá com a utilização de cocha para pegar o material, haste metálica para compactação e os moldes metálicos.

O material é colocado nos moldes fazendo o lançamento em duas camadas, onde cada camada é compactada com 15 golpes em áreas diferentes para o adensamento do concreto no molde. Após o preenchimento do molde com o material é necessário fazer o nivelamento com a boca do cilindro.

Com base na norma e seguindo suas etapas foram moldados os corpos de prova, onde foram fabricados 32 moldes como mostra a Figura 41, sendo 8 para cada dosagem de concreto com as diferentes adições de agregados recicláveis.



Figura 38 - Corpos de provas moldados - Aatoria Própria 2021

3.3.3 Cura dos corpos de prova

Após o período de 24 horas, os corpos de provas foram desmoldados e marcados com as adições feitas em cada um, como mostra a Figura 42.



Figura 39 - Corpos de prova desmoldados - Aatoria Própria 2021

Após a desmoldagem, o concreto foi colocado em cura conforme estabelecido pela NBR 5738/2015, utilizando uma câmara úmida, com adição de hidróxido de cálcio (cal hidratada), no percentual de 1 grama para cada litro de água. Utilizando uma câmara de 310 litros onde a mesma foi preenchida a um volume de 250 litros, medida a qual se concretiza o cobrimento total dos corpos de prova, foi adicionado 250 gramas de hidróxido de cálcio. A cal hidratada tem por finalidade de fazer a hidratação do concreto por completo.

Após a colocação em cura foi anotado o dia para rompimento, o dia de rompimento dos mesmos foi estipulado em 28 dias decorridos após a moldagem dos corpos de prova, ficando agendado para o dia 27/10/2021. Esse procedimento é fundamental para que haja um controle correto do concreto. A Figura 43 mostra as anotações e a câmara de cura.



Figura 43 - Câmara de cura com anotações - Autoria Própria 2021

3.3.4 Rompimento dos Corpos de Prova

Decorrido os 28 dias estipulados para o rompimento, os corpos de provas foram levados para a correção de suas bases, a correção é feita através de máquina específica para arrasamento do topo, a mesma faz-se um corte horizontal no topo dos corpos de prova, fazendo com que sua superfície fique plana e preparada para o ensaio. A correção é necessária para que a força aplicada seja distribuída corretamente em toda a área dos cilindros de concreto.

Para o rompimento foi utilizado o equipamento presente no laboratório da universidade, o qual se denomina prensa hidráulica para ensaios de concreto da fabricante EMC, como mostra a Figura 46.



Figura 40 - Prensa hidráulica EMC - Autoria Própria 2021

O rompimento correu em consonância com a NBR 5739/2018, e se deu pelos corpos de prova sem adição de resíduos proveniente de demolição, onde a sequência seguinte foi os corpos com 20%, 40% e 60%.

Foram gerados gráficos de esforços para cada corpo de prova com suas respectivas dosagens, onde os gráficos podem ser encontrados no ANEXO B concreto sem adição de resíduos, ANEXO C concreto com adição de 20% de resíduos, ANEXO D concreto com 40 % de adição de resíduos, ANEXO E concreto com 60% de adição de resíduos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ENSAIO DE ABATIMENTO (SLUMP TEST)

Com base neste ensaio foi possível obter os valores de abatimento do concreto fresco, parâmetro utilizado para análise da consistência e trabalhabilidade do mesmo. Os valores correspondentes a este ensaio estão mostrados na Tabela 6 a seguir.

Varição da Porcentagem (%)	Abatimento (cm)
Sem adição (0%)	10,5
Adição (20%)	10
Adição (40%)	9,3
Adição (60%)	8,7

Tabela 10 - Resultados do Ensaio de Abatimento - Autoria Própria 2021

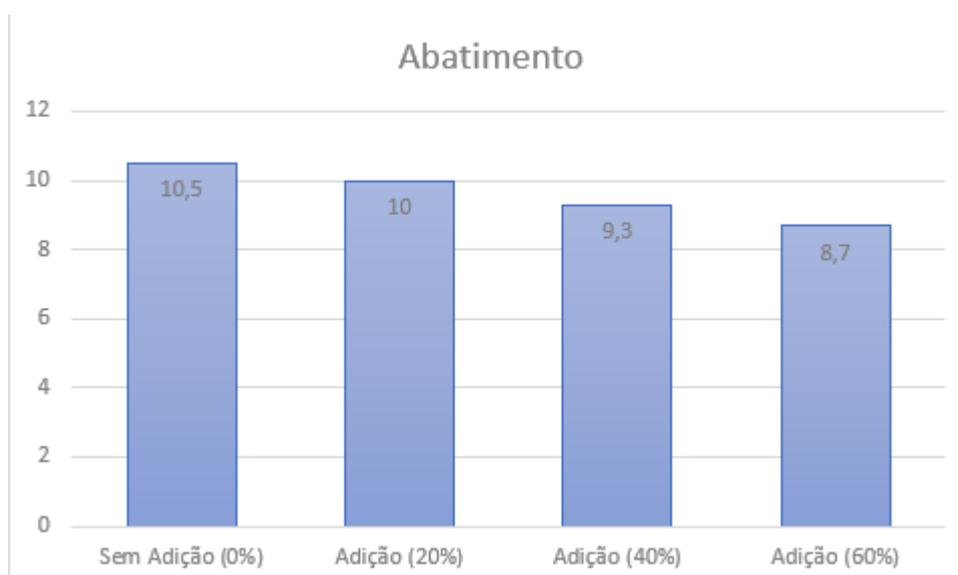


Figura 44 - Resultado do Ensaio de Abatimento - Autoria Própria 2021

É possível perceber, que conforme foi aumentando a porcentagem de agregado reciclado e diminuindo a quantidade de agregado natural, o valor do abatimento foi diminuindo. Isso pode ser explicado porque, como a bibliografia aponta, quando se utiliza agregados reciclados, o concreto tende a ficar mais seco, devido a quantidade de finos presente no material, conseqüentemente, seu abatimento será menor. Mesmo com o processo de pré-molhagem dos agregados, nota-se que ainda houve uma parcela de absorção de água por parte dos mesmos.

4.2 ENSAIO DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO

Com o ensaio da resistência à compressão, pode-se perceber que as porcentagens mais elevadas de agregado reciclado adicionadas ao concreto tiveram como consequência a diminuição da resistência do concreto. Os resultados contidos na Tabela 12 são as resistências médias, os dados de todos os corpos de prova estão anexos a esse trabalho.

Varição da Porcentagem (%)	Resistencia Mpa
Sem adição (0%)	28,57
Adição (20%)	25,03
Adição (40%)	25,29
Adição (60%)	23,59

Tabela 11 - Resistencia a Compressão - Autoria Própria 2021

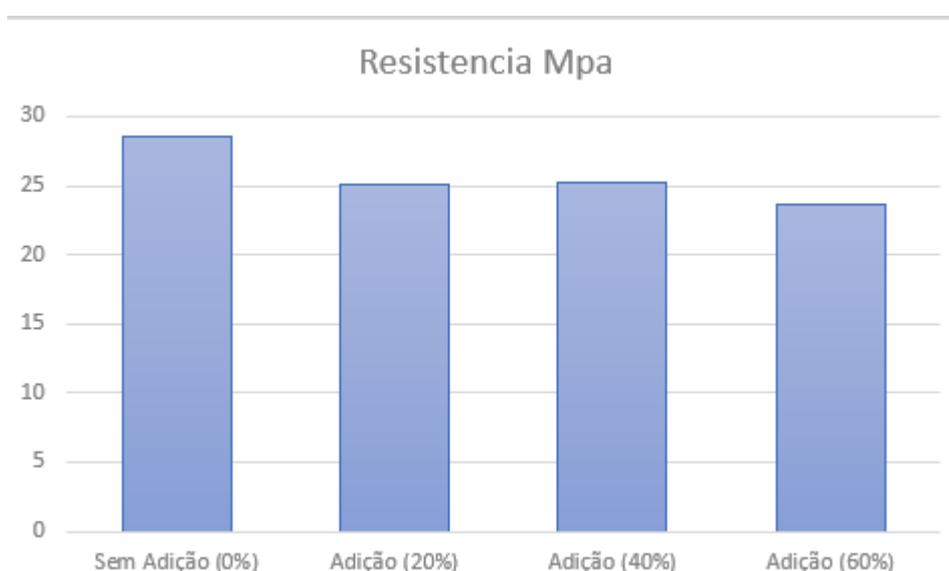


Figura 41 - Resistencia a Compressão - Autoria Própria 2021

Em relação ao traço de referência sem adição, ou seja, com 100% de agregados graúdos naturais, os valores das resistências dos demais traços confeccionados com agregados reciclados foram decrescendo em relação à ordem de adição. Comparando o traço com adição de 60 % de agregado natural e 40% de agregado reciclado, com o traço de referência, nota-se uma diferença de aproximadamente 3 Mpa. Já para o traço com adição de 60% de agregados graúdos reciclados, a sua resistência diminuiu, em aproximadamente 5 Mpa em relação ao concreto sem adição de RCD. Após o rompimento dos corpos de prova, os mesmos não apresentavam deformações excessivas e nem rompiam externamente.

Analisando o rompimento através de análise visual é relatado que o rompimento acontece internamente, foi então fragmentado as amostras com o auxílio de espátula metálica, onde foi constatado que a maioria dos rompimentos não aconteceu nos agregados recicláveis, mas sim nas quantidades maiores de finos presentes no material, onde a porosidade era maior.

Quando ocorreu a ruptura do corpo de prova, o rompimento interno foi na capa de argamassa que envolve o agregado, ela tem uma resistência menor que o agregado e diferente do concreto produzido. Outro ponto importante, é que não se tem muitas informações sobre o concreto usado para a britagem e confecção dos agregados reciclados, como, por exemplo, resistência mecânica, jazidas de obtenção dos agregados, controle do método de preparo do concreto, ente outros. Isto também pode interferir no rompimento, porém é algo que a utilização deste agregado acaba trazendo como característica negativa, dado que em uma usina chega diversos concretos de vários lugares diferentes.

4.3 ENSAIO DE GRANULOMETRIA AGREGADO MIÚDO

A Figura 9 apresentada nesse trabalho ilustra a curva granulométrica obtidas para a amostra de areia. Na curva granulométrica – observa-se que toda a amostra passa pela peneira pela peneira 4,8 mm, e sua grande maioria ficam retidos na peneira 0,15 mm, a qual nos confirma a sua classificação como agregado miúdo conforme estabelecido pela NBR 7211/2009. Nota-se também que cerca de, 8 % do material apresentam partículas com diâmetro menores que 0,15 mm. No intervalo de 0,6 a 0,3 mm estão representadas as areias que se denominam areias finas, a qual podemos determinar a nossa amostra como sendo esse tipo de material, a tabela 13 mostra os limites granulométricos para os agregados miúdos.

A tabela a seguir mostra os resultados obtidos após o ensaio.

Composição granulométrica do Agregado Miúdo								
(a) Massa inicial Seca (g): 300			(b) Massa inicial seca (g): 300					
Massa retida (g)			Massa retida %					
Abertura das peneiras (mm)	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B	Varição 4%	Média %	Acumulada %	
9,5	0	0						
6,3	0	0						
4,75	0	0						
2,36	2,6	1,15	0,868403	0,384461	0,484	0,63	0,63	
1,18	6,7	1,12	2,237809	0,374432	1,863	1,31	1,94	
0,6	13	4,1	4,342017	1,370687	2,971	2,86	4,79	
0,3	153,2	155	51,169	51,81867	0,65	51,49	56,29	
0,15	111	99,2	37,07415	33,16395	3,910	35,12	91,41	
FUNDO	13	11	4,342017	3,677454	0,665	4,01	100,00	
Total	299,4	299,12						

Tabela 12 - Composição Granulométrica da Areia - Autoria Própria 2021

Com as porcentagens retidas nas peneiras conseguimos a montagem do gráfico ao qual nos fornece a curva granulométrica do material, a mesma pode ser visualizada na Figura 9. Obteve-se o diâmetro máximo do material de 0,6 mm, e o seu modulo de finura o qual é calculado pela soma das porcentagens acumuladas, excluindo as peneiras das séries intermediária. O valor obtido para o modulo de finura MF do material foi de 1,76 mm.



Figura 42 - Curva Granulometria do Agregado Miúdo - Autoria Própria 2021

Peneira ABNT	Porcentagem, em massa, retida acumulada na peneira ABNT			
	Zona 1 (muito fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8 mm	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4 mm	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,2 mm	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70
0,6 mm	0 a 20	21 a 40	41 a 65	26 a 85
0,3 mm	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95
0,15 mm	85 a 100	90 a 100	90 a 100	90 a 100

Tabela 13 - Limites granulométricos do agregado miúdo - NBR 5734

A amostra mostra uma curva contínua, a qual apresenta os traços de uma curva de distribuição granulométrica sem a mudança em sua curvatura.

Nesta amostra ocorreram 100% de areias finas sem a presença de materiais de origem desconhecidas.

4.3 ENSAIO DE GRANULOMETRIA AGREGADO GRAUDO

A brita 1 natural é o material em uso na produção da maioria dos concretos convencionais, e foi alvo da substituição abordada neste trabalho. Sua curva granulométrica pode ser observada acima na figura 12. Há uma pequena parcela, de 0,2%, de materiais que passam pela peneira de 6,3 mm e chega até o fundo e são explicados pelo material fino que se adere à superfície das partículas. Além disso, o material se encontra inteiramente na Zona Utilizável.

À primeira vista, este material parece é ideal para a produção de concreto. Apresenta um módulo de finura de 9,33 na faixa aceitável pela norma. No entanto, a forma lamelar do agregado permite que partículas que tenham uma das dimensões muito maiores que as das peneiras de 12,5 mm e 9,5 mm se enquadrem nesta faixa. Esta característica, entre outros problemas, pode atrapalhar na execução da concretagem.

A curva granulométrica apresentada na Figura 13 é a do material de origem reciclável coletado pelo autor para o desenvolvimento deste trabalho. O problema dos finos presentes, que também foi identificado nos agregados graúdos apresentados anteriormente, ainda é mais presente nesse agregado com uma taxa de 2,22% de partículas que chega até o fundo do peneiramento. O processo adicional de britagem e peneiramento que o material passa auxilia nesta característica.

O material após passar pelo processo de britagem ainda ficou na curva granulométrica recomendada pela norma a curva gerada é do tipo descontínua a qual apresenta ausência de quantidades das frações significativas que afetam a sua granulometria.

A maior parte do material, cerca de 86%, ficou retida na peneira de 9,5 mm, este resultado pode ser compreendido quando se analisa que a redução da lamelaridade não permite que partículas que antes passavam pelo peneiramento em

apenas uma direção passem mais, causando um acúmulo de material na peneira superior. Este resultado também é notado no módulo de finura, que subiu para 9,81.

Este maior percentual de partículas de menor dimensão não benéfico para a produção do concreto, visto que o aumento do módulo de finura causa uma trabalhabilidade menor.

Com os procedimentos realizados em ambas as amostras tanto para de origem natural quanto para a de origem reciclável onde as mesmas são mostradas abaixo pela Tabela 5 e 6.

Composição granulométrica do Agregado Graudo - Brita natural								
(a) Massa inicial Seca (g): 5000				(b) Massa inicial seca (g): 5000				
Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		Massa retida %			Variação 4%	Média %	Acumulada %
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B				
25	0	0	0					
19	0,640	0,764	12,711	15,111	2,400	13,91	13,91	
12,5	2,270	2,080	45,084	41,139	3,945	43,11	57,02	
9,5	2,102	2,112	41,748	41,772	-0,024	41,76	98,78	
6,3	0,021	0,100	0,417	1,978	-1,561	1,20	99,98	
4,75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	99,98	
2,36	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	99,98	
FUNDO	0,002	0,003	0,040	0,059	-0,020	0,05	100,00	
Total	5,035	5,056						

Tabela 14 - Composição Granulométrica Brita Natural - Autoria Própria 2021

Composição granulométrica do Agregado Graudo - Brita Reciclável								
(a) Massa inicial Seca (g): 5000				(b) Massa inicial seca (g): 5000				
Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		Massa retida %			Variação 4%	Média %	Acumulada %
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B				
25	0	0	0					
19	0,271	0,117	5,418	2,325	-3,093	3,87	3,87	
12,5	2,160	2,160	43,183	42,921	-0,262	43,05	46,92	
9,5	1,998	1,994	39,944	39,622	0,322	39,78	86,71	
6,3	0,512	0,528	10,236	10,482	-0,246	10,36	97,07	
4,75	0,041	0,225	0,810	4,471	-3,661	2,64	99,71	
2,36	0,013	0,009	0,250	0,179	0,071	0,21	99,92	
FUNDO	0,008	0,007	0,160	0,139	0,021	0,15	100,00	
Total	5,002	5,0325						

Tabela 15 - Composição Granulométrica Brita Reciclável - Autoria Própria 2021

Através das porcentagens retidas nas peneiras conseguimos montar o gráfico para cada um dos materiais, ao qual corresponde a curva granulométrica do material, é visualizada através da Figura 12 agregado natural e Figura 13 agregado reciclável. Obtemos também o diâmetro máximo a qual foi determinado para ambos os materiais um diâmetro de 19mm, e o seu modulo de finura o qual é calculado pela soma das porcentagens acumuladas, excluindo as peneiras das séries intermediária. O valor obtido para o modulo de finura MF do material de origem natural foi de 2,68

mm e de 2,31 mm, para o agregado de origem reciclável.

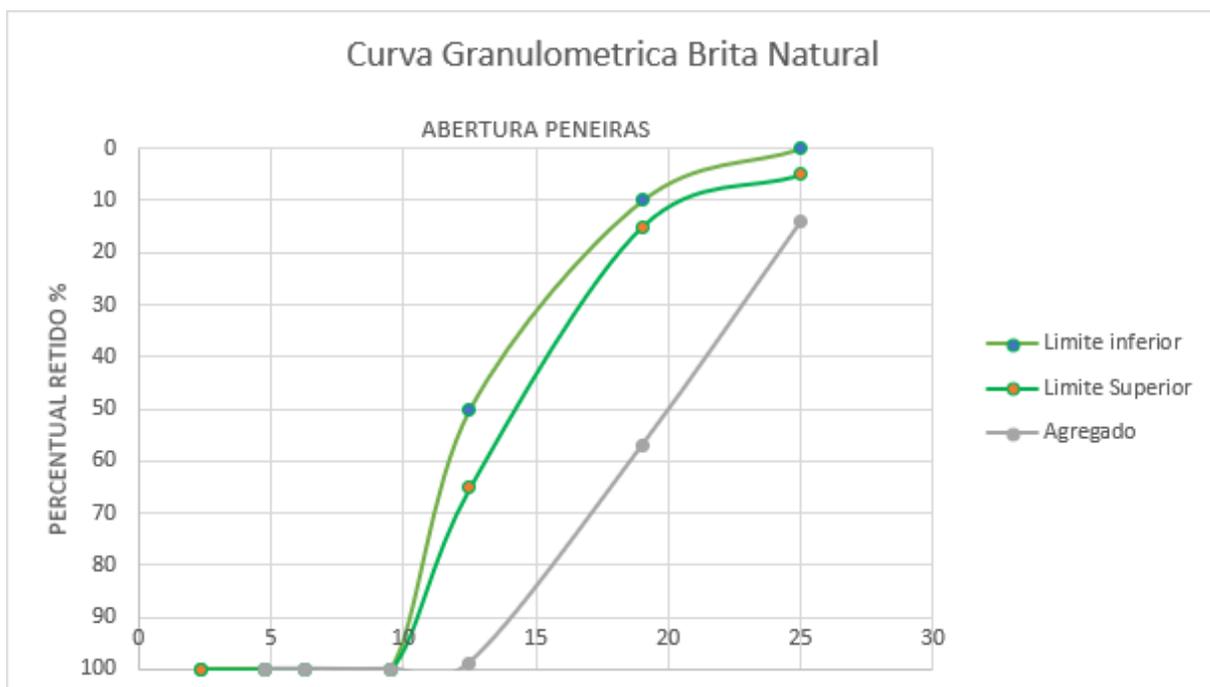


Figura 43 - Curva Granulométrica Brita 1 Natural - Autoria Própria 2021

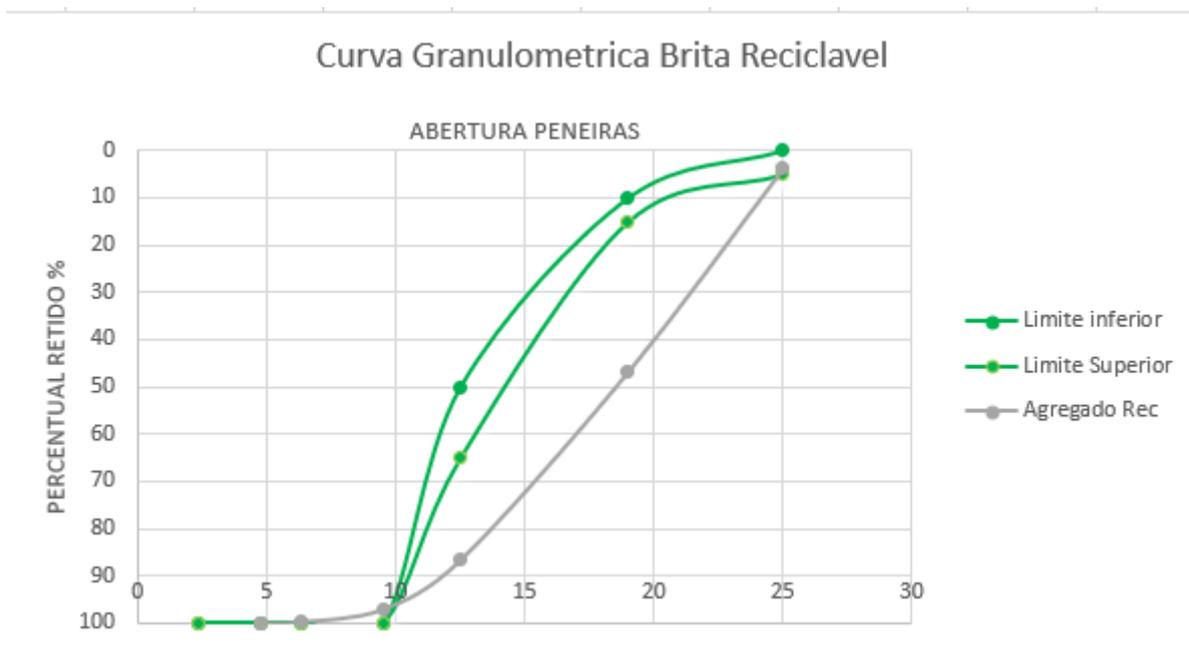


Figura 44 - Curva Granulométrica Brita 1 Reciclável - Autoria Própria 2021

4.4 MASSA ESPECIFICA DOS AGREGADOS

A massa específica das areias, bem como a massa específica com superfície seca e aparente das britas, são apresentadas nas tabelas 14, 15 e 16. Os resultados apresentados representam a massa, em gramas, que cada agregado ocupa no volume de um centímetro cúbico.

Material	Massa Especifica Absoluta (g/cm³)
Areia	2,62

Tabela 16 - Massa especifica da areia - Autoria Própria 2021

Material	Massa Especifica Absoluta (g/cm³)
Brita Natural	2,74

Tabela 17 - Massa especifica brita natural - Autoria Própria 2021

Material	Massa Especifica Absoluta (g/cm³)
Brita Reciclável	2,03

Tabela 18 - Massa especifica brita reciclável - Autoria Própria 2021

4.5 INCHAMENTO DA AREIA

Devido ao agregado miúdo ter grande capacidade de retenção de água e essa capacidade alterar seu volume aparente em decorrência da presença de água é que se faz necessário o conhecimento do inchamento do agregado quando a dosagem do concreto ou argamassa é feito em volume.

As Figuras 33, apresenta a curva de inchamento da amostra. A amostra apresentou uma umidade crítica de 3,72% e um coeficiente de inchamento de 1,526.

4.6 MASSA UNITÁRIA COMPACTADA

A massa unitária compactada do agregado graúdo, conforme cálculo especificado na norma ABNT NBR 7810/1983, foi de 1,733 kg/dm³ para a brita 1 natural e de 1,038 kg/dm³ para brita de origem reciclável.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa em questão, visando diminuir os impactos ambientais causados pela construção civil e reutilizando resíduos que não tinham destino correto, propôs verificar se um concreto feito com adições parciais de agregados graúdos reciclados atingiria valores semelhantes à de um concreto com agregado 100% de origem natural, tornando possível seu uso.

As porcentagens de variação entre agregados graúdos naturais e reciclados escolhidas para cada traço, tinham o intuito de comparar a questão relativa à resistência do concreto. Os resultados mostraram que os objetivos do trabalho foram satisfeitos para concretos com substituição de 20% e 40%, tornando viável a utilização desse tipo de agregado em novas construções. No entanto conforme a adição superior a esses valores de agregado reciclado, a resistência baixou de forma significativa.

Os valores de abatimento do concreto mostram também que um concreto com a adição maior que 40% de agregados reciclados, tem uma trabalhabilidade menor do que concretos convencionais, o que dificulta um pouco a sua produção e utilização.

Analisando as resistências características dos corpos de prova, nota-se que a média das resistências a compressão dos mesmos foi de no mínimo 20 Mpa, onde ambos poderiam ser usados em estruturas, se tomarmos com base a NBR 6118 (ABNT, 2018) que estabelece a resistência mínima para uso em concreto estruturais em 20Mpa. No entanto apenas os concretos de 20% e 40% de adição de agregados graúdos recicláveis satisfizeram essa pesquisa com suas resistências ficando próximo a pretendida de 25 Mpa no decorrer dos 28 dias.

Citando uma das vantagens da utilização dos agregados graúdos reciclados em produção de novos concretos podemos citar o peso do mesmo, a massa específica da brita natural é maior se comparado a massa específica dos agregados recicláveis, isso faz com que o produto final tenha um peso específico mais baixo, facilitando o manuseio no canteiro de obras. Essa redução do peso próprio da estrutura, faz com que seja vantajoso de se utilizar os resíduos para a fabricação de novos concretos em funções como enchimento de lajes, vigas, pilares e também elementos de vedação.

Para obter resultados mais precisos poderia ter se trabalhado com massas de cada agregado retidas em cada peneira. Porém, para otimizar o trabalho em

canteiro de obras, optou-se por trabalhar apenas com porcentagens de cada material em relação a uma dosagem padrão feita com o agregado natural.

O presente trabalho que tinha por objetivo analisar a viabilidade de utilização de porcentagens de 20, 40 e 60% de agregados reciclados de concreto para produção de um novo material, partindo de uma dosagem pelo método ABCP, obteve resultados satisfatórios para utilização dos agregados recicláveis em concretos, que objetivem uma resistência máxima ao final dos 28 dias de 25 Mpa adicionando uma quantidade de 20 a 40%.

No entanto, a adição de 60% de agregados recicláveis, não se fez satisfatória a pesquisa, mostrando uma resistência média de 23,59 Mpa a qual ficou distante em 1,41Mpa da pretendida inicialmente. No entanto em entendimento a norma NBR 6118/14 há viabilidade de uso, se o valor pretendido de resistência for de até 20 Mpa.

O trabalho mostrou que o uso do método de dosagem ABCP é viável para a dosagem desse tipo de concreto.

Para estudos futuros é recomendado o uso de diferentes dosagens com variação da adição de água e material reciclável, fazendo um tratamento melhorado nos agregados de origem reciclável para a diminuição de agregados miúdos presentes no mesmo.

6 REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 5738:2003** – Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova.

____ **NBR 5739:2007** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

____ **NBR 6118:2018** – Projeto de estruturas de concreto.

____ **NBR 7211:2009** - Agregados para concreto – Especificação.

____ **NBR 7222:1994** - Argamassa e Concreto – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos.

____ **NBR 9776:1987** - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco.

____ **NBR NM 52:2002** – Agregado miúdo - Determinação da massa específica.

____ **NBR NM 53:2003** – Agregado graúdo - Determinação da massa específica.

____ **NBR NM 67:1998** - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

____ **NBR NM 248:2003** – Agregado - Determinação da composição granulométrica.

COMANN, Larissa A. C. **Análise da utilização de agregados reciclados de concreto em substituição ao agregado natural e sua influência na resistência à compressão.** 2017. 96 f. Trabalho de conclusão de curso – Programa de graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10279>>. Acesso em: 15 de agosto de 2021

APOSTILA DE TECNOLOGIA DO CONCRETO. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2013/04/Concreto-02.pdf>> Acesso em: 05 de abril de 2017.

BARRA, Marilda. **Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado**. 1996. 223 f. Tese (Doutorado) - Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camin, Canal i Ports. Universitat Politècnica de la Catalunya, Barcelona, 1996.

BATISTA, Cristiano Gonçalves. **Influência na resistência à compressão de concretos com agregados reciclados de concreto em substituição ao agregado natural**.

BOEGH, E; HANSEN, T. **Elasticity and drying shrinkage of recycled-aggregate concrete**. *Journal of American Concrete Institute Proceedings*, (1985).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução Conama no 307**, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, 17 jul. 2002.

BUTTLER, Alexandre M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto**: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados de concretos reciclados. 2003. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CALLISTER Jr, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais-Uma Introdução**. 8 ed. São Paulo: LTC. 2012.

CARASEK, Helena. **Argamassas**. Capítulo 26. Artigo de pós-graduação em Geotecnia e Construção Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiás, 2004.

CARNEIRO, Heldio. **Concreto de cimento portland**. Apostila do Centro de Ensino superior do Amapá.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). **Resolução nº 307**, de 5 de julho de 2002. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Diário Oficial da União, 17/07/2002.

DAMINELI, Bruno Luís. **Estudo de métodos para caracterização de propriedades físicas de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**

DANTAS, Igor. **Concreto – ingredientes e relação água/cimento**. Disponível em <<https://engciv.wordpress.com/2012/07/16/concreto-ingredientes-e-relacao-agua-cimento>> Acesso em: 25 de maio de 2017.

DE LARRARD, François. **Concrete optimisation with regard to packing density and rheology**. In: 3º RILEM: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RHEOLOGY OF CEMENT SUSPENSIONS SUCH AS FRESH CONCRETE, France, 2009. 73

EFFTING, Carmeane. **Propriedades do concreto fresco e endurecido**. Disponível em: <<http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/carmeane/materiais.pdf>> Acesso em: 25 de março de 2017.

FENNIS, S. A. A. M. ; **Design of Ecological Concrete by Particle Packing Optimization**. 2011. 256 p. Dissertação (Doutorado) –Universidade Técnica de Delft –Holanda, 2011.

FERNANDES, Antonio Vitor Barbosa, **Concreto sustentável aplicado na construção civil**. 2014. Disponível em: <<file:///C:/Users/ASUS/Downloads/1093-4559-1-PB.pdf>> Acesso em: 20 de maio de 2017.

FERREIRA, Frank Dias. **Propriedades relevantes e processos de produção do agregado reciclado, reciclado da construção civil**. 2014. Disponível em: <<https://engenhafrankcom.wordpress.com/2014/03/20/propriedades-relevantes-e-processos-de-producao-do-agregado-reciclado-reciclado-da-construcao-civil/>>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

GEYER, André Luiz B. **Importância do controle de qualidade do concreto no estado fresco**. Informativo técnico – Realmix, Ano 2 n.2, 2006.

GIAMMUSSO, S. **Manual do Concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GONÇALVES, Rodrigo Dantas Casillo. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos. São

HENDRIKS, Ch. F. *Application of construction and demolition waste*. **Heron**, v 46, p 95 – 108, 2001.

HERMANN, Aline. **Empacotamento de agregados reciclados para concretos vibrocompactados**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba. Paraná.

HERMANN, Aline; LANGARO, Eloise A.; LOPES, Sarah H.; KLEIN, Nayara S. Empacotamento de partículas de cimento e sílica ativa em pastas pelo uso de modelo analítico. **Revista Ibracon de estruturas e materiais**, RIEM. ISSN 1983-4195. 2015.

JUAN, Marta Sanchez; GUTIERREZ, Pilar Alaejos. **Estudo da Influencia da Argamassa presente nos agregados reciclados**. Construction and Building Material, Laboratório de Estruturas e Materiais. Madri, 2009.

KATZ, A. **Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete**. cement and concrete reserarch. (2002).

LEVY, Salomon Mony. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 74

Disponível:<http://www.infohab.org.br/acervos/abstract/codigoAutor/785/codigo_bibli o/31074/cod/1>. Acesso em: 25 de março de 2017.

LAURITZEN, E. K. **Third International Rilem Symposium on Demolition and reuse of concrete and Masonry Odense**. 1994. Denmark.

LEITE, Mônica B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream_id/45864/000292768.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2017.

LIMBACHIYA, M. C. *Use of recycled concrete aggregate in high – strength concrete*. **Materials and Structures**, Vol 33, 2000.

MAPRE, **Equipamentos Rodoviários. Usina de Reciclagem de Entulho**. Disponível em: <<http://mapreequipamentos.com.br/usina-de-reciclagem-de-entulho/>>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

MARINKOVIÄ, Snežana B.; IGNJATOVIÄ, Ivan S.; RADONJANIN, Vlastimir S.; MALESE, and Mirjana M. **Agregados Reciclados de Concreto para Uso Estrutural - Uma Revisão de Tecnologias, Propriedades e Aplicações**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Belgrado. Servia, 2012.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. Pini, 3ª Ed., 2008.

METHA, Povindar Kumar, **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, 1994.

MIRANDA, Leonardo F. R. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos classe A da construção civil**. 2005. 438 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.prppg.ufpr.br/ppgcc/sites/www.prppg.ufpr.br/ppgcc/files/documentos/tes_e_leonardo_miranda.pdf>. Acesso em: 30 de março de 2017.

NEVILLE, Adam M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2 ed., Porto Alegre. Bookman, 448p., 2013

NEVILLE, Adam M.; **Propriedades do Concreto**. 2 ed., São Paulo: Pini. 1997.

OLIVEIRA, Ivone R.; STUDART, André R.; PILEGGI, Rafael G.; PANDOLFELLI, Victor C. **Dispersão e Empacotamento de Partículas: princípios e aplicações em processamento cerâmico**. São Paulo: Fazendo Arte, 2000.

PATTO, Andre Luiz Duqui Brunini. **Minimização de impactos ambientais com a utilização de resíduos de construção e demolição como agregados**. Taubaté, SP: 2006. 75

PETRUCCI, Eladio Geraldo Requião; PAULON, Vladimir Antonio. **Concreto de cimento Portland**. 14 ed. 307p. Porto Alegre, 2005.

QIAN, Xin. **Estudo de Tratamento de Ácido Fraco em Agregados Reciclados Graúdos**. Programa de Pós Graduação da Universidade do Alabama, (2014).

RAO, Akash; JHAB, Kumar N. MISRAA, Sudhir. **Uso de Agregados Reciclados de Resíduo de Construção e Demolição de Concreto**. Departamento de Engenharia Civil do IIT Kanpur. India, 2007.

SILVA, Narciso Gonçalves da. **Influência dos finos e da cal nas propriedades da argamassa**. 2006. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/ngsilva/links-2/noticias/ENTAC2006_Finos.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

SOUSA, José G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto: aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. 2001. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Brasília, 2001. Disponível em: <http://estruturas.unb.br/index.php?option=com_content&view=article&id=112%3Ate>

ses-e-dissertacoes-2001&catid=51&Itemid=80&lang=pt>. Acesso em: 02 de junho de 2017.

SOUTSOS, Marios N.; TANG, Kangkang; MILLARD, Stephen G. Concrete building blocks made with recycled demolition aggregate. **Construction and Building Materials** 25. 726– 735, 2011a.

ANEXO A – BOLETIM DE ENSAIOS DE CIMENTO

Boletim de Ensaaios de Cimento



Atualizado em: **10/11/2017** Produto: **CPIIZ-32 Todas Obras** Norma: **NBR 11578**
 Mês e ano de referência: **out/17** Marca: **Votoran** Unidade: **Rio Branco**

Ensaaios	Químicos				Físicos e mecânicos											
	Teores (%)				Finura (%)			Água de consist. (%)	Tempo Póço		Expansib. a quente (mm)	Resistência Compressão (MPa)				
	FF	MgO	SO ₃	Ri	#200	#325	(cm ² /g)	início (min)	Fim (min)		1 Dia	3 Dias	7 Dias	28 Dias		
Limites de Norma	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 16,0	≤ 12,0	N/A	≥ 2600	N/A	≥ 60	≤ 600	≤ 6,0	N/A	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0 ; ≤ 49,0	
01/10/2017																
02/10/2017	4,7	5,4	3,3	12,9	1,6	14,6	3450	26,6	290	360	1,0	14,7	26,3	33,0	40,0	
03/10/2017	4,5	5,5	3,3	11,8	1,8	13,6	3390	26,8	270	340	0,0	15,3	26,7	33,2	40,2	
04/10/2017	4,9	5,3	3,2	12,3	1,8	12,9	3530	27,4	290	355	0,5	13,0	26,7	31,0	38,8	
05/10/2017	5,1	5,3	3,4	13,8	1,8	13,4	3340	27,8	310	385	0,5	12,5	26,0	31,5	38,2	
06/10/2017	5,3	5,2	3,4	14,2	1,8	13,4	3470	27,6	280	350	0,0	13,0	24,0	30,6	38,6	
07/10/2017																
08/10/2017																
09/10/2017	5,3	5,3	3,4	13,2	1,6	13,5	3390	27,6	280	350	0,0	12,6	26,0	30,7	39,4	
10/10/2017	5,3	5,2	3,4	14,8	1,8	12,8	3530	27,2	280	355	0,0	12,7	26,2	30,6		
11/10/2017																
12/10/2017																
13/10/2017	5,1	5,3	3,3	14,4	1,7	11,9	3630	28,0	280	350	0,5	14,2	24,7	30,0		
14/10/2017																
15/10/2017																
16/10/2017	4,9	5,3	3,1	14,5	1,3	12,7	3390	27,8	280	350	0,0	14,9	25,3	31,9		
17/10/2017	4,9	5,3	3,3	11,9	1,6	13,8	3760	27,2	270	340	0,0	13,9	25,0	32,0		
18/10/2017	4,7	5,4	3,2	12,4	1,6	13,2	3450	28,1	300	375	0,0	11,1	24,3	31,3		
19/10/2017	5,0	5,4	3,4	12,6	1,7	12,3	3600	27,2	300	375	0,0	12,0	26,3	31,8		
20/10/2017	5,2	5,2	3,4	14,2	1,6	11,9	3660	28,2	310	385	0,0	12,4	25,6	29,6		
21/10/2017																
22/10/2017																
23/10/2017	5,1	5,3	3,3	13,2	1,7	12,1	3470	27,8	290	360	0,5	13,5	24,1	29,3		
24/10/2017	4,8	5,5	3,2	13,6	1,7	12,0	3630	28,0	300	370	0,5	12,6	24,3	30,1		
25/10/2017	5,1	5,4	3,0	14,0	1,6	11,3	3760	28,2	300	375	0,5	13,8	23,9	29,7		
26/10/2017	5,1	5,4	3,2	14,1	1,8	13,0	3600	28,0	280	350	0,5	11,8	24,1	29,6		
27/10/2017	5,3	5,3	3,3	14,0	1,8	13,6	3420	28,0	285	355	0,5	10,6	22,6	27,9		
28/10/2017																
29/10/2017																
30/10/2017	5,0	5,4	3,1	13,4	1,8	12,5	3600	28,0	290	355	0,0	13,7	24,7	30,3		
31/10/2017	5,3	5,3	3,2	14,3	1,7	13,5	3500	27,4	270	340	0,5	11,7	23,0	29,1		
Média	5,03	5,33	3,27	13,48	1,69	12,90	3528,50	27,65	287,25	358,75	0,28	12,99	24,99	30,66	39,37	
Desvio Padrão	0,23	0,08	0,11	0,91	0,13	0,81	122,53	0,46	12,51	14,13	0,30	1,25	1,21	1,33	0,80	
Mínimo	4,50	5,21	3,02	11,81	1,30	11,30	3340,00	26,60	270,00	340,00	0,00	10,60	22,60	27,90	38,20	
Maximo	5,35	5,50	3,44	14,79	1,80	14,60	3760,00	28,20	310,00	385,00	1,00	15,30	26,70	33,20	40,20	

