



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONCRETO COM A UTILIZAÇÃO
DE AGREGADOS RECICLADOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Matheus Henrique Weber

Lajeado, novembro de 2018



Matheus Henrique Weber

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONCRETO COM A UTILIZAÇÃO
DE AGREGADOS RECICLADOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de conclusão de curso – Etapa II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Mestre. Marcelo Freitas Ferreira

Lajeado, novembro de 2018

Matheus Henrique Weber

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONCRETO COM A UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A banca examinadora abaixo aprova o Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Me. Marcelo Freitas Ferreira (Orientador)
Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES

Prof. Ma. Carolina Becker Pôrto Fransozi
Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES

Prof. Ma. Helena Batista Leon
Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES

Lajeado, novembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradecimento em especial ao orientador e Mestre Marcelo Freitas Ferreira, por seu empenho, paciência e dedicação do início ao fim do estudo.

A todos os laboratoristas do LATEC por todos os serviços prestados, principalmente em virtude da distância entre minha residência e o laboratório.

A minha família em geral e namorada pelo apoio e paciência em meio ao período de dois semestres do trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

Vários estudos demonstram que uma grande parcela da atual degradação ambiental no planeta deve-se à necessidade da extração de recursos naturais para uso como insumos. Sendo a construção civil o setor responsável pela maior geração de resíduos sólidos e, tendo em inúmeros casos sua disposição e destinação final feita de forma incorreta, o problema acaba por impactar diretamente no cotidiano de pessoas. O estudo trata de analisar o desempenho do concreto com a utilização de resíduos de concreto, oriundos de resíduos de construção e demolição como agregados de fração miúda e graúda em substituição aos agregados naturais. O conhecimento das propriedades destes resíduos são necessários para comprovação em muitos casos de seu alto potencial de reutilização, visto que sua utilização ainda é feita em baixa escala em obras da construção civil. Logo, fazendo um estudo experimental de conhecimento a suas características de massa específica, absorção e o seu comportamento em misturas de concreto em estados fresco e endurecido, em diferentes porcentagens na composição dos agregados, mantendo um abatimento de 120 mm +- 20 mm e mantendo a relação água/cimento, foi possível verificar que sua reutilização apresenta eficácia, comprovando por meio de ensaios valores semelhantes e até maiores do que o concreto natural. O traço de concreto reciclado que apresentou melhor eficiência nos testes foi o produto contendo 50% de agregado graúdo reciclado de concreto em conjunto a 50% de agregado graúdo natural e 100% de agregado miúdo natural.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição, degradação, reutilização.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia de processos da geração de RCD.....	33
Figura 2 - Fluxograma de operação de reciclagem de RCD em usina.....	41
Figura 3 - Exemplo de triagem visualizado em usina de reciclagem de RCD.	41
Figura 4 - Peças de concreto para posterior processamento de britagem.	42
Figura 5 – Agregado reciclado disposto em Usina de Reciclagem na cidade de Arroio do Meio – RS.....	45
Figura 6 – Molde utilizado e ilustração de ensaio do abatimento	53
Figura 7 – Fluxograma de metodologia do estudo	57
Figura 8 - Demolição de protótipo de mini casa junto ao LATEC – Univates.	58
Figura 9 – Mecanismo responsável pela triagem manual, transporte por esteiras, britagem e separação granulométrica.	59
Figura 10 – Amostra de agregados reciclados de fração graúda e miúda após ensaio.	61
Figura 11 – Ensaio de abatimento do tronco de cone para a dosagem 1.	74
Figura 12 – Execução do ensaio de capilaridade em corpos de prova de concreto..	74
Figura 13 – Medição da altura de capilaridade no corpo de prova.....	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Composição percentual do concreto.....	29
Gráfico 2 – Percentual médio da composição de resíduos gerados no Brasil	34
Gráfico 3 – Fontes geradoras de Resíduos de construção e demolição no Brasil	35
Gráfico 4 – Quantidade gerada de RCD nos anos de 2013 e 2014 no Brasil.	38
Gráfico 5 – Crescente de usinas de reciclagem de RCD no Brasil	40
Gráfico 6 – Curva granulométrica de agregados miúdos.	63
Gráfico 7 – Curva granulométrica de agregados graúdos.....	65
Gráfico 8 – Potencial de resistência à compressão do concreto referência 1.	75
Gráfico 9 – Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 1.	76
Gráfico 10 – Potencial de resistência à compressão do concreto referência 2.	79
Gráfico 11 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 2.	80
Gráfico 12 - Potencial de resistência à compressão do concreto referência 3.	82
Gráfico 13 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 3.	83
Gráfico 14 - Potencial de resistência à compressão do concreto reciclado 1.....	85
Gráfico 15 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 4.	86
Gráfico 16 - Potencial de resistência à compressão do concreto reciclado 2.....	88
Gráfico 17 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 5.	89
Gráfico 18 - Potencial de resistência à compressão do concreto reciclado 3.....	91
Gráfico 19 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 6.	92
Gráfico 20 - Potencial de resistência à compressão do concreto reciclado 4.....	94
Gráfico 21 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 7.	95
Gráfico 22 – Comparativo de potencial entre as dosagens aos 28 dias de cura.....	100

Gráfico 23 – Valores máximos de absorção para cada dosagem.	101
Gráfico 24 – Altura de capilaridade para a dosagem de maior absorção	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados de caracterização de agregados miúdos naturais e reciclados....	62
Quadro 2 - Dados de caracterização de agregados graúdos naturais e reciclados ..	64
Quadro 3 – Dosagens conforme composição de agregados	68
Quadro 4 – Consumo de insumos para os traços de referência	70
Quadro 5 – Consumo de insumos para os traços modificados	71
Quadro 6 – Resistência à compressão da dosagem 1.....	75
Quadro 7 – Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 1.	76
Quadro 8 – Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.	78
Quadro 9 – Resistência à compressão da dosagem 2.....	79
Quadro 10 – Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 2.	80
Quadro 11 - Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.....	81
Quadro 12 - Resistência à compressão da dosagem 3.....	82
Quadro 13 - Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 3.	83
Quadro 14 – Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.	84
Quadro 15 - Resistência à compressão da dosagem 4.....	85
Quadro 16 - Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 4.	86
Quadro 17 - Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.....	87
Quadro 18 - Resistência à compressão aos 28 dias da dosagem 5.	88
Quadro 19 - Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 5.	89
Quadro 20 - Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.....	90
Quadro 21 - Resistência à compressão aos 28 dias da dosagem 6.	91
Quadro 22 - Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 6.	92

Quadro 23 - Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.....	93
Quadro 24 - Resistência à compressão aos 28 dias da dosagem 7.	94
Quadro 25 - Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 7.....	95
Quadro 26 – Utilização do aditivo x valor de abatimento em cada dosagem.	97
Quadro 27 – Valores de resistência à compressão média aos 28 dias das dosagens.	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução dos materiais na história	24
Tabela 2 – Classificação dos agregados pela dimensão	27
Tabela 3 – Classificação dos resíduos da construção civil	36
Tabela 4 – Destinação de RCC após triagem	37
Tabela 5 – Características dos materiais x Absorção	48
Tabela 6 – Absorção conforme a composição do material.....	48
Tabela 7 – Propriedades Obtidas em ensaios de controle tecnológico do concreto .	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a/c	Água/cimento
AR	Agregado Reciclado
ARC	Agregado Reciclado de concreto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de prova
D	Diâmetro do CP (mm)
DMC	Dimensão máxima característica
F	Força máxima (N)
fc	Resistência a compressão (MPa)
g	Gramas
Kg	quilogramas
LATEC	Laboratório de tecnologia e construção
m	Massa da amostra seca em estufa
m1	Conjunto amostra + frasco
m2	Massa total

ma	Massa em água
ms	Agregado saturado com superfície seca
mm	Milímetros
MPa	MegaPascal
N	Newton
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
RC	Resíduos de concreto
RCC	Resíduos de construção civil
RCD	Resíduos de construção e demolição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivo Geral	19
1.1.1 Objetivos específicos	19
1.2 Justificativa.....	20
1.3 Limitações da pesquisa.....	20
1.4 Delimitações da pesquisa.....	20
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	22
2.1 CONCRETO - DEFINIÇÃO	22
2.1.1 Origem e evolução do concreto.....	23
2.1.2 A composição do concreto	24
2.1.2.1 Cimento Portland – Definição	25
2.1.2.1.1 Hidratação do cimento Portland	25
2.1.2.2 Agregados.....	26
2.1.2.2.1 Agregados miúdos	27
2.1.2.2.2 Agregados graúdos.....	28
2.1.2.2.3 A influência do agregado no concreto	28
2.1.2.3 Água de amassamento	30
2.1.2.4 Aditivos	31
2.2 A SUSTENTABILIDADE NA ENGENHARIA CIVIL	32
2.2.1 A extração de recursos naturais	32
2.2.2 O impacto ambiental gerado pela construção civil	32
2.2.3 Resíduos oriundos da construção civil e sua geração.....	33

2.2.4 Destinação e classificação dos resíduos gerados na construção civil.....	35
2.3 A RECICLAGEM DE RCD	37
2.3.1 Centrais de reciclagem de RCD no Brasil e sua função	39
2.4 PROCESSOS DE RECICLAGEM DE RCD	41
2.4.1.2 Britagem do RCD.....	43
2.5 O USO DO RCD COMO AGREGADO RECICLADO	44
2.5.1 Caracterização e propriedades dos agregados reciclados	44
2.5.1.1 Composição granulométrica do agregado reciclado	45
2.5.1.2 Absorção de água	47
2.5.1.3 Massa específica e unitária	49
2.6 AGREGADO RECICLADO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	49
2.6.1 O emprego de agregados reciclados em obras da Engenharia Civil.....	50
2.6.2 O uso de agregados reciclados na produção de concretos.....	50
2.7 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO	52
2.7.1 Ensaio em estado fresco do concreto	52
2.7.2 Ensaio em estado endurecido do concreto	53
2.8 ESTUDOS UTILIZANDO O AGREGADO RECICLADO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO.....	54
3 MATERIAIS E MÉTODOS	56
3.1 DADOS REFERENTES A COLETA E SEPARAÇÃO DOS RCD	57
3.1.1 Processo de beneficiamento do RCD.....	58
3.2 SELEÇÃO DOS MATERIAIS.....	59
3.2.1 Ensaio de caracterização dos materiais.....	60
3.2.1.1 Composição granulométrica e massa específica.....	60
3.2.1.1.1 Composição granulométrica e massa específica dos agregados miúdos	61
3.2.1.1.2 Composição granulométrica e massa específica dos agregados gráudos	63
3.2.1.1.3 Massa específica do cimento	65
3.3 TRAÇO EMPREGADO A DOSAGEM DE CONCRETOS	66
3.3.1 Definição do consumo de insumos	66
3.3.2 Definição de dosagens de concretos referências e reciclados	67
3.3.2.1 Traços de concreto referência	69

3.3.2.2 Traços de concreto reciclado.....	71
4 ANÁLISES E RESULTADOS	73
4.1 Concreto referência (Dosagem 1).....	73
4.2 Concreto referência (Dosagem 2).....	77
4.3 Concreto referência (Dosagem 3).....	80
4.4 Concreto reciclado (Dosagem 4).....	83
4.5 Concreto reciclado (Dosagem 5).....	86
4.6 Concreto reciclado (Dosagem 6).....	89
4.7 Concreto reciclado (Dosagem 7).....	92
4.8 Comparativo entre dosagens.....	95
4.8.1 Trabalhabilidade do concreto.....	96
4.8.2 Resistência mecânica.....	98
4.8.3 Absorção por capilaridade.....	100
5 CONCLUSÕES.....	103
REFERÊNCIAS.....	105

1 INTRODUÇÃO

O papel desempenhado pela construção civil desde os primórdios até a época presente é fundamental para o bem-estar e a sobrevivência do homem quanto a empecilhos encontrados em seu cotidiano. Os primeiros indivíduos se deparavam com dificuldades ao encontrar abrigo, sendo a natureza a única encarregada de proporcionar condições ao mesmo tempo precárias a sua proteção, e insumos destinados a projeção de estruturas simples e mal planejadas. Logo, diante de intempéries climáticas e perigos eminentes quanto a predadores, o homem foi forçado a evoluir e adquirir novas habilidades para a construção de melhores estruturas diante dos recursos disponíveis no local (NAVARRO, 2006).

Conforme Cardoso, Galatto e Guadagnin (2014), com um alto crescimento populacional e urbano no país nas últimas décadas, o ramo da construção civil tem se intensificado, gerando novos empreendimentos, empregos e crescimento econômico. Contudo, em questões ambientais, o crescimento do setor construtivo traz consigo a alta na taxa de geração de resíduos provenientes de construções e demolições, sendo responsáveis por valores de 50 a 70% de todo o volume de resíduos sólidos gerado no Brasil.

Sendo a construção civil grande exploradora de recursos naturais não renováveis, os mesmos são utilizados como matéria prima em uma diversidade de aplicações em meio ao ramo. Entretanto, devido a fatores como o incorreto manuseio, falta de controle e desperdícios, acabam gerando em enormes volumes de resíduos

junto ao canteiro de obras. Resíduos estes que podem ser de matérias-primas da construção civil, orgânicos, embalagens e produtos de alto risco, e que em sua maioria, posteriormente são dispostos de forma irregular, sem qualquer tratamento, oferecendo riscos à saúde humana, contribuindo com a degradação e a poluição ambiental, e influenciando na visualização da paisagem (MANFRINATO; ESGUÍCERO; MARTINS, 2008).

De acordo com Karpinski, Michel, Maculan, Guimarães e Saúgo (2008), além de ser o principal responsável quanto a extração de recursos naturais para posterior utilização como insumos em diversas obras e produtos, o ramo da construção civil é também responsável pelo seu elevado desperdício em forma de resíduos. Logo, são necessárias soluções sustentáveis quanto ao problema, de fato que, tais recursos naturais em algum momento entrarão em escassez total, sendo necessárias ações de maior valor econômico, com a criação e desenvolvimento de insumos artificiais em substituição aos naturais.

Troian (2010) cita um contexto relacionado a construção sustentável, com ações de prevenção e diminuição da geração de volumes de resíduos oriundos de construções e demolições, utilizando-se em maiores escalas materiais reciclados, e tendo posteriormente, um correto tratamento a fração de resíduos gerada.

Conforme Resolução 307 do CONAMA (2002), todos os resíduos gerados em construção devem ser classificados e destinados a sua correta categoria como previsto em norma, e posteriormente destinados ou a aterros sanitários, ou a reciclagem, para em seguida retornarem a obra como novo material, diminuindo assim, o desperdício de matéria-prima.

Ideias sustentáveis como a reciclagem são necessárias para que aja um maior conhecimento e procura quanto a utilização de certos produtos dispostos como resíduos, que em diversos casos, apresentam alto potencial de reutilização. No caso de resíduos de peças estruturais de concreto (RC), suas propriedades e características já são conhecidas em meio a construção civil. Logo, um material puro, que não contenha fragmentos indesejados de outros materiais, após processos de reciclagem poderá desempenhar em alto padrão sua nova função (TROIAN, 2010).

O principal produto produzido a partir de RC são os agregados reciclados de concreto (ARC). Como definido em norma, na composição de misturas de concreto convencionais são utilizados agregados naturais, logo, a substituição de matéria prima conhecida na composição de um dito produto é complexa, visto que fatores importantes na caracterização do mesmo serão modificados e o mal dimensionamento poderá acarretar em falhas. Portanto, anteriormente a utilização de um produto de origem reciclada, devem ser conhecidas suas principais propriedades, visando sua correta utilização e desempenho final em meio a composição, tornando-o ou não viável ao meio (TROIAN, 2010).

1.1 Objetivo Geral

A pesquisa tem como objetivo geral analisar o desempenho do concreto com a utilização de agregados reciclados da construção civil.

1.1.1 Objetivos específicos

São objetivos específicos desta pesquisa:

I - Verificar a massa específica dos agregados miúdos e graúdos naturais, e também dos reciclados de concreto;

II – Comparar trabalhabilidade dos concretos com agregados reciclados com relação aos concretos de referência;

III – Analisar a resistência a compressão dos concretos com agregados reciclados;

IV – Verificar a absorção por capilaridade de corpos de prova dos concretos de referência e reciclados.

1.2 Justificativa

A justificativa da escolha do tema se dá pela atual necessidade de uma melhor destinação aos resíduos de construção e demolição, sendo necessária uma menor extração de matéria-prima destinada à construção civil. É o caso de recursos mineiras que em muitas circunstâncias acabam por transformar-se em resíduos da construção civil, sendo posteriormente destinados a aterros, ou locais impróprios, prejudicando assim, o meio ambiente e a população em geral. Contudo, a possibilidade de reciclagem dos mesmos acaba por tornar-se solução quanto a parte do problema, reduzindo assim extrações, e também custos ao final de uma nova obra.

1.3 Limitações da pesquisa

O presente tema se limita a verificação das propriedades adquiridas pelo concreto utilizando-se agregados reciclados oriundos da demolição de protótipo do curso de Técnico em Edificações da Universidade do Vale do Taquari – Univates, substituindo assim, o convencional agregado utilizado em sua composição. A obtenção de dados referentes ao concreto produzido será em meio a ensaios executados junto ao Laboratório de tecnologias e construção – LATEC, destacando características principais de comportamento em seu estado fresco e endurecido, tais como a trabalhabilidade e a resistência a esforços mecânicos. Ainda, serão verificadas a composição granulométrica dos agregados reciclados, sua massa unitária e específica.

1.4 Delimitações da pesquisa

O presente trabalho delimitou-se ao estudo da utilização de um único tipo de agregado reciclado da construção civil, oriundos da demolição e processo de britagem de componentes de concreto, originando agregados de fração miúda e graúda,

utilizados em diferentes porcentagens na substituição dos agregados naturais na composição de concretos.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

O capítulo 2 apresenta o referencial bibliográfico envolvendo o assunto estudado, contendo importantes definições quanto ao assunto, bem como informações pertinentes a um melhor conhecimento sobre a reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

2.1 CONCRETO - DEFINIÇÃO

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto figura entre os materiais mais empregados no mundo, ficando atrás apenas da água. Seu uso é diversificado na construção civil, podendo ser aplicado em obras convencionais, arranha-céus, obras de arte, pavimentações e em ocasiões distintas. Apresenta baixo custo de execução, facilidade na obtenção de componentes, bom desempenho e resistência quanto as ações de intempéries climáticas, resistência a esforços mecânicos, e também, devido a sua excelente característica plástica quando em estado fresco, é possível obter-se um material em diversas formas e dimensões, tendo sua moldabilidade na forma com maior facilidade.

De fácil execução e preparação, o concreto é um material heterogêneo composto de cimento hidráulico, água, e agregados graúdo e miúdo, que compõem a

pasta de cimento conferindo corpo ao material e maiores economias. Podem ser utilizados aditivos líquidos e produtos tais como: fibras naturais ou sintéticas, com função de modificar as propriedades mecânicas do concreto, proporcionando melhores desempenhos necessários a sua área de aplicação. Ainda, quando em conjunto ao aço, forma o concreto armado, que confere maior resistência aos esforços de tração, compressão e a flexão em elementos estruturais (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

De acordo com Neville e Brooks (2013), o concreto é utilizado em grande escala em obras da construção civil devido a sua alta capacidade de desempenho. O concreto é um produto oriundo da mistura de um material aglomerante, composto pela adição de água ao cimento hidráulico, formando uma pasta, que posteriormente irá ser preenchida com o restante dos materiais compósitos, os agregados, que compõem aproximadamente $\frac{3}{4}$ do volume total do concreto. O agregado miúdo, com função de enchimento e economia, e o agregado graúdo, também de função de enchimento, e aumento da resistência as tensões solicitantes.

2.1.1 Origem e evolução do concreto

Conforme Pedroso (2009), o homem, que já se utilizava de matéria-prima natural para a construção de abrigos, deparava-se com dificuldades na elaboração de um material de fácil obtenção ao meio em que se encontrava, com boa produtividade e sobretudo resistente. Foram inúmeras as tentativas, passando-se o conhecimento entre gerações, sendo os Romanos os responsáveis pela primeira produção de concreto na história (TABELA 1).

Tabela 1 – Evolução dos materiais na história

POVOS	MATERIAL	CARACTERÍSTICAS
Sumérios	Barro cozido	Material maleável, pouco resistente.
Egípcios	Cimento não-hidráulico (cal-gipsita)	Consistência plástica, endurecimento em contato ao ar.
Romanos I	Cimento Romano (cinzas vulcânicas + cal hidratada)	Cal endurecido sob a água, uso de gordura animal, leite e sangue como aditivos incorporadores.
Romanos II	Cal hidráulica	Calcinação de rochas calcárias em conjunto de materiais argilosos
Romanos III	Concreto: cimento de pozolâna e cal	Durabilidade e alta resistência

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Pedroso (2009, p. 15)

O concreto quando corretamente dimensionado pelo homem, apresenta similaridade as rochas naturais, ou seja, quando em estado endurecido destaca-se por sua resistência quanto a esforços solicitantes. Também, quando em estado fresco, o material possibilita fácil manejo e moldagem em diversas formas (PEDROSO, 2009).

2.1.2 A composição do concreto

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o concreto em conjunto aos seus componentes, resume-se em um meio aglomerante, onde são aglutinadas partículas de agregados de diferentes dimensões. O cimento Portland é o material responsável por aderir os agregados a pasta formada (cimento + água), e preencher os vazios formados entre os mesmos. O mesmo apresenta-se em forma de pó, e quando em contato a água reage quimicamente formando um material hidráulico. Os agregados constituintes do concreto são o miúdo e o graúdo, que são definidos conforme suas dimensões. Ainda, podem ser adicionados aditivos com funções de modificar alguma propriedade específica do material. O desempenho do produto é definido pela qualidade dos materiais empregados em sua composição, de forma que sua execução deve ser feita seguindo normas adequadas a produção do concreto.

2.1.2.1 Cimento Portland – Definição

Segundo Neville e Brooks (2013), o Cimento Portland é um dos materiais constituintes do concreto, que se apresenta na forma de pó, e em contato a água apresenta reações de hidratação e obtém forma endurecida. O material é composto de calcário, a argila (ou outros materiais silicosos), a alumina e óxidos de ferro, sendo os mesmos extraídos de meios naturais, e posteriormente moídos, formando um material em forma de pó, e queimados a temperaturas de 1400 °C, formando-se o clínquer moído. Para se obter o produto final, após o resfriamento do clínquer, adiciona-se ao material gipsita. O novo material é novamente moído até obter forma pulverulenta, sendo este, o Cimento Portland.

Para Cunha (2014), o cimento Portland é um material apresentado em forma pulverulenta, utilizado na construção civil, e que em conjunto a outros componentes, torna-se um material aglomerante, responsável pela formação de pastas, argamassas e o popular concreto.

2.1.2.1.1 Hidratação do cimento Portland

Conforme Neville e Brooks (2013), a composição do cimento é de grande importância ao desempenho do concreto, sendo o estado de maior importância em seu endurecimento, ou seja, quando o material entra em contato com a água e acontece a hidratação do mesmo. Este processo acontece de forma que compostos tais como os silicatos e aluminatos ao receberem certas quantidades de água, produzem reações químicas de hidratação, vindo posteriormente a formar um material sólido e de boa resistência. Ainda, quando em processo de hidratação, a reação entre a mistura de cimento e água acaba por liberar calor, vindo a ser conhecido como calor de hidratação. A elevação da temperatura do material é iniciada no contato da água com o cimento, e deve ser considerada, visto que poderá acarretar em problemas que posteriormente afetarão na resistência do concreto final.

2.1.2.2 Agregados

Agregados são definidos como fragmentos de forma granular, de origem natural, que se apresentam em diversas formas e volumes, originados por processos de intemperismos e abrasão, e em processos de britagem de blocos retirados da natureza. Ainda, atualmente existe uma gama variada de agregados industrializados, utilizados na substituição do agregado natural (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Segundo Cunha (2014), os agregados são considerados inertes¹ quanto a quaisquer reações em conjunto a mistura e preparação do concreto, ou seja, são utilizados como preenchimento em substituição a porções de cimento, visando redução no custo final do material. Os agregados em sua maioria são extraídos de um meio natural, sendo originários de uma rocha mãe ou por meio de processos biológicos, ambos por meio de intemperismos físico-químicos. Também, existem no mercado agregados industrializados, utilizando-se como matéria prima principal elementos naturais tais como rochas e argilas, que acabam por originar em um produto de elevada resistência, e que possa substituir o agregado natural desempenhando funções semelhantes.

Para sua utilização como componente de concreto, os agregados são classificados em duas categorias distintas, sendo o agregado miúdo, e o agregado graúdo. A classificação é decorrente da dimensão da partícula do agregado (TABELA 2), sendo executado ensaio específico em laboratório de determinação da composição granulométrica dos agregados de fração graúda e miúda, regida pela NBR NM 248 (2001), obtendo-se assim, a designação do material quanto a sua dimensão (CUNHA, 2014).

¹ O agregado anteriormente ao seu estudo aprofundado quanto a influência no concreto, era considerado um meio inerte, ou seja, sem função quanto a reações químicas dentro da mistura de concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 259).

Tabela 2 – Classificação dos agregados pela dimensão

Agregado	Dimensões
Miúdo	Partícula < 4,75 mm
Graúdo	Partícula > 4,75 mm

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Mehta e Monteiro (2008, p. 260).

2.1.2.2.1 Agregados miúdos

Mehta e Monteiro (2008) que “o termo agregado graúdo é utilizado para descrever partículas maiores do que 4,75 mm (retidas na peneira nº 4), e o termo agregado miúdo é utilizado para partículas com menos de 4,75 mm” (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 260).

Segundo Helene e Terzian (1993), existem características nos agregados miúdos, que influenciam diretamente no concreto. Dado que, sem um controle de qualidade quanto a dosagem destes materiais, o produto final poderá não desempenhar sua performance desejada. Helene e Terzian (1993) citam entre as principais características:

- a) Granulometria: Equivalente a composição granulométrica do material a ser utilizado, expressa em (%), ou seja, a divisão entre diferentes dimensões de agregados. Responsável direta quanto a qualidade que o concreto ira desempenhar quanto a sua resistência.
- b) Módulo de finura: Relacionado a área superficial de contato do grão, e que vem a alterar a água de molhagem presente no material. Não deve apresentar alterações, visto que está ligada ao traço do concreto.
- c) Massa unitária: Relaciona a massa total de certa amostra em volume de agregados e o mesmo volume, porém considerando-se o número de vazios presentes entre os materiais granulares do agregado.
- d) Massa específica: Obtida fazendo-se a relação entre a amostra do agregado após secagem em estufa pelo período de 24 h e a massa de água calculada.

- e) Inchamento: Definido também como teor de umidade de uma amostra de solo, representa a água presente no material após o mesmo estar saturado. O valor encontrado para o inchamento da amostra é definido pela relação entre volume final do agregado em estado úmido e o seu volume inicial em estado seco (HELENE; TERZIAN, 1993).

2.1.2.2.2 Agregados graúdos

Conforme Helene e Terzian (1993), as principais características dos agregados graúdos que influenciam nas propriedades do concreto:

- a) Dimensão máxima característica (DMC): Refere-se diretamente a trabalhabilidade do concreto em estado fresco, visto que, uma maior quantidade de maiores fragmentos acaba por ocasionar em uma má trabalhabilidade. Porém, quanto maior a partícula, mais viável economicamente será o concreto.
- b) Mistura de agregados graúdos: Consiste na mistura de agregados de diferentes dimensões, visando um menor custo do produto final. Sua execução é simples, e pode ser dimensionada através da NBR 7810 (1983), determinando-se a massa unitária dos agregados constituintes da mistura, que em geral apresenta frações de brita tipo 1 e tipo 2.

Fatores como granulometria, massa unitária e específica repetem-se quanto a utilização de agregados graúdos, sendo especificados no item 2.2.2.

2.1.2.2.3 A influência do agregado no concreto

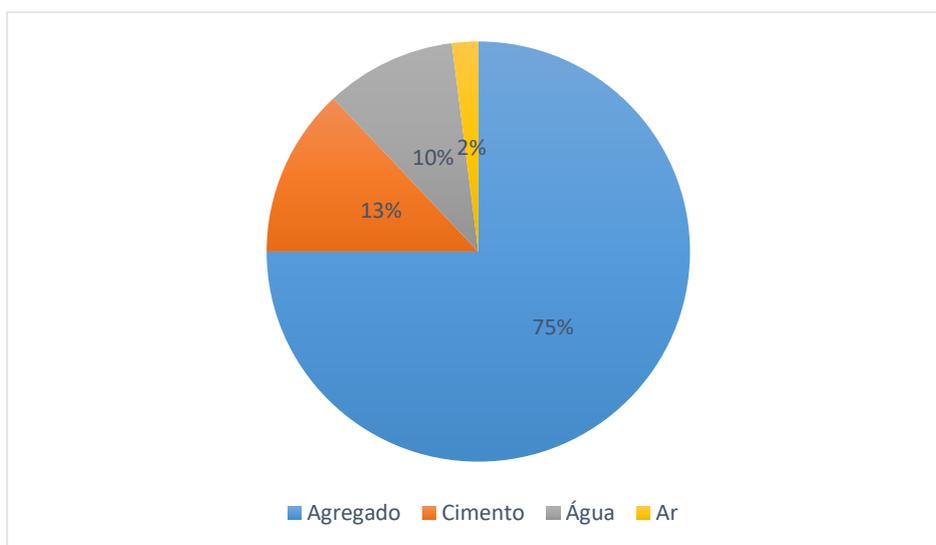
De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o conjunto de agregados ocupa volumes entre 60 e 80% do volume total do concreto (GRÁFICO 1). Dado que, os agregados são considerados materiais inertes e sem funções químicas desempenhadas na mistura, o mesmo é considerado por muitos apenas como

enchimento e redutor de custos. Entretanto, agregados quando comparados ao cimento apresentam maior resistência mecânica, além de minimizarem a retração² do concreto, evitando maiores facilidades de fissuração do concreto em estado endurecido. Também, minimizam o calor de hidratação da reação entre o cimento em contato a água.

A porosidade ou massa específica, composição granulométrica, forma e textura superficial determinam as propriedades do concreto no estado fresco. Além da porosidade, a composição mineralógica do agregado afeta sua resistência, dureza, módulo de elasticidade e sanidade que, por sua vez, influenciam várias propriedades do concreto endurecido que contenha o agregado (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p 273).

Uma correta dosagem dos materiais a serem empregados na composição do concreto é responsável pelo bom comportamento em estado fresco, e elevada resistência mecânica em seu estado endurecido (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Gráfico 1 – Composição percentual do concreto



Fonte: Adaptado em 24/04/2018 de Itambé (entre 2006 e 2018).

² A retração do concreto é uma característica referente a diminuição do volume do material pela perda de água, caracterizada por fissurações. Tais fissuras são decorrentes de espaços deixados pela água, não serem preenchidos novamente (RECENA, 2015, p.91).

2.1.2.3 Água de amassamento

Segundo Recena (2015), a água é um componente indispensável para uma boa produção do concreto, visto que é determinante para uma boa fluidez do material e também proporciona reações químicas responsáveis pela hidratação do cimento, que posteriormente terá função aglutinante em meio aos agregados. Geralmente, a quantidade de água empregada em conjunto aos materiais secos varia de 8 a 10% do volume total do concreto. Esta quantidade é responsável pela alteração do estado seco para o plástico, proporcionando melhor trabalhabilidade ao concreto quanto a sua fluidez e posteriormente quanto a sua resistência em estado endurecido. Uma vez que, a resistência mecânica do material depende diretamente da quantidade de água adicionada à mistura, menor será a resistência mecânica se acontecer a adição de água em excesso. Logo, quantidades adicionais devem ser utilizadas apenas quando realmente necessário (RECENA, 2015).

A água utilizada na composição e produção de concreto deve ser empregada visando qualidade e custos, portanto, toda água boa, é boa para produção do concreto. Entretanto, visando maiores economias, são utilizadas águas de redes públicas, poços artesianos ou captadas de córregos abertos. Logo, águas sem tratamento adequado podem não ser próprias para o uso em concreto, e necessitam de processos de controle de qualidade anteriormente a sua utilização, realizando-se também ensaios de comparação entre produtos prontos utilizando-se diferentes tipos de água, obtendo-se resultados de resistência para comparação (RECENA, 2015).

Conforme Mehta e Monteiro (2008), a água de amassamento empregada em misturas de concreto deve ser de mesma qualidade à destinada a população, visto que, a utilização de águas impróprias, que contenham impurezas, acabam por afetar diretamente no desempenho do concreto, podendo em alguns casos gerar eflorescência, uma patologia de concretos, que acaba por comprometer a armadura em concreto armado devido a corrosão.

2.1.2.4 Aditivos

De acordo com Neville e Brooks (2013), a alteração de propriedades, seja de um cimento ou de um concreto, pode ser feita utilizando-se produtos químicos definidos como aditivos, com funções de modificar certas propriedades de um material quando necessário algum efeito contrário ao do seu comportamento atual. O uso de aditivos no concreto busca reforçá-lo quando encontradas propriedades de desempenho inferiores ao desejado, e também, aprimorar características do material quanto a uma melhor execução, transporte e lançamento.

Conforme Recena (2015), se utilizados em quantidade apropriada à mudança desejada, o aditivo será benéfico ao concreto, todavia, se utilizados em demasiada quantidade, acabam por comprometer o concreto. De acordo com Neville e Brooks (2013), podem ser encontrados no mercado aditivos tais como:

- a) Aceleradores: Função de aceleração do tempo de pega e endurecimento do concreto.
- b) Retardadores de pega: Utilizados quando a etapa de concretagem é feita em datas de altas temperaturas, ocorrendo uma desaceleração do tempo de pega do concreto.
- c) Redutores de água: Utilizados para obtenção de maiores resistências tendo uma redução na relação água/cimento da mistura; redução do calor de hidratação de concreto massa; aumento da trabalhabilidade do concreto, facilitando assim, o lançamento e bombeamento no ato da concretagem para lugares de menor acessibilidade.
- d) Superplastificantes: Função de redutor de água, obtendo assim, um concreto de maior resistência.

2.2 A SUSTENTABILIDADE NA ENGENHARIA CIVIL

Conforme Silva (2009), a construção civil é responsável direta quanto a perdas incorrigíveis ao meio ambiente. A retirada de matéria-prima e insumos da natureza acaba por modificar gradativamente certas áreas, sendo tal degradação responsável por inúmeros desastres ambientais, colocando assim, a vida de seres humanos em risco. Portanto, são necessárias ações quanto a prevenção, compensação e a reutilização de materiais, auxiliando assim, na diminuição destes problemas que apresentam-se de forma crescente nas últimas décadas.

2.2.1 A extração de recursos naturais

O homem que desenvolveu-se conforme o passar dos anos, e está sujeito a acréscimos em sua capacidade, consequentes de sua evolução, procura sempre a criação e execução de novas ideias. Logo, busca em seu meio, matérias-primas que serão utilizadas na formação de novos produtos. Contudo, quanto maior o aumento da capacidade do ser humano em raciocinar, maiores serão as degradações ambientais (SILVA, 2009).

De acordo com Silva (2009), o aumento da degradação ambiental está diretamente ligado a alterações e desequilíbrios encontrados atualmente no meio ambiente. Tais impactos são prejudiciais a existência humana, e trazem consigo problemas certas vezes irreversíveis a natureza.

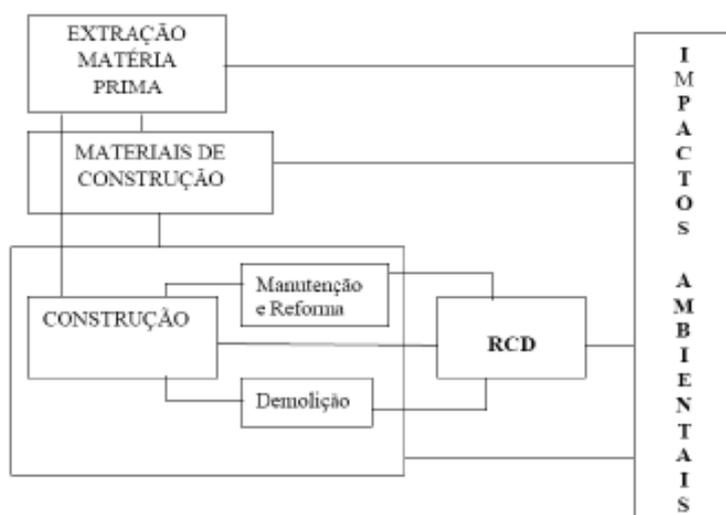
2.2.2 O impacto ambiental gerado pela construção civil

Segundo Manfrinato et al (2008), a construção civil é responsável direta quanto a degradação ambiental do planeta, sendo estimado um valor entre 20 a 50% do total

de recursos naturais a disposição na natureza, de forma a serem renováveis ou não-renováveis, extraídos para utilização em processos do meio construtivo.

São inúmeros os fatores de riscos relacionados a geração de RCD, sendo observado uma indevida separação e destinação, podendo ser visto no cotidiano diário da construção civil em caçambas em canteiros de obras e estradas, sendo depositados de forma clandestina em terrenos baldios, áreas verde, gerando assim, impactos na paisagem do local, e principalmente impactos ambientais e a saúde humana. A geração de resíduos em diferentes tipos de obras e locais acaba por impactar diretamente no custo final da obra, e também na ação irreversível de recuperação do material, dado que, o mesmo passou por processos desde sua formação até sua utilização (FIGURA 1) (KARPINSKI et al. 2008).

Figura 1 - Cadeia de processos da geração de RCD



Fonte: Karpinski et al. (2008, p. 06).

2.2.3 Resíduos oriundos da construção civil e sua geração

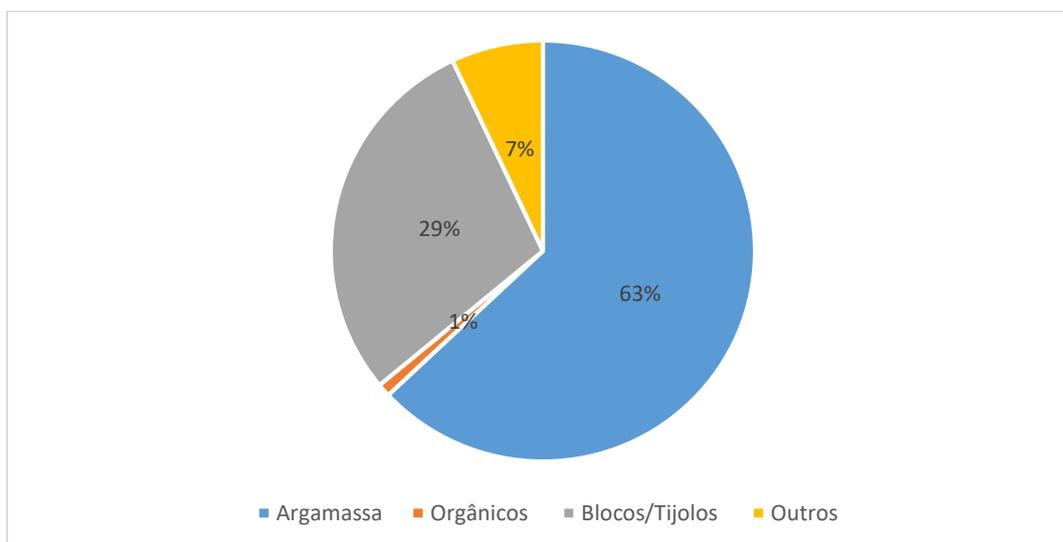
Os RCD são aqueles gerados em quaisquer obras da construção civil, aglomerando em alguns casos em volumes imensos de materiais sem função ou serventia. Os RCD podem ter sua origem em construções novas, reformas ou demolições, podendo ser encontrada uma variada gama de tipos de materiais

descartados, e que sem uma devida classificação, disposição e destinação, podem vir a acarretar em problemas ambientais (ANGULO, 2005).

De acordo com Angulo (2005), os materiais de origem mineral constituintes do concreto, blocos, tijolos e materiais de revestimentos e vedação são responsáveis por aproximadamente 90% dos RCD gerados no Brasil, sendo estimado um valor superior a 50% originados de construções. Dados sobre resíduos originados de reformas são somados aos de demolição, tendo percentagem menor do que o gerado em construções.

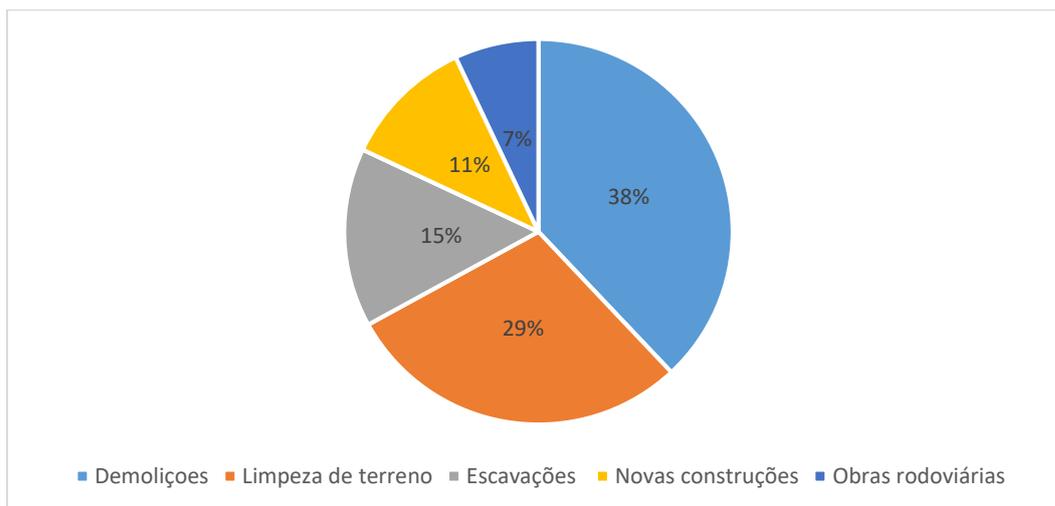
Segundo Grubba (2009), a composição dos RCD gerados em obras da construção civil no Brasil, varia de acordo com a região e seus métodos de aplicação construtivos, ou seja, o percentual dos materiais destinados ao entulho é variável. A composição média brasileira (GRÁFICO 2) é composta em sua maioria de argamassas e blocos ou tijolos de alvenaria. As principais fontes geradoras destes resíduos são ilustradas em percentual conforme Gráfico 3, visto que, a limpeza de terrenos e escavações refere-se a novas construções, ou seja, ocorre um percentual de 55%.

Gráfico 2 – Percentual médio da composição de resíduos gerados no Brasil



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Gusmão e Fucale, 2013.

Gráfico 3 – Fontes geradoras de Resíduos de construção e demolição no Brasil



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Gusmão e Fucale, 2013.

2.2.4 Destinação e classificação dos resíduos gerados na construção civil

Diante de problemas quanto a destinação correta de Resíduos da construção civil (RCC) no Brasil, e a busca por menores degradações e impactos quanto ao meio ambiente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou a Resolução de número 307, de 5 de julho de 2002. A mesma estabelece considerações quanto ao gerenciamento dos resíduos gerados em obras da construção civil no país. Segundo Resolução Conama (2002), os resíduos oriundos da construção civil devem ser classificados conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos resíduos da construção civil

I - Classe A	A classe A é dividida em a, b e c respectivamente
I - a	De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem
I - b	De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto
I - c	De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras
II – Classe B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso
III – Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação
IV – Classe D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde

Fonte: Adaptado em 03/05/2018 de Resolução CONAMA, 2002.

Para efeitos de destinação, os RCC`s devem passar por processos de triagem, sendo feita a separação dos materiais por categorias, e posteriormente seguindo conforme sua classe os determina (TABELA 4) (CONAMA, 2002).

Tabela 4 – Destinação de RCC após triagem

Classe A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros
Classe B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura
Classe C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas
Classe D	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas

Fonte: Adaptado em 03/05/2018 de Resolução CONAMA, 2002.

2.3 A RECICLAGEM DE RCD

De acordo com Ângulo e Figueiredo (2011), o novo método de reciclagem de RCD foi motivado após a 2ª Guerra Mundial na Alemanha, sendo necessários a reconstrução de cidades devastadas, com inúmeras ruínas que foram reutilizadas como RCD.

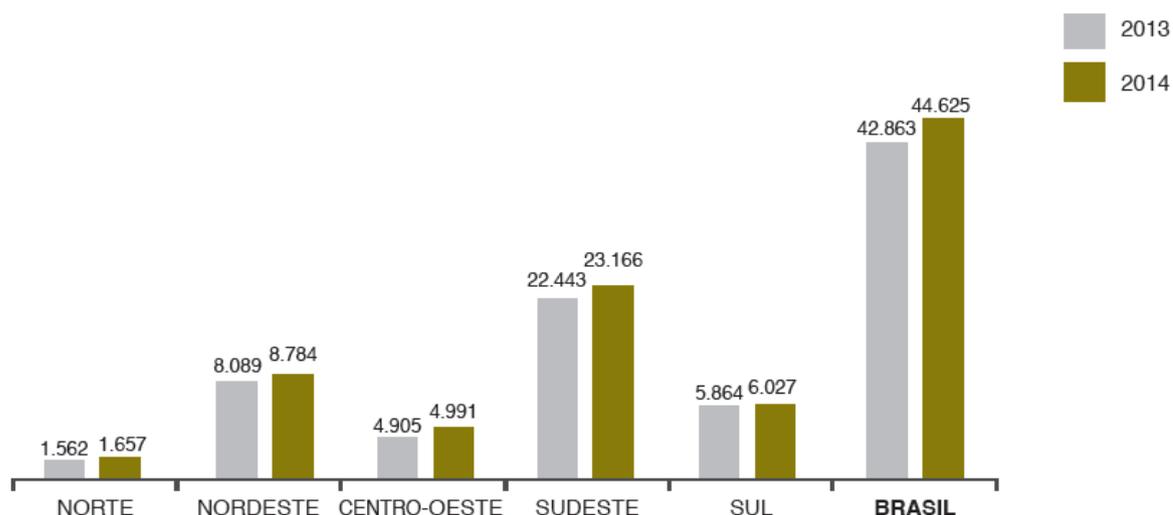
Para Silva (2009), a reciclagem pode ser entendida como um processo de recuperação e transformação de um meio rejeitado, em um novo produto, que vem a ser um material de características semelhantes ou não quanto ao estado inicial do produto. O processo é de origem industrial, e vem sendo tratado atualmente como promissor quanto a degradação ambiental causada pela construção civil.

Santos (2016) aponta que a reciclagem é vista como alternativa principal quanto a redução da quantidade originada de resíduos, trazendo consigo numerosos benefícios quanto a sustentabilidade e a economia local. Da mesma forma, Schamne, Miranda e Vogt (2016) ressaltam que a implantação de usinas destinadas diretamente ao processo de reciclagem de RCD trazem consigo inúmeros benefícios quanto ao

gerenciamento dos mesmos, com posterior inserção de um novo material no mercado, minimizando assim, problemas ligados a degradação do meio ambiente.

Dados obtidos pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) referentes ao ano de 2014 no Brasil resultaram em um valor de aproximadamente 122 toneladas por dia de resíduos oriundos da construção civil, gerando um total de 45 milhões de toneladas no ano. A região responsável pela maior geração de RCD no Brasil é a sudeste, seguida da região nordeste, sul, centro-oeste e norte. Em comparação ao ano anterior, houve uma crescente de 4,1 % da geração de resíduos (GRÁFICO 4) (SANTOS, 2016).

Gráfico 4 – Quantidade gerada de RCD nos anos de 2013 e 2014 no Brasil.



Fonte: Santos, 2016.

Conforme dados retirados da Associação Brasileira para Reciclagem de RCD (ABRECON), os processos de reciclagem atingem somente 21% de todo o RCD gerado no país, sendo utilizado apenas 45% da capacidade total de empresas existentes destinadas a reciclagem no Brasil (SANTOS, 2016).

Angulo (2005) aponta que é necessário um maior estímulo quanto a utilização de processos de reciclagem, visto que, aproximadamente apenas 25% dos RCD passam por processos de reciclagem e recuperação, e voltam a ser utilizados em obras da construção civil.

2.3.1 Centrais de reciclagem de RCD no Brasil e sua função

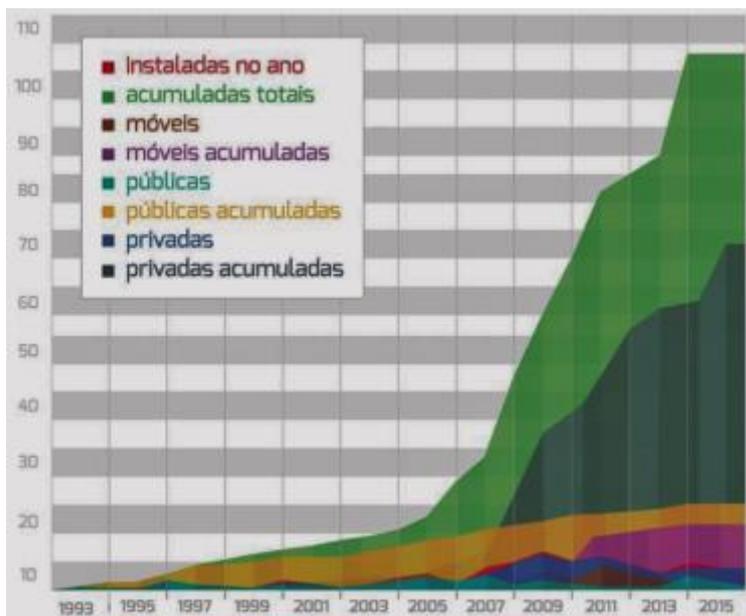
De acordo com Leite (2001), a instalação de usinas destinadas ao processo de reciclagem de RCD trazem consigo a viabilidade quanto ao processamento e geração de materiais em formato de agregado, com elevado desempenho, com preços acessíveis, e que possam vir a ser substitutos de matéria-prima natural na composição de produtos da construção civil, tais como argamassas e concretos, tendo como finalidade a diminuição da extração de recursos da natureza. Ainda, contribuem quanto a separação e destinação correta de resíduos classificados como perigosos.

Silva (2009) aponta que após a devida separação dos materiais, o conjunto destinado a reciclagem chega em diversas formas e tamanhos. O processo de reciclagem tem a função de fazer a britagem destes materiais, adquirindo fragmentos de diferentes granulometrias.

Dados apontados por Grubba (2009) informam que no ano de 2004 existiam somente 14 usinas de reciclagem em todo o país, crescendo para 16 no ano de 2007. Sendo o ano de 2004 responsável pela implantação de normas regentes ao assunto, o número presente na época era baixo quando em comparação ao número de municípios oficiais do país.

Conforme o Relatório Setorial da Abrecon (Entre 2014 e 2015), após levantamentos quanto a usinas em operação, foram constatados que até o ano de 2002 no Brasil existiam 16 usinas de reciclagem de RCD. Entretanto, após a resolução CONAMA 307 em 2002, houve crescimento quanto ao número de empreendimentos deste ramo, sendo anterior um número máximo de 3 novas usinas/ano e posterior a resolução um número de aproximadamente 9 usinas/ano. Entre os anos de 2008 e 2013 houve uma crescente quanto à novas implantações, sendo aproximado de 10,6 o número de novas usinas no país por ano. Após esta crescente, o valor mantém-se estável (GRÁFICO 5), dado que, foram constatadas e avaliadas apenas empresas de reciclagem de RCD que responderam ao questionário da ABRECON, ou seja, o número de usinas atuais tende a ser maior.

Gráfico 5 – Crescente de usinas de reciclagem de RCD no Brasil



Fonte: Abrecon, Entre 2014 e 2015.

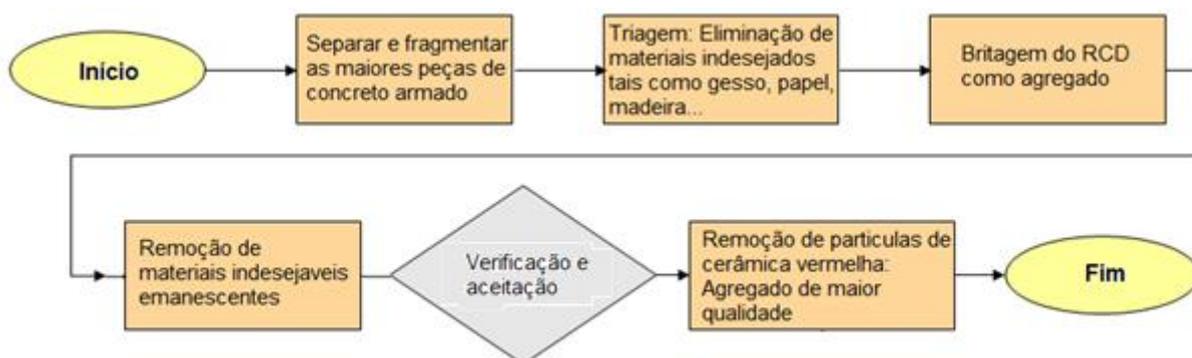
Segundo Leite (2001), o processo de inserção de uma central ou usina de reciclagem deve trazer consigo parâmetros a considerar quanto ao desempenho que a mesma irá surtir em compensação ao meio ambiente e a sociedade em geral. Sendo assim, deve ser de conhecimento da nova empresa, indicadores quanto ao volume de RCD que possa ser reciclado, tipos de materiais a serem recebidos e sua posterior destinação, e a localização da usina. Ainda, todos os equipamentos utilizados em operação ao processo de reciclagem, devem estar em bom funcionamento, boas condições, e que tenha um operador capacitado quanto ao trabalho proposto.

Para efeitos de curiosidade, dados estaduais do estado do Rio Grande do Sul indicam as cidades de Santa Rosa, Santa Maria, Canoas, Passo Fundo e São Leopoldo como portadoras de usinas de reciclagem. Entretanto, estudos mais recentes devem comprovar a existência de novas usinas em novas localidades do estado (ABRECON, entre 2014 e 2015).

2.4 PROCESSOS DE RECICLAGEM DE RCD

Segundo Angulo e Figueiredo (2011), após a coleta, e se destinados corretamente, os RCD são enviados a centrais específicas de reciclagem de resíduos da construção civil. O fluxograma a seguir (FIGURA 2) apresenta a descrição por etapas da operação de reciclagem. De forma sintética, o processo inicia com uma triagem unitária mineral, separando-se materiais indesejados tais como gesso, papel, madeira, aço (FIGURA 3) do restante do material a ser aproveitado, com posterior britagem para obtenção de fragmentos em forma de agregado.

Figura 2 - Fluxograma de operação de reciclagem de RCD em usina.



Fonte: Adaptado pelo autor com base em ANGULO; FIGUEIREDO, 2011.

Figura 3 - Exemplo de triagem visualizado em usina de reciclagem de RCD.



Fonte: Do autor, 2018.

O produto de importância na reciclagem dos RCD é o agregado oriundo da britagem de blocos e peças de concreto, que posterior a processos de britagem e separação granulométrica, podem substituir a utilização de agregados naturais em certas aplicações, contribuindo assim, para uma menor degradação ambiental. Para isso, são selecionados as maiores peças de concreto armado, com posterior retirada do aço antes do processo de passagem por esteira, britagem e separação granulométrica, formando partículas menores conhecidas como agregados (FIGURA 4). Ainda, a porção de agregados reciclados pode conter materiais cerâmicos, que não são vistos como materiais de qualidade aos agregados reciclados (AR), visto que os mesmos afetam a resistência do conjunto final de agregados (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

Karpinski, Michel, Maculan, Guimarães e Saúgo (2008) indicam que “estima que o setor de construção civil brasileiro consuma cerca de 210 milhões de toneladas por ano de agregados naturais somente para a produção de concretos e argamassas” (KARPINSKI; MICHEL; MACULAN; GUIMARÃES; SAÚGO, 2008, p. 6). Tal valor pode ser diminuído consideravelmente com a implantação de agregados reciclados.

Figura 4 - Peças de concreto para posterior processamento de britagem.



Fonte: Do autor, 2018.

2.4.1.2 Britagem do RCD

Segundo Angulo (2005), o processo de britagem ou cominuição é a etapa de redução de peças de maior seção do material, para fragmentos menores em forma de agregados. A reciclagem da porção mineral dos RCD deve passar por britagem até obter a dimensão desejada quanto a sua granulometria. O processo é de alto custo, visto que o mecanismo empregado na execução da tarefa, seja de mandíbula (compressão), ou impacto, são equipamentos robustos, que acabam por apresentar desgastes após inúmeros processos de britagem, sendo necessário a sua substituição. Materiais de formas e dimensões distintas, principalmente peças de concreto oriundas da construção civil são transportados até o britador principal, sendo estas, grandes causadoras da deteriorização do equipamento. Silva (2009), destaca que após o procedimento de britagem, o material fragmentado é separado conforme granulometria, apresentando características e dimensões distintas como pó de brita; pedriscos; britas tamanho 3,2,1,0 e areias.

De acordo com Souza et al (2016), a utilização de AR em produtos da construção civil ainda gera discordância em cenário nacional. Dado que o controle de qualidade quanto a processos de reciclagem é pouco contestado, e, sendo visível a carência quanto a equipamentos tecnológicos de alto desempenho em usinas de reciclagem em todo o país, ficam evidenciados posteriores problemas de qualidade no produto final quanto a sua pureza.

O equipamento britador é responsável direto quanto a propriedades do AR após sua fragmentação, portanto a escolha correta do equipamento e sua preservação, são fatores importantes ao produto final, garantindo a qualidade desejada no agregado e uma maior economia quanto a gastos decorrentes de mal funcionamento ou problemas mecânicos (LEITE, 2001).

2.5 O USO DO RCD COMO AGREGADO RECICLADO

Troian (2010) define o agregado reciclado como um produto heterogêneo, que contém diferentes tipos de materiais oriundo de RCD em sua composição. O mesmo se apresenta em forma granular, resultante de processos mecânicos de reciclagem, e pode vir a ser utilizado novamente em obras da construção civil, substituindo o convencional agregado natural, o que leva a mudança em propriedades importantes tais como sua durabilidade e resistência mecânica.

De acordo com Moreira e Figueiredo (2010), existe uma diversidade de mercado aos agregados naturais de características e propriedades conhecidas. Logo, mesmo com a utilização de todo o RCD como agregado reciclado, a quantia não seria o bastante para uma menor extração mineral, visto que para a utilização de AR são necessários interesses e conhecimentos ao material de reuso.

O agregado natural que antes era considerado um material inerte ao concreto, apresentando-se apenas como redutor de custos e enchimento a massa produzida, hoje, após maiores estudos quanto a sua função exercida, pode se afirmar que o mesmo é influenciador direto quanto a características específicas do concreto em estado fresco e endurecido. Logo, para a utilização de um novo material como o agregado reciclado, anteriormente a sua utilização, são necessários conhecimentos prévios quanto as propriedades apresentadas pelo mesmo, visto que o AR é composto de materiais de propriedades certas vezes desconhecidas, e que podem intervir de diversas maneiras em meio a produção de concretos. Portanto, suas características e comportamento são responsáveis em parte pelo desempenho final de um novo produto, que obtendo resultados satisfatórios, poderá comprovar a reutilização de agregados de RCD em misturas de concreto (LEITE, 2001).

2.5.1 Caracterização e propriedades dos agregados reciclados

Atualmente, a utilização de agregados de RCD destinados ao reuso em obras da construção civil é necessária, visto que a imensa porcentagem de extração de

recursos naturais são provenientes do uso da construção civil, os quais não se recuperam ou desenvolvem-se novamente no meio natural. Entretanto, em diversos casos, o processo de reciclagem é feito com a composição de diversos resíduos (FIGURA 5) tais como peças de concreto armado ou simples, argamassas e cerâmicas de revestimento, cada qual apresentando características próprias de desempenho (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

Figura 5 – Agregado reciclado disposto em Usina de Reciclagem na cidade de Arroio do Meio – RS



Fonte: Do autor, 2018.

Conforme Leite (2001), o conhecimento das propriedades destes agregados derivados de RCD faz-se necessário para um melhor dimensionamento do mesmo quanto ao seu desempenho, rompendo assim, barreiras quanto a sua utilização e reaproveitamento.

2.5.1.1 Composição granulométrica do agregado reciclado

A composição granulométrica de agregados oriundos de RCD é influenciada diretamente pelo tipo do resíduo e o processo de britagem no qual o mesmo é processado para se tornar um fragmento de menor dimensão. Tal influencia, faz com que os AR apresentem seus grãos com uma composição granulométrica mais

espessa em comparação ao agregado natural, o que resulta em um módulo de finura maior. Entretanto, a distribuição granulométrica de AR ainda não serve como parâmetro coerente a escolha dos grãos a serem reutilizados na composição de concretos, mas sim, como forma a conhecer melhor as características dos grãos, resultando em um melhor desempenho das propriedades na mistura (TROIAN, 2010).

De acordo com Leite (2001) e Santos (2016), propriedades importantes como a trabalhabilidade em estado fresco do concreto, e a resistência final em estado endurecido, são afetadas por uma má granulometria, ou seja, sem uma correta composição de frações finas e graúdas, o concreto apresentará problemas quanto a sua preparação, aplicação e posterior durabilidade e resistência mecânica.

Leite (2001), citado por Troian (2010), evidenciou curvas granulométricas contínuas de AR, ou seja, após processo de peneiramento, foram presenciados fragmentos de todas as classes, proporcionando assim melhores chances de produção de um concreto de elevada trabalhabilidade e desempenho final.

Conforme Leite (2001), o método DOE (Department of Environment), utilizado no Reino Unido para fins de dosagens de concreto, recomenda a utilização de uma fração graúda de agregados reciclados de dimensões máxima variando entre 16 e 20 mm. A indicação é vista como favorável a durabilidade final do concreto produzido com AR, em meio a manter um material de desempenho equivalente ao produzido convencionalmente. No caso da utilização de ARC para a produção de concreto reciclado, a composição granulométrica presente na mistura acaba por influenciar em sua resistência a compressão. O fato está ligado a quantidade de argamassa em união aos maiores fragmento de concreto, que acabam por apresentar uma menor aderência entre a pasta e os grãos, fragilizando o concreto.

Além de ser parâmetro importante quanto a trabalhabilidade e a resistência mecânica, a composição granulométrica acaba por influenciar em relações econômicas na dosagem e execução do concreto. Com a avaliação granulométrica é possível a obtenção de informações relevantes quanto ao módulo de finura, finos e a dimensão máxima do agregado. Em casos de frações de agregados com altos valores de módulo de finura e dimensões máximas características (D_{max}), o que ocasiona em maiores partículas, menor é o consumo de cimento e água para a lubrificação dos

grãos. Logo, se o concreto produzido não apresentar alterações quanto as propriedades em estado fresco e endurecido, resultará em menores custos de produção do material (SANTOS, 2016).

2.5.1.2 Absorção de água

Uma das principais e mais importantes características evidenciadas em agregados reciclados é a sua alta absorção de água. Ao agregado natural não se dá ampla importância a esta característica, visto que o mesmo apresenta baixa ou nenhuma porosidade (LEITE, 2001).

De acordo com Silva (2009), a alta taxa de absorção de água pelo AR é devido a composição de materiais de maior taxa de absorção de água tais como: materiais cerâmicos, argamassas e outros fragmentos de RCD. A taxa de absorção de agregados reciclados varia constantemente conforme a composição da amostra de RCD disposta a determinação de absorção, sendo encontrados maiores valores quando disponíveis percentuais elevados de materiais cerâmicos, e menores valores quando existirem maiores percentuais de teores de concreto na composição, resultando em agregados mais resistentes.

Conforme Leite (2001), a porosidade apresentada pelo agregado reciclado está ligada a parâmetros iniciais de umidade do material, e a períodos de contatos primários apenas com a água ou com a mistura de cimento e água. Em casos de contato primário a pasta de cimento, a absorção de água pelo agregado acaba por modificar a relação água/cimento presente na mistura de concreto produzida, podendo afetar em propriedades importantes. A principal forma de absorção está entre o contato direto do AR a pasta de cimento ou argamassa, sendo as propriedades dos materiais (TABELA 5) as responsáveis por delimitar a quantidade de a ser absorvida pelo agregado.

Tabela 5 – Características dos materiais x Absorção

Índice de absorção	Características presentes nos materiais
Maior absorção	Agregado mais seco, poroso, e de menor dimensão, contato primário a pasta ou argamassa. Maior fluidez da pasta ou argamassa.
Menor absorção	Agregado em contato primário apenas a água, material já saturado quando em contato a pasta ou argamassa. Absorve pouca ou nenhuma água da mistura.

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Leite, 2001, p. 92.

Aos AR de concreto, Leite (2001) afirma que são inúmeros os autores que comprovam a existência de maior facilidade de absorção em função da antiga camada de argamassa que estava em união as partículas. Também, é evidenciado que o AR de material cerâmico absorve ainda mais água, ou seja, a quantidade presente de material cerâmico em uma amostra total de AR é determinante quanto a quantidade total presente.

Conforme Lima apud Santos (2009, p. 62) “(...) a absorção de agregados reciclados de alvenaria é maior que a de ARC, devido à maior porosidade dos resíduos que o compõem (...)”. Conforme Tabela 6, é possível observar-se a diferença de absorções conforme a composição do RCD.

Tabela 6 – Absorção conforme a composição do material

Composição do RCD	Absorção de água (%)
Concreto, argamassas	3 a 8
Argamassas e fragmentos cerâmicos	6 a 11
Argamassas e tijolos cerâmicos maciços	12 a 18

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Silva, 2009, p. 63.

2.5.1.3 Massa específica e unitária

Diante dos fragmentos dos AR apresentarem elementos de alta porosidade, os mesmos apresentam uma menor massa específica e unitária quando comparados aos agregados naturais (SILVA, 2009).

A massa específica do AR apresenta valores menores do que o agregado natural devido a diferença entre suas densidades. Quanto a massa unitária, fatores como a porosidade e as dimensões irregulares do AR, com maior número de vazios, contribuem à diminuição de seu valor em comparação ao agregado natural (SANTOS, 2016).

Lovato (2007), citado por Troian (2010) ao realizar ensaios em diferentes materiais verificou um valor menor de massa unitária para AR em comparação aos agregados naturais, sendo a possível causa desta diferença, a forma do agregado e suas características granulométricas. Em massas específicas, tais diferenças variam entre valores 5 a 10% menores que o valor de massa específica de agregados naturais, sendo possível uma maior ou menor variação conforme características do AR (LEITE, 2001).

2.6 AGREGADO RECICLADO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

Para Troian (2010), existem inúmeros ganhos em relação a utilização de AR como material de construção, sendo significativamente importante sua função ambiental quanto ao menor índice de extração de matéria-prima em meios naturais, e o processo de reutilização do mesmo, não sendo necessário à disposição dos mesmos em aterros sanitários, que levam a contaminação do solo. Ainda, apresentam menores custos de produção e, se corretamente processados, desempenham ótimo papel em meio a misturas de concreto, substituindo assim, o agregado natural.

Conforme Angulo e Figueiredo (2011), o concreto é o insumo mais empregado no mundo em consideração aos materiais de construção, e tem em sua composição materiais como agregados graúdos (brita) e miúdos (areia), que não se renovam em seu meio. Portanto, a utilização de agregados oriundos de RCD se faz necessária, visto que a construção civil está em constante crescimento, e são necessários cada vez mais insumos.

2.6.1 O emprego de agregados reciclados em obras da Engenharia Civil

Grubba (2009) cita a diversidade de aplicações no ramo da engenharia civil, nas quais os AR de RCD se enquadram. Diante da falta de conhecimento e caracterização precisa quanto ao uso de RCD em concretos, os agregados reciclados costumam ser utilizados com maior frequência em pavimentações, com o emprego do AR na composição das camadas de base e sub-base; em aterros; serviços de drenagem. Entretanto, a utilização de AR na composição de concretos está crescendo, e a busca por um conhecimento maior quanto ao seu desempenho também, visto que para sua utilização, devem ser seguidas algumas recomendações quanto a análise de suas propriedades anteriormente a fazer a mudança do agregado natural pelo AR.

Para Vieira e Dal Molin (2004), a utilização de AR na construção civil ainda se encontra pequena, visto que não existe no mercado um controle tecnológico rigoroso quanto a sua correta aplicação. Logo, sua utilização em peças de concreto cresce gradativamente, sendo dimensionados com maior frequência a área de pavimentações.

2.6.2 O uso de agregados reciclados na produção de concretos

Conforme Santos (2016), a substituição do agregado natural para o AR apresenta inúmeras vantagens tais como: maiores economias na compra de insumos;

menores danos ambientais; gastos com locação de transporte e área para disposição. O atual conhecimento quanto as propriedades que um AR pode trazer consigo, aumenta a viabilidade de sua utilização em misturas de concreto, originando um produto final de elevado desempenho e menores custos.

Para Souza, Assis e Souto (2014), a utilização de agregados reciclados de RCD's vem adquirindo maior visibilidade quanto a busca e obtenção de resultados satisfatórios para posterior reutilização dos materiais. Testes laboratoriais como o de compressão, comprovam a eficiência de concretos com a utilização de AR quando em substituição ao agregado natural, obtendo em alguns casos, valores de resistência maiores que o de concretos convencionais.

A produção de concretos utilizando-se AR exige a obrigação de um rígido controle de qualidade. O conhecimento quanto as características e propriedades que este material apresenta é de suma importância, dado que o mesmo influenciará de outra forma em meio a mistura de concreto, diferente do desempenho conhecido pelo uso de agregado natural. Sendo a trabalhabilidade uma das principais características presentes no concreto em estado fresco, a mesma é alterada quando existe a utilização de AR pelo fato de o mesmo apresentar-se em formas irregulares e com elevada porosidade, ou seja, se os AR's afetarem a trabalhabilidade do concreto, necessariamente serão adicionados maiores volumes de água, o que poderá acarretar em perdas de resistência mecânica do mesmo quando em estado endurecido (LEITE, 2001).

De acordo com Santos (2016), anteriormente a produção de concretos com a substituição de agregados naturais por recicláveis, devem ser conhecidas todas as propriedades dos mesmos. Quando comparados, propriedades significantes como a porosidade, massa unitária e específica, dimensões e formas do agregado, influenciam diretamente quanto as características do concreto em seu estado fresco e endurecido, podendo ao final, ter um produto de péssima qualidade e desempenho.

O problema maior quanto a inclusão de produtos com a utilização de AR's no Brasil é a sua aceitação, visto que incluir um produto novo no mercado com RCD's em sua composição, acaba por deixar dúvidas, sendo a única solução cabível, a

demonstração de que o produto realmente desempenhará com sucesso à solicitações exercidas (VIEIRA; DAL MOLIN, 2004).

Em alguns países onde a reciclagem de resíduos de construção já está consolidada, a utilização de agregados reciclados há muito deixou de ocorrer apenas em boras de construção de rodovias. Nos países europeus, precursores da reciclagem de resíduos de construção e demolição, o concreto reciclado já está sendo utilizado em concreto armado para casas residenciais de médio padrão e portos marítimos, e até em concretos de alta resistência (VIEIRA; DAL MOLIN, 2004, p. 58).

2.7 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO

Para um melhor controle quanto as propriedades requeridas e desejadas ao concreto produzido (TABELA 7), são necessários ensaios de controle, sendo os mesmos executados em centrais ou em laboratórios especializados.

Tabela 7 – Propriedades Obtidas em ensaios de controle tecnológico do concreto

Estado	Propriedades	Função na execução
Fresco	Trabalhabilidade	Transporte e lançamento
Endurecido	Resistência, durabilidade	Funções estruturais

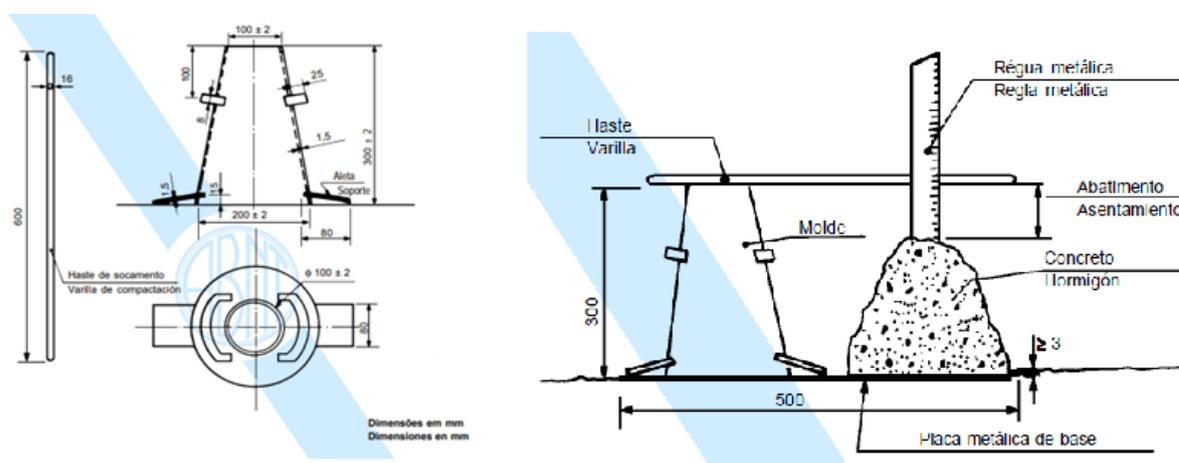
Fonte: Adaptado pelo autor com base em Neville e Brooks, 2013.

2.7.1 Ensaio em estado fresco do concreto

A trabalhabilidade do concreto é a sua principal propriedade quando em estado fresco. Tal característica é responsável quanto a sua consistência e facilidade de moldagem. Para fins de caracterizar esta propriedade, é executado o ensaio de abatimento – Slump Test, regido pela NBR NM 67/1998 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, onde é medido o assentamento do concreto fresco

O método de abatimento do tronco de cone utiliza-se de molde em forma de tronco de cone, com diâmetro inferior de 200 mm e superior de 100 mm, haste metálica, placa base de apoio. O ensaio consiste em preencher o molde respectivamente em 3 camadas, sendo cada uma preenchida até 1/3 da altura do tronco. Para cada camada são distribuídos 25 golpes, resultando em uma melhor compactação do material. Após a execução da última camada, é feita a limpeza da base superior e inferior, retirando-se o molde, e posteriormente realizando-se a medição de abatimento (NBR NM 67, 1998). Os acessórios e a medição do abatimento são ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Molde utilizado e ilustração de ensaio do abatimento



Fonte: Adaptado pelo autor com base em NBR NM 67/1998.

2.7.2 Ensaio em estado endurecido do concreto

Para fins de conhecer propriedades mecânicas como a de compressão, o ensaio responsável é regido pela NBR 5739/2007 – Ensaio de compressão dos corpos-de-prova cilíndricos, moldando-se a quantidade necessária de corpos de prova, em um recipiente cilindro de dimensões conhecidas e padronizadas (15 cm de diâmetro da base e 30 cm de altura), aguardando-se a cura dos mesmos, e os ensaiando respectivamente em 7, 14 e 28 dias de estado de cura, com a aplicação de carga de compressão por meio de aparelho específico de laboratório até o seu rompimento, resultando em dados referentes a resistência mecânica de compressão

do concreto. A resistência máxima do concreto a compressão é a obtida em ensaio ao corpo-de-prova de 28 dias, visto que após 28 dias em estado de cura, o concreto não apresenta alteração significativa em sua resistência (NBR 5739, 2007).

Ainda existe uma gama variada de ensaios para obtenção de outras propriedades específicas do concreto, entretanto, são consideradas as de maior valor as citadas anteriormente.

2.8 ESTUDOS UTILIZANDO O AGREGADO RECICLADO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

Em um estudo mais recente, Santos (2016) substituiu o convencional agregado gráudo natural, por agregados gráudos reciclados de concreto na preparação e produção de concretos reciclados. Foram utilizados e analisados dois teores (20 e 40%) do agregado gráudo reciclado de concreto quanto a ensaios de resistência a compressão, além de diversos ensaios de espalhamento pelo método de Graff (NBR NM 68, ABNT, 1998). Santos (2016) alcançou níveis satisfatórios quanto a trabalhabilidade do concreto com o uso de agregados reciclados, sem a necessidade de maiores níveis de adição de água a mistura na dosagem. Para os ensaios de resistência a compressão, os resultados obtidos com o uso de ARC em meio as duas porcentagens utilizadas na composição de concretos, e os diferentes métodos de dosagem, não apresentaram efeitos significativos. Abaixo segue a comparação de resultados obtidos conforme o método utilizado:

- a) Método IPT/EPUSP = resistência entre 44 a 24MPa, relação a/c de 0,45 a 0,65;
- b) Método da ABCP resistências entre 41 a 26MPa, relação a/c varia de 0,45 a 0,60.

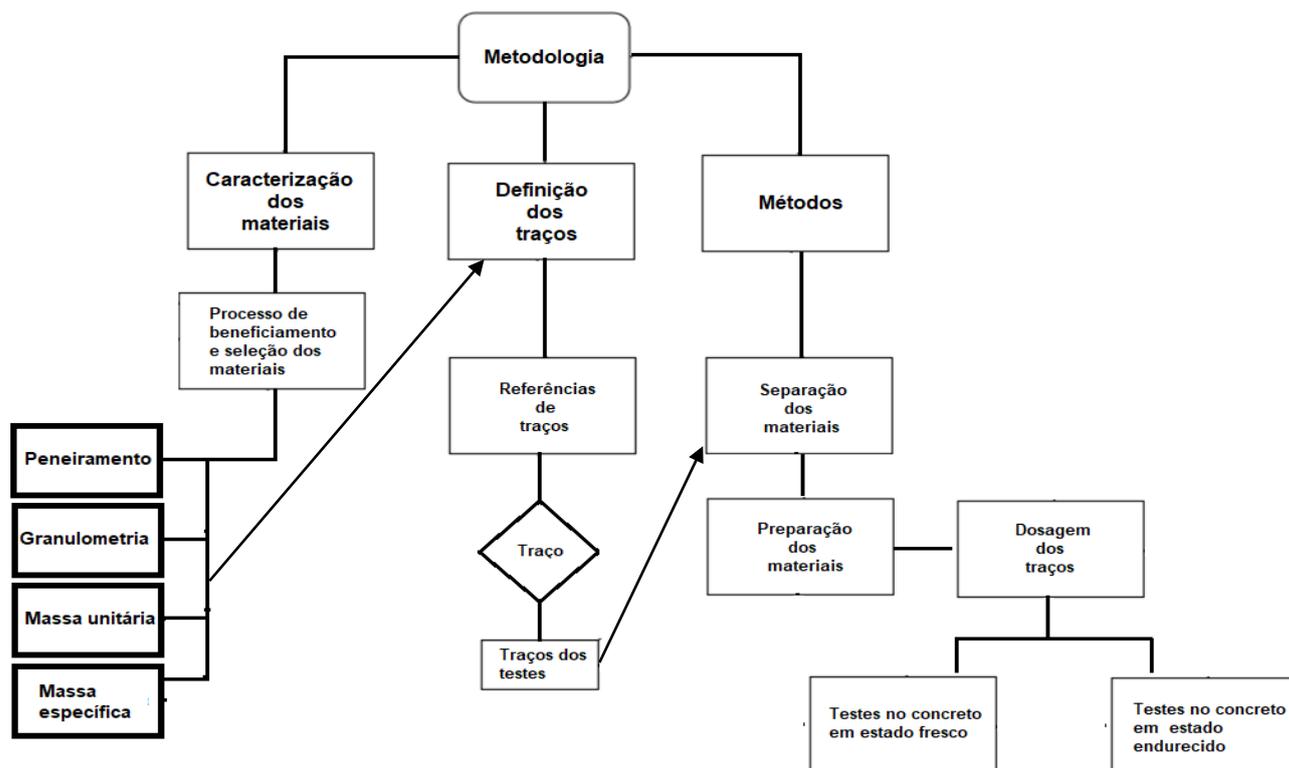
Ainda, Santos (2016) conclui que é possível obter-se concretos de alto desempenho quanto a esforços mecânicos de compressão, limitando-se a utilização da faixa de 40% de agregados gráudos reciclados.

Tratando-se de casos antigos, Gonçalves (2001) cita Frondistou e Yannas (1977) como o primeiro estudo referente a utilização de agregados reciclados. Foram utilizados resíduos de lajes de concreto para o processo de beneficiamento das peças e posterior obtenção de agregados reciclados. O diâmetro máximo apresentado pelos agregados reciclados foi de 25,4 mm. Feita a dosagem e a produção de concretos, foram executados ensaios de resistência a compressão, que em comparação ao concreto convencional, apresentaram-se com uma resistência de aproximadamente 14% menor do que o concreto de referência (convencional). Ainda, foi detalhado a principal característica observada pela presença total de agregados reciclados em substituição ao agregado natural, tendo uma diminuição considerável quanto ao módulo de elasticidade do material, visto que os agregados carregam consigo fragmentos de argamassa, o que acaba por prejudicar o material quanto a sua resistência.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A adição de agregados reciclados como material de composição ao concreto em obras da construção civil, apresenta-se de forma geral como um insumo desconhecido e de forte alusão aos problemas encontrados quando em execução e desempenho final do produto. Logo, são necessários estudos de pesquisa como este para a avaliação dos mesmos quanto a suas propriedades e desempenhos adquiridos em meio ao concreto. Sendo assim, foi criada uma metodologia que foi seguida (FIGURA 7) abrangendo características dos materiais coletados, processos de caracterização, escolha dos traços que foram utilizados, e avaliação por meio de ensaios das principais propriedades adquiridas em estado fresco e endurecido do concreto, buscando atingir os objetivos estabelecidos ao trabalho.

Figura 7 – Fluxograma de metodologia do estudo



Fonte: Do autor, 2018.

3.1 DADOS REFERENTES A COLETA E SEPARAÇÃO DOS RCD

Foram coletadas peças de concreto de cunho estrutural, oriundas de vigas, pilares e laje da demolição do modelo “mini casa” junto ao LATEC. A catação das peças de RCD para posterior produção de agregados reciclados de concreto aconteceu durante a manhã do quinto dia de janeiro do ano de 2018, sendo feita a separação de peças com o auxílio de funcionários do laboratório e da empresa responsável pela execução da demolição (FIGURA 8), obtendo assim, um material puro, constituído por apenas um meio característico, não havendo a contaminação do mesmo com outros tipos de materiais.

Também, houve a coleta de corpos de prova de concreto já ensaiados do Laboratório de Controle Tecnológico de Concreto da empresa Conpasul, que apresentaram alta resistência ao ensaio de compressão.

Após, foi feita a união de todos os materiais, formando uma amostra homogênea de agregados reciclados, que posteriormente foram caracterizadas junto ao LATEC.

Figura 8 - Demolição de protótipo de mini casa junto ao LATEC – Univates.



Fonte: Do autor, 2018.

3.1.1 Processo de beneficiamento do RCD

Após a separação da proporção final do RCD no ato da demolição e, contendo materiais de diferentes formas e tamanhos, sendo vista a dificuldade em processar os mesmos em britador simples, foi selecionada uma Usina de Reciclagem localizada na cidade de Arroio do Meio - RS, sendo a mesma responsável pelo processo de britagem das peças de concreto e a posterior separação granulométrica.

A usina conta com um sistema (FIGURA 9) composto por esteira de transporte de triagem manual, britador de mandíbula responsável pela fragmentação do material, e separador granulométrico de 4 aberturas, originando fragmentos de granulometria do tipo pedrisco, brita 1, 2 e 3.

Figura 9 – Mecanismo responsável pela triagem manual, transporte por esteiras, britagem e separação granulométrica.



Fonte: Do autor, 2018.

Aos corpos de prova de concreto selecionados foi feita a britagem junto ao LATEC com o uso do equipamento britador disponibilizado da marca Dalpan de modelo ARIETE BR2. O mesmo é do tipo mandíbula, com abertura única, sendo necessário em alguns momentos uma britagem secundária para uma melhor granulometria do material.

3.2 SELEÇÃO DOS MATERIAIS

Conforme o traço adotado à dosagem de concretos, foram necessários insumos para suas produções, sendo eles:

- a) Cimento Portland CP V ARI, marca Itambé.
- b) Agregado graúdo natural, originário de extração mineral e cedido pelo LATEC.
- c) Agregado miúdo natural médio, originário de extração e cedido pelo LATEC.
- d) Agregado miúdo (brita 0 e pedriscos) e graúdo (brita 1) reciclados, originários de processamento de britagem e granulometria.
- e) Água de amassamento: Água tratada proveniente da rede de abastecimento do LATEC.

- f) Aditivo Superplastificante de função redutora de água, modelo SUPLAST 52017 da marca RodoQuímica.

3.2.1 Ensaios de caracterização dos materiais

Conforme necessário uma melhor caracterização de propriedades dos insumos utilizados na composição do concreto, foram executados ensaios específicos visando melhor conhecimento ao material selecionado e atribuído ao estudo, para que posteriormente, o mesmo proporcionasse qualidade e desempenho ao produto final.

Todos os materiais ensaiados foram secados em estufa 24 horas antes de sua execução.

3.2.1.1 Composição granulométrica e massa específica

O ensaio da composição granulométrica de agregados graúdos e miúdos naturais e reciclados de concreto foi executado conforme descreve a NBR NM 248 (ABNT, 2001), com função a determinar a porcentagem em peso de cada fração passante em distintas aberturas das peneiras, obtendo-se ao final uma curva granulométrica responsável por distinguir os tipos de grãos compostos na amostra ensaiada.

Para a determinação da massa específica dos agregados graúdos naturais e reciclados de concreto foram seguidos os procedimentos da NBR NM 53 (ABNT, 2009). Já para os agregados miúdos naturais e reciclados de concreto foi utilizada a NBR NM 52 (ABNT, 2009).

Figura 10 – Amostra de agregados reciclados de fração graúda e miúda após ensaio.



Fonte: Do autor, 2018.

3.2.1.1.1 Composição granulométrica e massa específica dos agregados miúdos

Para a granulometria de agregados miúdos naturais e reciclados foram ensaiadas 2 amostras de 500g para cada material que totalizaram 4 amostras seguindo diretrizes impostas em norma. O Quadro 1 apresenta os dados referentes as diferentes amostras, módulos de finura e diâmetros máximos, sendo corretamente identificadas para melhor entendimento.

Quadro 1 - Dados de caracterização de agregados miúdos naturais e reciclados.

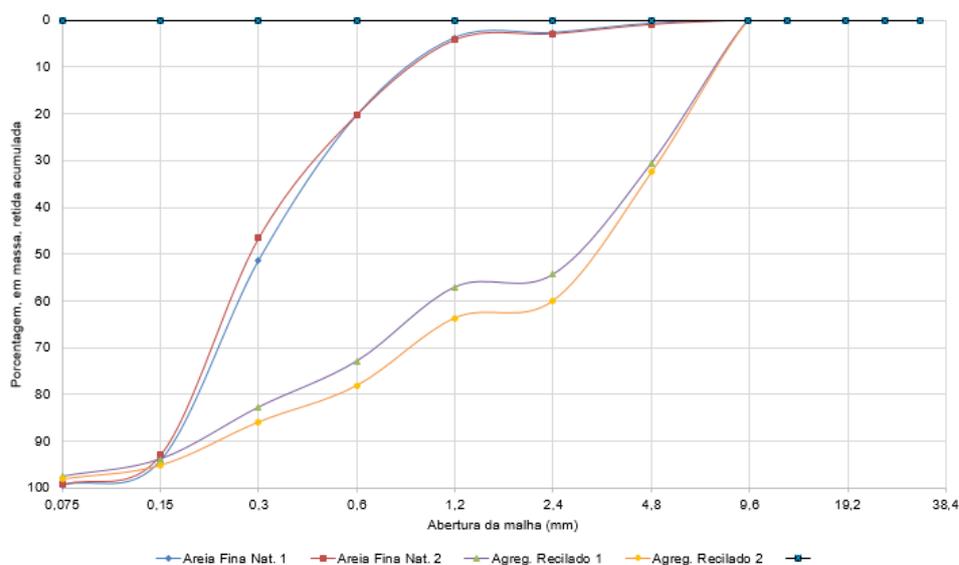
Material:	Areia Fina Nat. 1		Areia Fina Nat. 2		Agreg. Recilado 1		Agreg. Recilado 2	
	% Retido	% Acum.						
4,8	0,7	0,7	0,9	0,9	30,5	30,5	32,5	32,5
2,4	2,0	2,7	2,0	3,0	23,8	54,3	27,4	59,9
1,2	1,0	3,7	1,3	4,2	2,7	57,1	3,7	63,6
0,6	16,5	20,3	16,0	20,2	15,8	72,9	14,5	78,1
0,3	31,0	51,3	26,3	46,5	9,9	82,7	7,8	85,9
0,15	42,9	94,1	46,4	92,9	11,1	93,8	9,3	95,1
0,075	5,3	99,4	6,3	99,3	3,7	97,6	2,9	98,1
Fundo	0,6	100,0	0,7	100,0	2,4	100,0	1,9	100,0
MF	1,73		1,68		3,91		4,15	
D_{máx} (mm)	1,2		1,2		9,5		9,5	

Fonte: Do autor, 2018.

Para o ensaio de granulometria foram 4 amostras ensaiadas, sendo 2 para cada material conforme solicita a norma. As mesmas são identificadas e distintas pela sua cor em gráfico.

Diante de materiais de distintas porcentagens das frações miúdas, o ensaio apresenta a curva granulométrica dos mesmos (GRÁFICO 6), podendo observar que a curva do agregado miúdo reciclado apresenta uma maior porcentagem de retidos logo abaixo da peneira de número #4, ocasionando a presença de pedriscos, dando maior volume ao material. O ensaio não apresentou maiores variações aos resultados finais conforme solicita a norma, proporcionando curvas semelhantes para os materiais conforme sua classe.

Gráfico 6 – Curva granulométrica de agregados miúdos.



Fonte: Do autor, 2018.

Para o ensaio de massa específica de agregados miúdos foram feitos dois ensaios para cada material conforme solicita a norma, utilizando-se a Equação 1, dividindo-se o valor de massa pela diferença de volumes após a adição do solo, obtendo-se os seguintes valores:

$$\gamma = \frac{M_s}{(L-L_0)} \quad (g/cm^3) \quad (1)$$

- Agregado miúdo natural: 2,6455 g/cm³ e 2,634 g/cm³, utilizando-se a média equivalente a 2,64 g/cm³. Valores não deferem 0,05 conforme norma.
- Agregado miúdo reciclado: 2,571 g/cm³ e 2,524 g/cm³, utilizando-se a média equivalente 2,548 g/cm³. Valores não deferem 0,05 conforme norma.

3.2.1.1.2 Composição granulométrica e massa específica dos agregados graúdos

Para a caracterização de agregados graúdos naturais e reciclados de concreto foram executados ensaio de granulometria e ensaio de massa específica. O quadro 2 apresenta os dados de ambas amostras ensaiadas, módulos de finura e diâmetros máximos para a determinação da curva granulométrica dos materiais.

Quadro 2 - Dados de caracterização de agregados graúdos naturais e reciclados

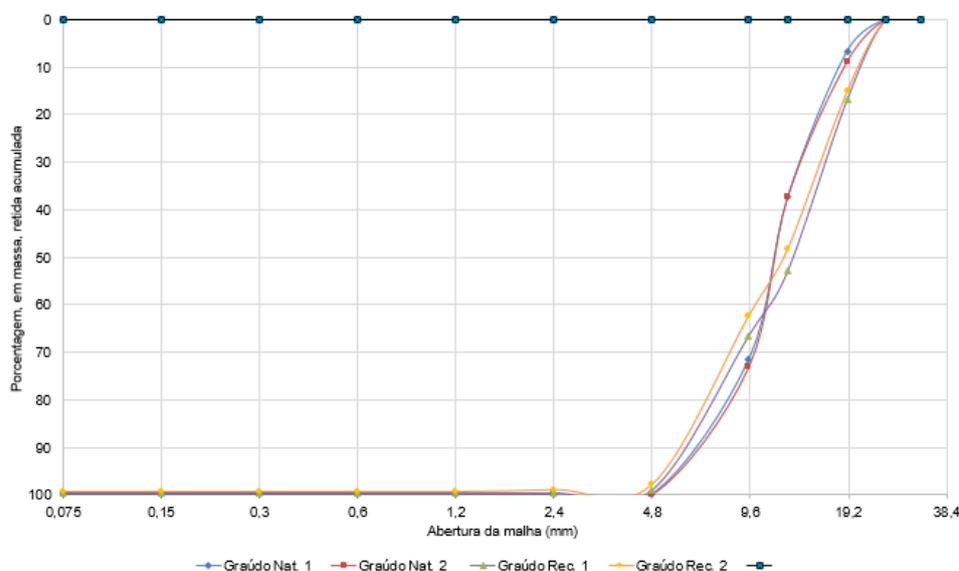
Material:	Graúdo Nat. 1		Graúdo Nat. 2		Graúdo Rec. 1		Graúdo Rec. 2	
	% Retido	% Acum.	% Retido	% Acum.	% Retido	% Acum.	% Retido	% Acum.
32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	6,7	6,7	8,9	8,9	16,9	16,9	15,1	15,1
12,5	30,6	37,3	28,3	37,2	36,0	52,9	33,1	48,2
9,5	34,1	71,4	35,8	73,0	13,6	66,5	14,1	62,2
4,8	28,3	99,7	26,8	99,8	32,5	98,9	35,6	97,8
2,4	0,2	99,9	0,1	99,9	0,6	99,6	1,1	98,9
1,2	0,0	99,9	0,0	99,9	0,0	99,6	0,4	99,3
Fundo	0,1	100,0	0,1	100,0	0,4	100,0	0,7	100,0
MF	6,77		6,81		6,80		6,71	
D_{máx} (mm)	19,0		19,0		19,0		19,0	

Fonte: Do autor, 2018.

Para o ensaio de granulometria foram 4 amostras ensaiadas, sendo 2 para cada material conforme solicita a norma. As mesmas são identificadas e distintas pela sua cor em gráfico.

O Gráfico 7 apresenta a curva granulométrica de cada amostra, apresentando ambas frações graúdas com curvas, módulos de finura e diâmetros máximos de agregados semelhantes.

Gráfico 7 – Curva granulométrica de agregados graúdos



Fonte: Do autor, 2018.

Para o ensaio de massa específica de agregados graúdos foram feitos dois ensaios para cada material conforme solicita a norma, utilizando-se a Equação 2, dividindo-se o valor de massa de agregado seca pela diferença de massa de agregado saturado superfície seca e massa de agregado submerso, obtendo-se os seguintes valores médios:

$$d = \frac{M}{(M_s - M_a)} \quad (g/cm^3) \quad (2)$$

- Agregado graúdo natural: 2,83 g/cm³, com valores não deferindo em 0,05 conforme norma,
- Agregado graúdo reciclado: 2,48 g/cm³, com valores não deferindo em 0,05 conforme norma.

3.2.1.1.3 Massa específica do cimento

Diante da divergência entre valores encontrados e buscando uma maior precisão ao valor a ser adotado para a massa específica do Cimento CP V ARI de marca Itambé, foi entrado em contato com a empresa responsável pela produção do

material e solicitado o seu valor, obtendo-se a planilha de caracterização do material, tendo seu valor atual de massa específica em $3,09 \text{ g/cm}^3$ para o Cimento Portland citado.

3.3 TRAÇO EMPREGADO A DOSAGEM DE CONCRETOS

O traço utilizado em todas as dosagem, seja de concretos convencionais ou modificados com a substituição do agregado natural pelo reciclado de concreto foi em referência ao estudo feito por Gonçalves (2001).

Cimento : areia : brita : água/cimento

1 : 1,4 : 2,4 : $a/c = 0,41$

3.3.1 Definição do consumo de insumos

O método utilizado para as diferentes dosagens de concretos é o da associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), mantendo-se a relação água/cimento fixa e fazendo a correção quanto a trabalhabilidade do material por meio do uso de aditivo.

Diante da existência do traço, a proporção e o consumo de materiais para cada dosagem foi feita em massa, obtendo-se inicialmente o consumo de cimento por meio da Equação 3.

$$C_c = \frac{1000}{\frac{1}{\delta c} + \frac{a}{\delta a} + \frac{b}{\delta b} + x} \quad (3)$$

O consumo de cimento (C_c) em kg encontrado equivale a quantidade para 1 m^3 de concreto ou 1000 dm^3 ($1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$). Os parâmetros δc , δa e δb são as massas específicas do cimento, areia e da brita. Os valores 1 : a : b e x são referentes ao traço do concreto em massa.

Para a determinação do restante dos insumos foi feita a multiplicação do valor do traço em massa pelo consumo de cimento. O consumo de areia (Equação 4), consumo de brita (Equação 5) e o consumo de água (Equação 6) para cada dosagem foram definidos conforme equações:

$$Ca = a . Cc \quad (4)$$

$$Cb = b . Cc \quad (5)$$

$$C_{h2o} = x . Cc \quad (6)$$

3.3.2 Definição de dosagens de concretos referências e reciclados

Seguindo princípios de Gonçalves (2001), foram adotadas diferentes porcentagens na composição da fração miúda e graúda de agregados do tipo natural ou reciclado, em diferentes dosagens para uma melhor análise sobre a influência que o ARC desempenha em conjunto ao restante dos insumos necessários a dosagem de concreto.

O Quadro 3 apresenta a composição de agregados para as diferentes dosagens executadas, que de forma equivalente a dosagens feitas por Gonçalves (2001), resultaram em uma comparação quanto à propriedades do concreto apresentadas nos resultados do estudo.

Ainda, foram adicionadas dosagens adicionais ao concreto referência visto que o autor comparou o concreto modificado com o uso de aditivo ao seu referência sem o uso de aditivo. Logo, foram adicionadas dosagens de referência com o uso de aditivo com e sem a correção da relação a/c para uma melhor análise final em relação ao concreto modificado.

Diante da execução de Gonçalves (2001), o mesmo após executar seu primeiro concreto modificado observa a necessidade da adição de aditivo, visto que, utilizando agregados reciclados, a absorção de água de amassamento é maior em comparação ao agregado natural. Logo, propõe a adição de 1% de aditivo do tipo superplastificante

em cima da massa de cimento utilizada na dosagem, proporcionando melhor trabalhabilidade ao material. Ao presente estudo, em ambas as dosagens conforme apresenta o Quadro 3 foram preparados 1% do produto em concordância ao que propõe Gonçalves (2001).

Quadro 3 – Dosagens conforme composição de agregados

Dosagem	Aditivo e composição de agregados
1 Concreto Referência (Sem aditivo)	Agregado miúdo = 100 % areia natural Agregado graúdo = 100 % brita 1
2 Concreto Referência (Com aditivo e correção na água)	Agregado miúdo = 100 % areia natural Agregado graúdo = 100 % brita 1 Aditivo = 1 % superplastificante
3 Concreto Referência (Com aditivo e sem correção na água)	Agregado miúdo = 100 % areia natural Agregado graúdo = 100 % brita 1 Aditivo = 1 % superplastificante
4 Concreto Reciclado	Agregado miúdo = 100 % areia natural Agregado graúdo = 50 % brita 1 e 50 % RCD Aditivo = 1 % superplastificante
5 Concreto Reciclado	Agregado miúdo = 100 % areia natural Agregado graúdo = 100 % RCD Aditivo = 1 % superplastificante
6 Concreto Reciclado	Agregado miúdo = 50 % areia natural e 50 % RCD Agregado graúdo = 50 % areia natural e 50 % RCD Aditivo = 1 % superplastificante
7 Concreto Reciclado	Agregado miúdo = 50 % areia natural e 50 % RCD Agregado graúdo = 100 % RCD Aditivo = 1 % superplastificante

Fonte: Do autor, 2018.

Foi definido o total de moldagem de 126 corpos de prova para as 7 dosagens. Sendo 18 por dosagem, com 5 corpos de prova para cada respectiva idade de 7,14 e

28 dias de cura, e os 3 cp's restantes destinados ao ensaio de capilaridade, onde foi visualizada a absorção de água do concreto.

3.3.2.1 Traços de concreto referência

O concreto de referência é o produto constituído de sua composição natural, sendo necessário como base ao comparativo final entre a produção de concretos modificados com agregados reciclados em substituição aos naturais.

A execução de 3 traços de referência foi determinada após a primeira dosagem do material apresentar mal comportamento em sua trabalhabilidade, visto que o mesmo apresenta baixa relação a/c, evidenciado o mesmo fato por Gonçalves (2001).

De fato, com o andamento do estudo foi determinado um valor ideal de abatimento a ser buscado de 12 +- 2 cm em ambas as dosagens, o que resultaria em um concreto de função estrutural e com lançamento convencional. Sendo assim, a adição de outras 2 dosagens com o uso de aditivo foi feita para uma melhor análise quanto aos concretos modificados que também se utilizaram do aditivo para aprimorarem sua característica em estado fresco.

Para a determinação do consumo de insumos de cada traço de referência utilizou-se a equação 3 e respectivamente a equação 4,5 e 6 conforme explicado junto ao item 3.3.2. Como foram utilizados corpos de prova de dimensões de 20 cm de altura x 10 cm de diâmetro equivalente a um volume de 1,57 cm³, foi utilizado seu volume em substituição ao valor de 1000 na equação.

O Quadro 4 apresenta o consumo de insumos para cada traço de referência, sendo os valores determinados e multiplicados para a moldagem de 18 corpos de prova. Diante da perda de material em meio à execução do concreto, foram adicionadas porcentagens em massa como por exemplo a dosagem para 20 ou 21 corpos de prova, sendo considerada medida de precaução ao cumprimento da moldagem definida.

Quadro 4 – Consumo de insumos para os traços de referência

$C_c = \frac{1,57}{\frac{1}{3,09} + \frac{1,4}{2,64} + \frac{2,4}{2,83} + 0,41}$					
Traço	Cimento (Kg)	Agreg. Miúdo (Kg)	Agreg. Graúdo (Kg)	Água (l)	Aditivo (ml)
Referência 1	14,86	20,804	35,664	6,09	-
Referência 2	11,90	20,804	35,664	4,88	119,00
Referência 3	15,603	21,844	37,45	6,397	156,03

Fonte: Do autor, 2018.

As divergências observadas no quantitativo de cada dosagem foram comentadas na análise de resultados do estudo, apontando diferentes características anteriormente a cada execução.

Todos os materiais foram pesados e levados para a área de concretagem do LATEC. A execução de ambas as dosagens iniciou com a imprimação da betoneira (sujar a betoneira) com um traço pobre composto de pequenas quantidades de cada insumo.

Após a retirada do material, a dosagem iniciou com a adição de todo o volume de agregado graúdo, seguido de 1/3 da água de amassamento. Ligou-se a betoneira e adicionou-se o cimento com posterior adição de mais 1/3 da massa de água e ligou-se a betoneira até que o material proporcionasse uma mistura homogênea, para assim adicionar o volume de agregado miúdo e o restante da água ao caso da não utilização de aditivo. Para os casos do uso de aditivo, o mesmo é adicionado após a colocação de todos os insumos. Foi seguida a recomendação de estocagem de pequena quantidade de água para retirar o aditivo restante do copo após sua adição.

Ao término do período de tempo necessário a mistura se tornar homogênea, com o auxílio de colher de pedreiro foi feita a inspeção quanto ao aspecto do material. Após foi feita a execução do ensaio de *slump test* seguindo procedimentos conforme prescreve a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Posteriormente ao ensaio foi feita a moldagem dos corpos de prova seguindo procedimentos da NBR 5738 (ABNT, 2015), onde todos aguardaram sua cura pelo período de 24 horas para após serem dispostos na câmara úmida e aguardarem até

o seu respectivo dia de ensaio de compressão axial, executados com o auxílio de laboratoristas do local em conformidade a NBR 5739 (ABNT, 2007). Todas as dosagens de concreto reciclado executadas seguiram os mesmos procedimentos prescritos ao concreto referência.

3.3.2.2 Traços de concreto reciclado

Executados analogamente aos traços de referência, foram feitas 4 dosagens de concretos reciclados com a utilização de ARC em diferentes porcentagens das frações miúdas e graúdas, em conjunto ou não à agregados naturais. Por se tratar de um material de natureza diferente ao do convencional agregado utilizado, foram encontradas dificuldades em meio a dosagem visto que são necessárias maiores adições de aditivo, sendo utilizado o de tipo superplastificante, onde a adição de quaisquer porções desnecessárias acaba por inutilizar o concreto.

Quadro 5 – Consumo de insumos para os traços modificados

$C_c = \frac{1,57}{\frac{1}{3,09} + \frac{1,4}{\delta a} + \frac{2,4}{\delta b} + 0,41}$					
Traço	Cimento (Kg)	Agreg. Miúdo (Kg)	Agreg. Graúdo (Kg)	Água (l)	Aditivo (ml)
Reciclado 1	15,183	21,256	36,439	6,2250	151,83
Reciclado 2	14,07	19,70	33,770	5,77	140,7
Reciclado 3	15,114	21,160	36,272	6,197	151,14
Reciclado 4	14,00	19,60	33,60	5,74	140,00

Fonte: Do autor, 2018.

Diferente da equação de consumo do cimento do concreto de referência, onde todos os parâmetros de massa específica eram iguais para todos os cálculos por apresentarem apenas materiais naturais e de valores fixos, para o concreto reciclado foi necessário o cálculo dos parâmetros δa e δb da equação em conformidade a porcentagem de agregados miúdos e graúdos reciclados de cada dosagem, tendo valores máximos de 50% de materiais distintos em dosagens.

Todas as dosagens foram executadas igualmente ao descrito no item anterior, sendo feita a execução do ensaio de *slump test* de norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), a moldagem dos corpos de prova de NBR 5738 (ABNT, 2015), seguidos do período de 24 horas necessários a cura em temperatura ambiente, para após serem dispostos na câmara úmida e aguardarem até o seu respectivo dia de ensaio de compressão axial, executados com o auxílio de laboratoristas do local em conformidade a NBR 5739 (ABNT, 2007).

4 ANÁLISES E RESULTADOS

Conforme citado, foram executadas diferentes dosagens para concretos de referência e reciclados, sendo apresentados neste capítulo análises quanto a diferentes propriedades ensaiadas em estado fresco e endurecido.

4.1 Concreto referência (Dosagem 1)

a) Concreto em estado fresco

A primeira dosagem de referência apresentando apenas insumos naturais e sem qualquer adição de aditivo apresentou um material relativamente seco em consentimento a sua baixa relação a/c. Em betoneira a mistura apresentou trabalhabilidade, com prevalência maior de graúdos, sendo um concreto pesado.

Para relatar características do concreto em seu estado fresco foi utilizada a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), apresentando abatimento do tronco de cone de 40 mm (FIGURA 11), com pouca trabalhabilidade e baixo teor de argamassa, quase inviabilizando a execução do ensaio.

Figura 11 – Ensaio de abatimento do tronco de cone para a dosagem 1.



Fonte: Do autor, 2018.

Posteriormente foram moldados 18 corpos de prova para os ensaios em estado endurecido do concreto.

b) Concreto em estado endurecido

Ao concreto em estado endurecido foram utilizadas as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) para a compressão axial e a NBR 9779 (ABNT, 2012) para a absorção por capilaridade dos corpos de prova de concreto (FIGURA 12).

Figura 12 – Execução do ensaio de capilaridade em corpos de prova de concreto.



Fonte: Do autor, 2018.

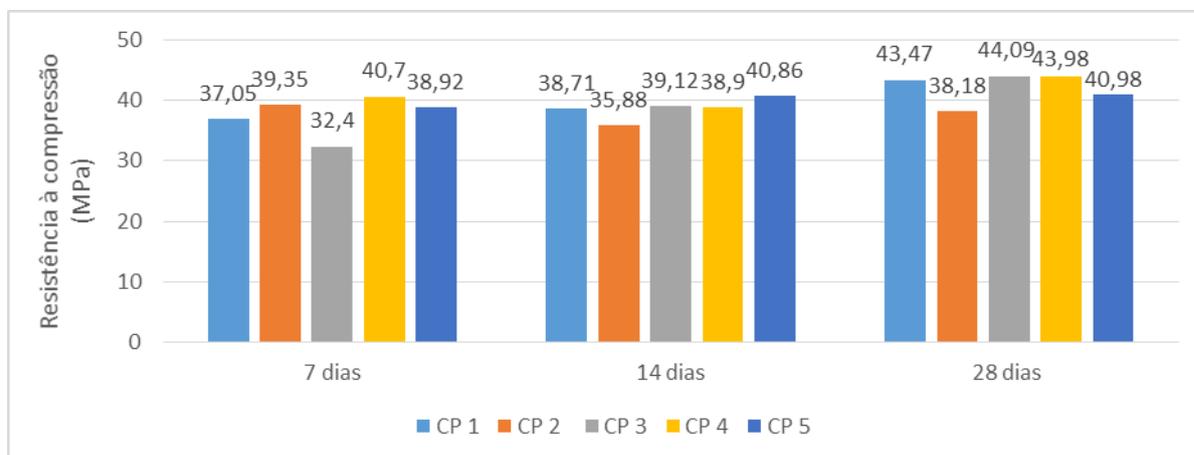
Para o ensaio de resistência à compressão foram utilizados 5 corpos de prova de 10 por 20 cm para 7,14 e 28 dias de cura, os resultados são apresentados no Quadro 6 e no Gráfico 8

Quadro 6 – Resistência à compressão da dosagem 1.

Data (dias)	C.P	Área (mm ²)	Carga de ruptura (Kgf)	Resistência à compressão (Mpa)
7	1	7853.98	29671,73	37,05
7	2	7853.98	31512,17	39,35
7	3	7853.98	25947,64	32,40
7	4	7853.98	32592,25	40,70
7	5	7853.98	30564,33	38,92
Média			30057,62	37,68
Desvio Padrão			2541,54	3,23
14	1	7853.98	31002,38	38,71
14	2	7853.98	28738,55	35,88
14	3	7853.98	31330,72	39,12
14	4	7853.98	31157,91	38,90
14	5	7853.98	32721,86	40,86
Média			30990,00	38,69
Desvio Padrão			1433	1,789
28	1	7853.98	34812,88	43,47
28	2	7853.98	30578,99	38,18
28	3	7853.98	35314,02	44,09
28	4	7853.98	35218,98	43,98
28	5	7853.98	32816,90	40,98
Média			33748,354	42,14
Desvio Padrão			2040,817	2,55

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 8 – Potencial de resistência à compressão do concreto referência 1.



Fonte: Do autor, 2018.

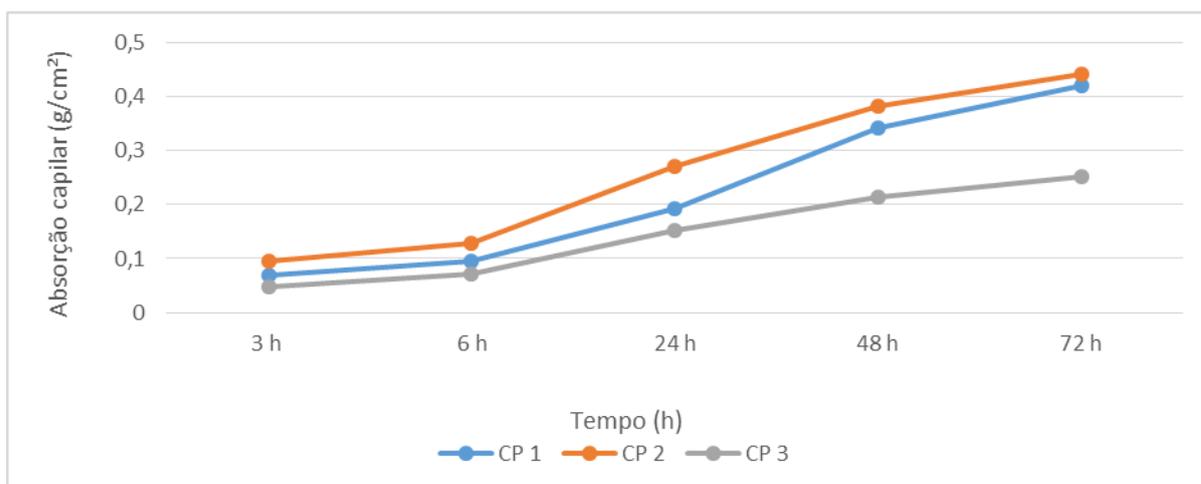
Para o ensaio de capilaridade foram utilizados 3 corpos de prova conforme descrito em norma, de 28 dias de cura cada. O ensaio é executado em um período de 72 h, com medições em diferentes horários, resultando na absorção do corpo de prova conforme apresentada no Quadro 7 e no Gráfico 9.

Quadro 7 – Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 1.

C.P	Capilaridade 3 h (g/cm ²)	Capilaridade 6 h (g/cm ²)	Capilaridade 24 h (g/cm ²)	Capilaridade 48 h (g/cm ²)	Capilaridade 72 h (g/cm ²)	Altura de capilaridade (cm)
1	0,0701	0,0956	0,1922	0,3415	0,4202	2,2
2	0,0942	0,1288	0,2713	0,3812	0,4421	1,6
3	0,0472	0,0723	0,1519	0,2147	0,2522	1,7

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 9 – Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 1.



Fonte: Do autor, 2018.

Figura 13 – Medição da altura de capilaridade no corpo de prova



Fonte: Do autor, 2018.

4.2 Concreto referência (Dosagem 2)

Diferente de Gonçalves (2001) que utilizou apenas uma dosagem de concreto de referência sem o uso de aditivo, foram adicionados novos traços ao concreto de referência fazendo o uso de aditivo para uma melhor análise ao concreto reciclado.

Houveram questionamentos a respeito do uso do Aditivo Superplastificante, visto que conforme a NBR 11768 (ABNT, 2011), o mesmo apresenta redução de água mínima de 20%. Sendo assim, para a primeira dosagem de referência com o uso de aditivo foi feita sua correção na água (-20%), entretanto, não alterando sua relação a/c que deve ser mantida fixa conforme determina o método de dosagem utilizado. Ou seja, foi feita a correção do valor da água em concordância à correção do valor de cimento para que ao final o traço apresentasse relação a/c fixa de 0,41.

a) Concreto em estado fresco

O concreto apresentou-se semelhante a primeira dosagem anteriormente a adição do aditivo, com baixa trabalhabilidade e condições secas. Após o término do

procedimento inicial na betoneira com insumos naturais, foi feita a adição do Aditivo Superplastificante, sendo o mesmo separado em pequenas amostras de 0,1% de 1% da amostra total para que não ocorressem eventuais falhas na dosagem e a inutilização do concreto.

Diferente do procedimento adotado por Gonçalves (2001), onde o mesmo utilizou em seus traços o total de aditivo pesado a dosagem, ao estudo optou-se pela procura de um abatimento ideal como citado anteriormente. Logo, utilizando-se um material diferente do que o autor referência utilizou, a dosagem do Aditivo Superplastificante foi feita cuidadosamente até a obtenção de resultados propostos.

Conforme o Quadro 8, é possível visualizar que não foi necessária a utilização total do aditivo pesado para a dosagem para que o seu abatimento alcançasse o valor de 140 mm, o qual se enquadra no valor proposto ao estudo de 120 +- 20 mm.

Quadro 8 – Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.

Aditivo utilizado em %	Aditivo utilizado em ml	Abatimento (mm)
30% de 1,0%	35,7ml de 119 ml	140 mm

Fonte: Do autor, 2018.

b) Concreto em estado endurecido

Ao concreto em estado endurecido foram utilizadas as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) para a compressão axial e a NBR 9779 (ABNT, 2012) para a absorção por capilaridade dos corpos de prova de concreto.

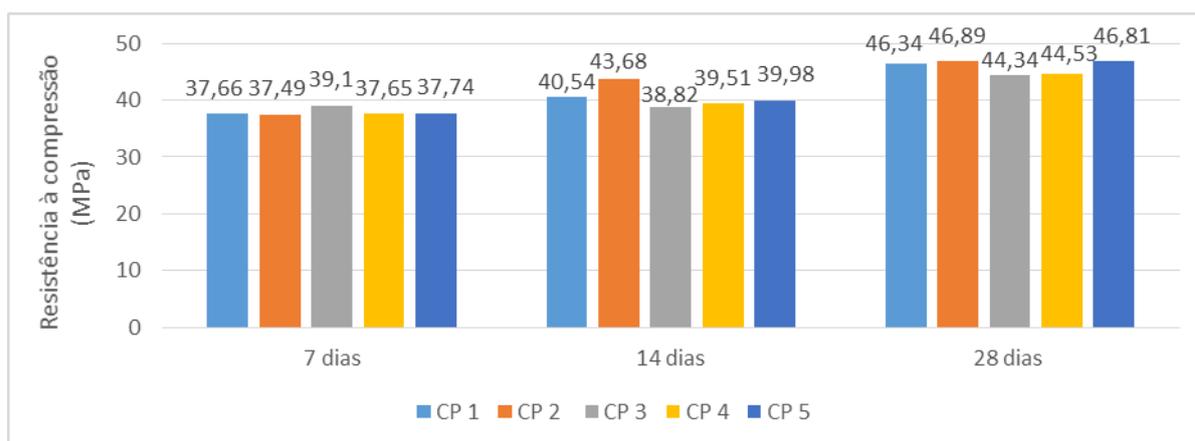
Para o ensaio de resistência à compressão foram utilizados 5 corpos de prova de 10 por 20 cm para 7,14 e 28 dias de cura, os resultados são apresentados no Quadro 9 e no Gráfico 10.

Quadro 9 – Resistência à compressão da dosagem 2.

Data (dias)	C.P	Área (mm ²)	Carga de ruptura (Kgf)	Resistência à compressão (Mpa)
7	1	7853.98	30164,24	37,66
7	2	7853.98	30026,00	37,49
7	3	7853.98	31313,44	39,10
7	4	7853.98	30155,60	37,65
7	5	7853.98	30218,43	37,74
Média			30375,54	37,93
Desvio Padrão			529,04	0,66
14	1	7853.98	32471,28	40,54
14	2	7853.98	34985,68	43,68
14	3	7853.98	31088,79	38,82
14	4	7853.98	31641,78	39,51
14	5	7853.98	32012,45	39,98
Média			32440,00	40,51
Desvio Padrão			1510,56	1,88
28	1	7853.98	37111,27	46,34
28	2	7853.98	37551,93	46,89
28	3	7853.98	35512,76	44,34
28	4	7853.98	35659,65	44,53
28	5	7853.98	37491,45	46,81
Média			36665,41	45,78
Desvio Padrão			1000,9	1,25

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 10 – Potencial de resistência à compressão do concreto referência 2.



Fonte: Do autor, 2018.

Para o ensaio de capilaridade foram utilizados 3 corpos de prova conforme descrito em norma, de 28 dias de cura cada. O ensaio é executado em um período de

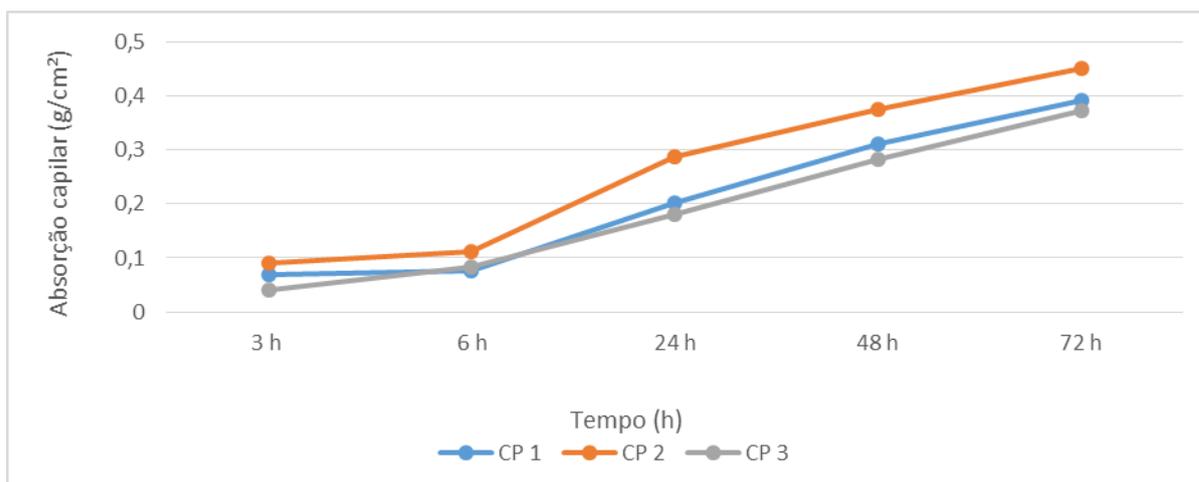
72 h, com medições em diferentes horários, resultando na absorção do corpo de prova conforme apresentada no Quadro 10 e no Gráfico 11.

Quadro 10 – Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 2.

C.P	Capilaridade 3 h (g/cm ²)	Capilaridade 6 h (g/cm ²)	Capilaridade 24 h (g/cm ²)	Capilaridade 48 h (g/cm ²)	Capilaridade 72 h (g/cm ²)	Altura de capilaridade (cm)
1	0,0682	0,0751	0,2015	0,3105	0,3911	2,0
2	0,0894	0,1108	0,2875	0,3745	0,4511	1,4
3	0,0398	0,0844	0,1815	0,2817	0,3726	1,1

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 11 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 2.



Fonte: Do autor, 2018.

4.3 Concreto referência (Dosagem 3)

a) Concreto em estado fresco

Conforme descrito anteriormente, a terceira dosagem do concreto de referência foi feita de forma contrária a dosagem 2, sem a correção da água e com a correção do abatimento com o uso aditivo do Aditivo Superplastificante, sendo pesado 1% do produto sobre a massa do cimento de forma análoga a todas as dosagens que utilizarão o Aditivo.

Para a dosagem foram separadas pequenas quantidades do aditivo, sendo o material sem a adição do produto incapaz de gerar trabalhabilidade. O Quadro 11 apresenta o quantitativo total de uso do Aditivo Superplastificante para obter-se o valor de abatimento desejado.

Quadro 11 - Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.

Aditivo utilizado em %	Aditivo utilizado em ml	Abatimento (mm)
30% de 1,0%	46,81 ml de 156,03 ml	135 mm

Fonte: Do autor, 2018.

A pequena porcentagem utilizada refere-se à quantidade de água que não foi corrigida, logo, em comparação a dosagem 2, foi utilizado metade do Aditivo pesado para a dosagem.

b) Concreto em estado endurecido

Ao concreto em estado endurecido foram utilizadas as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) para a compressão axial e a NBR 9779 (ABNT, 2012) para a absorção por capilaridade dos corpos de prova de concreto.

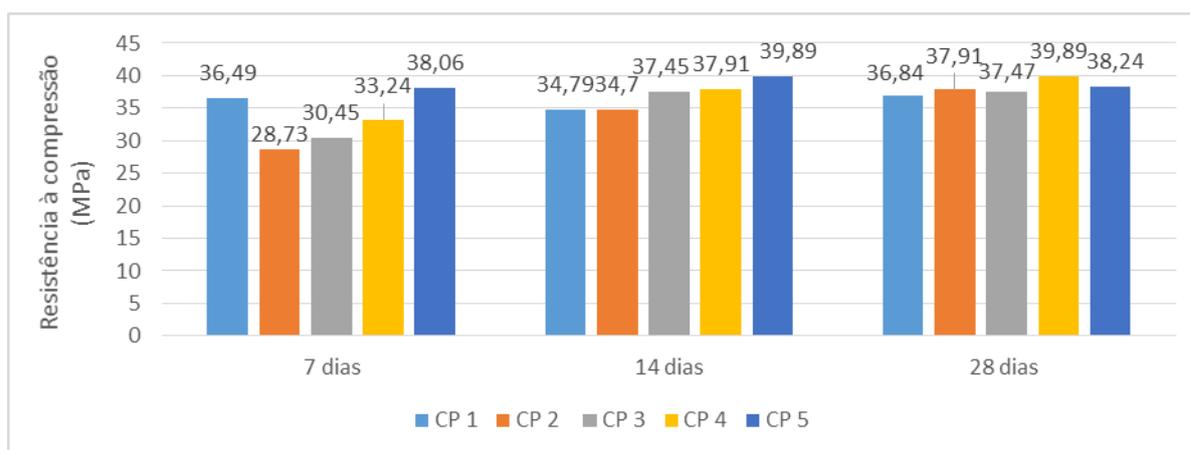
Para o ensaio de resistência à compressão foram utilizados 5 corpos de prova de 10 por 20 cm para 7,14 e 28 dias de cura, os resultados são apresentados no Quadro 12 e o Gráfico 12.

Quadro 12 - Resistência à compressão da dosagem 3.

Data (dias)	C.P	Área (mm ²)	Carga de ruptura (Kgf)	Resistência à compressão (Mpa)
7	1	7853,98	29222,42	36,49
7	2	7853,98	23009,85	28,73
7	3	7853,98	24383,70	30,45
7	4	7853,98	26621,61	33,24
7	5	7853,98	30483,95	38,06
Média			26744,31	33,394
Desvio Padrão			3148,80	3,93
14	1	7853,98	27865,85	34,79
14	2	7853,98	27788,09	34,70
14	3	7853,98	29991,43	37,45
14	4	7853,98	30362,98	37,91
14	5	7853,98	31944,20	39,89
Média			29590,51	36,95
Desvio Padrão			1769,21	2,21
28	1	7853,98	29507,56	36,84
28	2	7853,98	30362,98	37,91
28	3	7853,98	30008,71	37,47
28	4	7853,98	31944,20	39,89
28	5	7853,98	30622,20	38,24
Média			30489,13	38,07
Desvio Padrão			914,48	1,14

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 12 - Potencial de resistência à compressão do concreto referência 3.



Fonte: Do autor, 2018.

Para o ensaio de capilaridade foram utilizados 3 corpos de prova conforme descrito em norma, de 28 dias de cura cada. O ensaio é executado em um período de

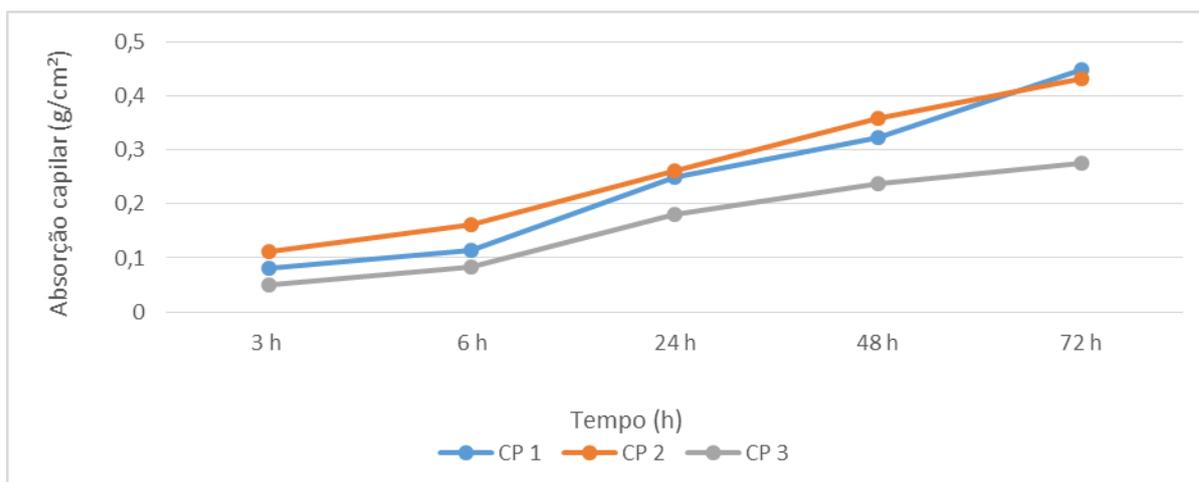
72 h, com medições em diferentes horários, resultando na absorção do corpo de prova conforme apresentada no Quadro 13 e no Gráfico 13.

Quadro 13 - Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 3.

C.P	Capilaridade 3 h (g/cm ²)	Capilaridade 6 h (g/cm ²)	Capilaridade 24 h (g/cm ²)	Capilaridade 48 h (g/cm ²)	Capilaridade 72 h (g/cm ²)	Altura de capilaridade (cm)
1	0,0803	0,1146	0,2492	0,3225	0,4492	1,1
2	0,1108	0,1618	0,26089	0,3592	0,4324	2,3
3	0,0510	0,0841	0,1809	0,2369	0,2764	1,1

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 13 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 3.



Fonte: Do autor, 2018.

4.4 Concreto reciclado (Dosagem 4)

a) Concreto em estado fresco

Para a primeira dosagem utilizando porcentagem de 50% de agregado graúdo reciclado de dimensões de brita 1 ($D_{máx} = 19 \text{ mm}$) em substituição ao graúdo natural foi notado pequena perda de trabalhabilidade devido ao material reciclado apresentar uma maior absorção de água em meio a mistura. Anteriormente ao uso do Aditivo Superplastificante, o material apresentava características semelhantes a primeira

dosagem de referência, tornando quase que inviável a execução do ensaio de abatimento.

Conforme especificado na dosagem, foi pesado 1% do Aditivo em cima da massa do cimento do traço, totalizando 151,83 ml, e que foram adicionados em porções de 0,1% e 0,05 % da massa do aditivo.

A adição iniciou com o valor de 0,1 de 1% ou seja 15,183 ml, não apresentando melhoras significativas na trabalhabilidade do material. Em sequência e após a adição de mais 0,2% totalizando 0,3% de 1% da massa do aditivo, houve uma melhora em sua trabalhabilidade. Entretanto, o ensaio de *Slump Test* não atendeu o valor proposto.

Após a adição de mais 0,27% foi visualizado uma melhoria em sua trabalhabilidade, obtendo se ao ensaio o valor de abatimento de 105 mm. Com o conhecimento do material utilizado e prevenindo possíveis falhas de dosagem, a dosagem foi concluída, dado que o valor apresentado está de acordo ao proposto.

Perante a pesagem do restante do produto foi verificado que para adquirir o valor de abatimento ideal foi necessário o uso de 0,57% de 1% do aditivo proposto, sobrando o equivalente a 65,140 ml da massa de 151,83 ml. O Quadro 14 apresenta o quantitativo total de uso do Aditivo Superplastificante para obter-se o valor de abatimento desejado.

Quadro 14 – Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.

Aditivo utilizado em %	Aditivo utilizado em ml	Abatimento (mm)
57% de 1,0%	86,69 ml de 151,83 ml	105 mm

Fonte: Do autor, 2018.

b) Concreto em estado endurecido

Ao concreto em estado endurecido foram utilizadas as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) para a compressão axial e a NBR 9779 (ABNT, 2012) para a absorção por capilaridade dos corpos de prova de concreto.

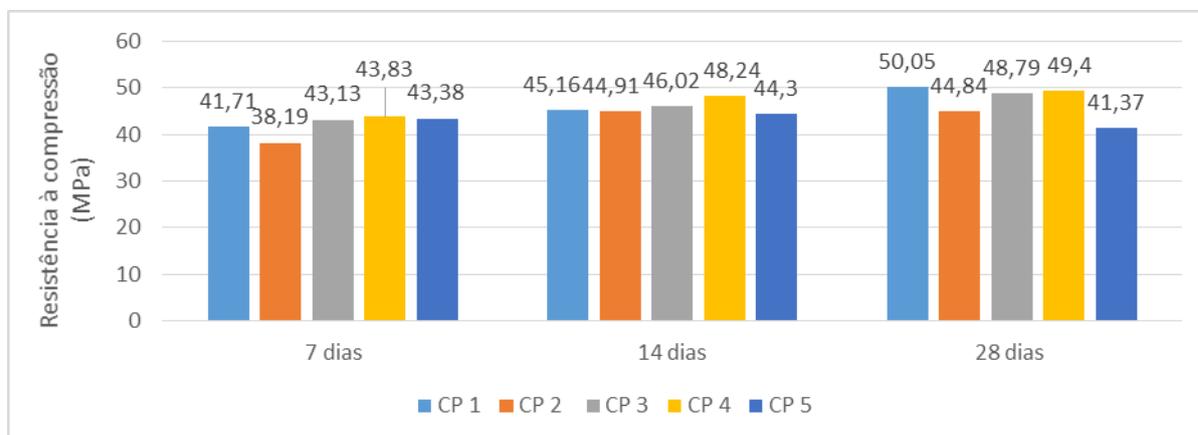
Para o ensaio de resistência à compressão foram utilizados 5 corpos de prova de 10 por 20 cm para 7,14 e 28 dias de cura, os resultados são apresentados no Quadro 15 e no Gráfico 14.

Quadro 15 - Resistência à compressão da dosagem 4.

Data (dias)	C.P	Área (mm ²)	Carga de ruptura (Kgf)	Resistência à compressão (Mpa)
7	1	7853.98	33404,46	41,71
7	2	7853.98	30587,63	38,19
7	3	7853.98	34545,02	43,13
7	4	7853.98	35106,65	43,83
7	5	7853.98	34743,75	43,38
Média			33677,50	42,05
Desvio Padrão			1840,77	2,30
14	1	7853.98	36169,44	45,16
14	2	7853.98	35970,71	44,91
14	3	7853.98	36860,6	46,02
14	4	7853.98	38632,00	48,24
14	5	7853.98	35478,20	44,30
Média			36622,19	45,73
Desvio Padrão			1228,00	1,53
28	1	7853.98	40083,62	50,05
28	2	7853.98	35910,23	44,84
28	3	7853.98	39072,68	48,79
28	4	7853.98	39565,19	49,40
28	5	7853.98	33136,60	41,37
Média			37550	46,89
Desvio Padrão			2957	3,692

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 14 - Potencial de resistência à compressão do concreto reciclado 1.



Fonte: Do autor, 2018.

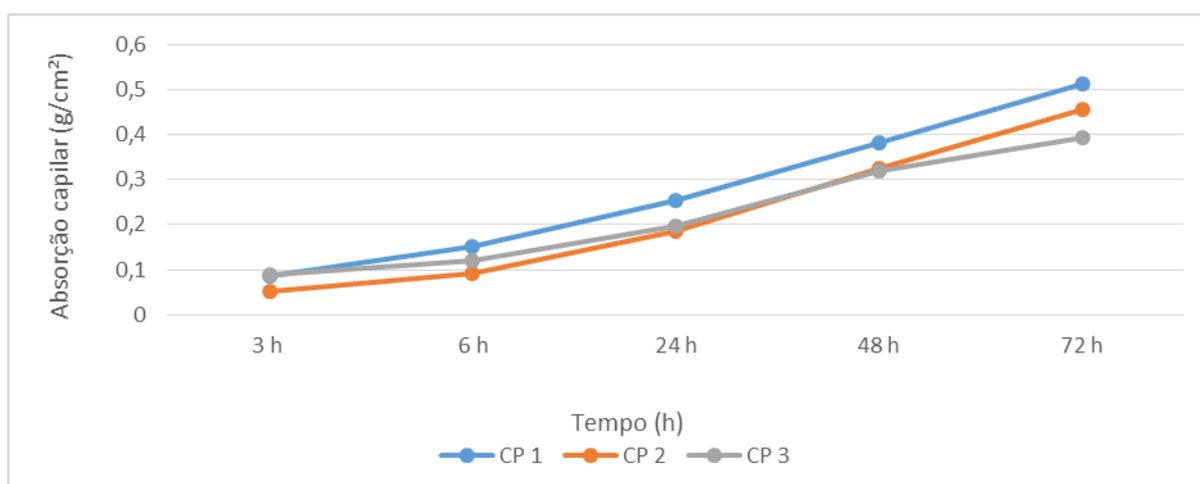
Para o ensaio de capilaridade foram utilizados 3 corpos de prova conforme descrito em norma, de 28 dias de cura cada. O ensaio é executado em um período de 72 h, com medições em diferentes horários, resultando na absorção do corpo de prova conforme apresentada o Quadro 16 e no Gráfico 15.

Quadro 16 - Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 4.

C.P	Capilaridade 3 h (g/cm ²)	Capilaridade 6 h (g/cm ²)	Capilaridade 24 h (g/cm ²)	Capilaridade 48 h (g/cm ²)	Capilaridade 72 h (g/cm ²)	Altura de capilaridade (cm)
1	0,0848	0,1513	0,2529	0,3816	0,5131	1,5
2	0,0517	0,0918	0,1843	0,3250	0,4545	1,25
3	0,0880	0,1195	0,1968	0,3201	0,3934	1,35

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 15 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 4.



Fonte: Do autor, 2018.

4.5 Concreto reciclado (Dosagem 5)

a) Concreto em estado fresco

Para esta dosagem, a primeira impressão visualizada com a utilização de 100% da fração graúda reciclada foi uma maior absorção de água por parte dos agregados. Dado que os mesmos foram previamente secos anteriormente a dosagem, os poros

do material estavam vazios, facilitando a absorção e apresentando um concreto de baixa trabalhabilidade e seco.

Apenas após a adição do aditivo que o material começou a apresentar trabalhabilidade, sendo adicionadas duas medidas de 0,1 % de 1% da massa que apresentaram melhoras. Porém, foi necessário o acrescentamento de mais 0,14%, totalizando 0,34% de uso do material para que o mesmo fosse ensaiado, obtendo um abatimento de 125 mm.

A utilização de todo o Aditivo Superplastificante pesado seria inviável, sendo visualizada em anteriores erros de dosagem a segregação dos materiais, constituindo em um material heterogêneo e que alcançava valores de abatimento de concretos auto adensáveis.

O Quadro 17 apresenta o quantitativo total de uso do Aditivo Superplastificante para obter-se o valor de abatimento desejado.

Quadro 17 - Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.

Aditivo utilizado em %	Aditivo utilizado em ml	Abatimento (mm)
34% de 1,0%	47,84 ml de 140,7 ml	125 mm

Fonte: Do autor, 2018.

b) Concreto em estado endurecido

Ao concreto em estado endurecido foram utilizadas as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) para a compressão axial e a NBR 9779 (ABNT, 2012) para a absorção por capilaridade dos corpos de prova de concreto.

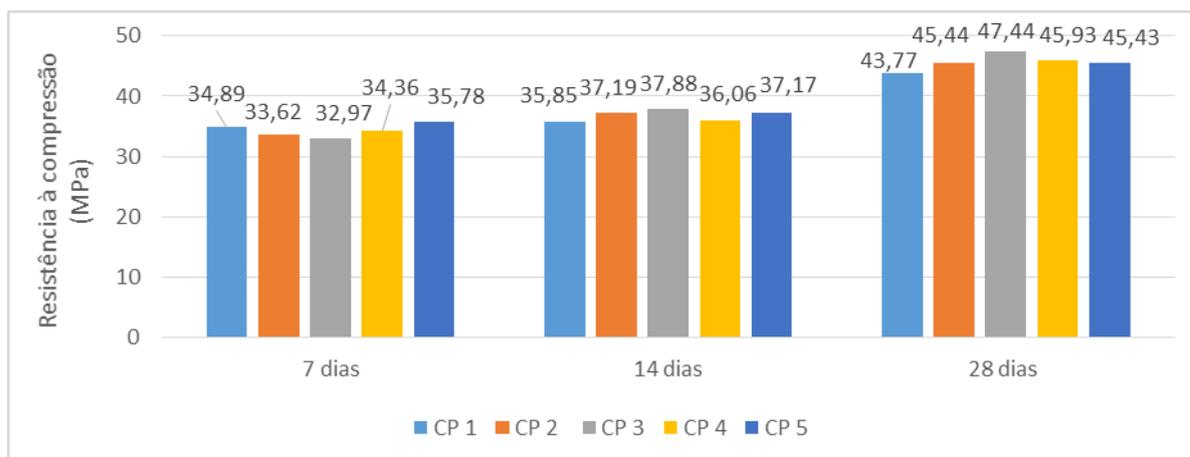
Para o ensaio de resistência à compressão foram utilizados 5 corpos de prova de 10 por 20 cm para 7,14 e 28 dias de cura, os resultados são apresentados no Quadro 18 e no Gráfico 16.

Quadro 18 - Resistência à compressão aos 28 dias da dosagem 5.

Data (dias)	C.P	Área (mm ²)	Carga de ruptura (Kgf)	Resistência à compressão (Mpa)
7	1	7853.98	27943,62	34,89
7	2	7853.98	26924,03	33,62
7	3	7853.98	26405,60	32,97
7	4	7853.98	27520,23	34,36
7	5	7853.98	28652,14	35,78
Média			27489,12	34,32
Desvio Padrão			873,71	1,09
14	1	7853.98	28712,63	35,85
14	2	7853.98	29784,06	37,19
14	3	7853.98	30337,05	37,88
14	4	7853.98	28876,80	36,06
14	5	7853.98	29766,78	37,17
Média			29495,46	36,83
Desvio Padrão			682,04	0,85
28	1	7853.98	35054,81	43,77
28	2	7853.98	36394,10	45,44
28	3	7853.98	37992,60	47,44
28	4	7853.98	36782,93	45,93
28	5	7853.98	36385,46	45,43
Média			36521,98	45,60
Desvio Padrão			1050,999	1,31

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 16 - Potencial de resistência à compressão do concreto reciclado 2.



Fonte: Do autor, 2018.

Para o ensaio de capilaridade foram utilizados 3 corpos de prova conforme descrito em norma, de 28 dias de cura cada. O ensaio é executado em um período de

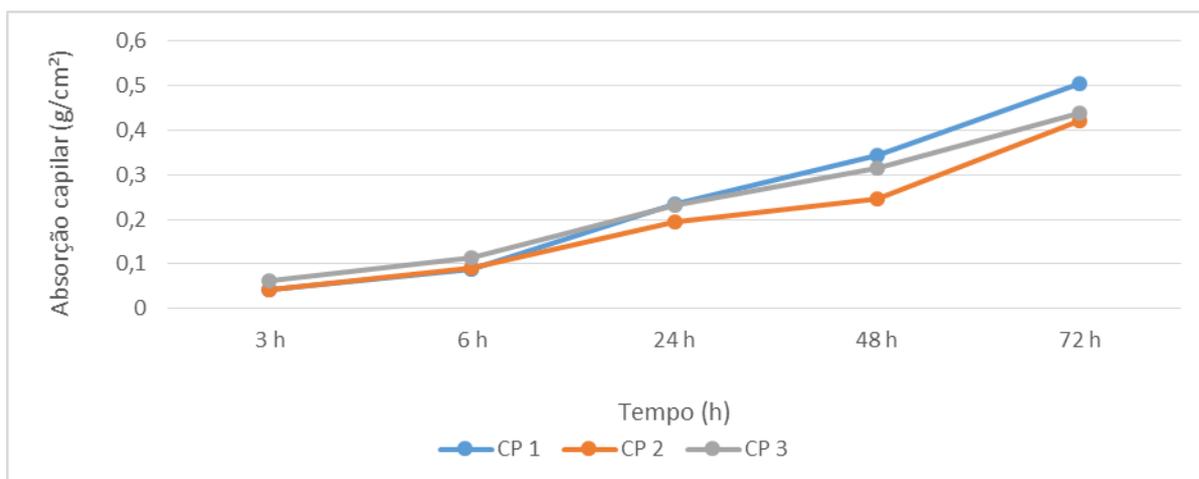
72 h, com medições em diferentes horários, resultando na absorção do corpo de prova conforme apresentada no Quadro 19 e no Gráfico 17.

Quadro 19 - Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 5.

C.P	Capilaridade 3 h (g/cm ²)	Capilaridade 6 h (g/cm ²)	Capilaridade 24 h (g/cm ²)	Capilaridade 48 h (g/cm ²)	Capilaridade 72 h (g/cm ²)	Altura de capilaridade (cm)
1	0,0433	0,0892	0,2344	0,3439	0,5045	1,2
2	0,0408	0,0904	0,1938	0,2459	0,4217	1,4
3	0,0637	0,1134	0,2318	0,3159	0,4382	1,6

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 17 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 5.



Fonte: Do autor, 2018.

4.6 Concreto reciclado (Dosagem 6)

a) Concreto em estado fresco

Para esta dosagem os materiais foram quantificados de forma mista seja na fração miúda ou graúda, apresentando 50% de agregados naturais e 50% de agregados reciclados em sua composição.

Em meio a dosagem foi visualizado um maior volume no produto, resultado da utilização do miúdo reciclado que apresentava porcentagem de pedriscos retidos na peneira de número 2#. Houve grande absorção de água de amassamento por parte dos agregados miúdos e graúdos reciclados, apresentando um concreto de baixa trabalhabilidade.

Conforme o cálculo de materiais pelo consumo de cimento, a massa de aditivo determinada foi de 151,14 ml (1% da massa do cimento). Após a adição de 0,3% de 1% do material foi executado o ensaio de *Slump Test* que resultou em um abatimento de 65 mm. Diante de um valor que não interessa ao estudo, foi feita a adição de mais 0,1% (15,114 ml), totalizando 0,4% de 1% total, o que resultou em um abatimento de 135 mm.

O Quadro 20 apresenta o quantitativo total de uso do Aditivo Superplastificante para obter-se o valor de abatimento desejado.

Quadro 20 - Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.

Aditivo utilizado em %	Aditivo utilizado em ml	Abatimento (mm)
40% de 1,0%	60,456 ml de 151,14 ml	135 mm

Fonte: Do autor, 2018.

b) Concreto em estado endurecido

Ao concreto em estado endurecido foram utilizadas as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) para a compressão axial e a NBR 9779 (ABNT, 2012) para a absorção por capilaridade dos corpos de prova de concreto.

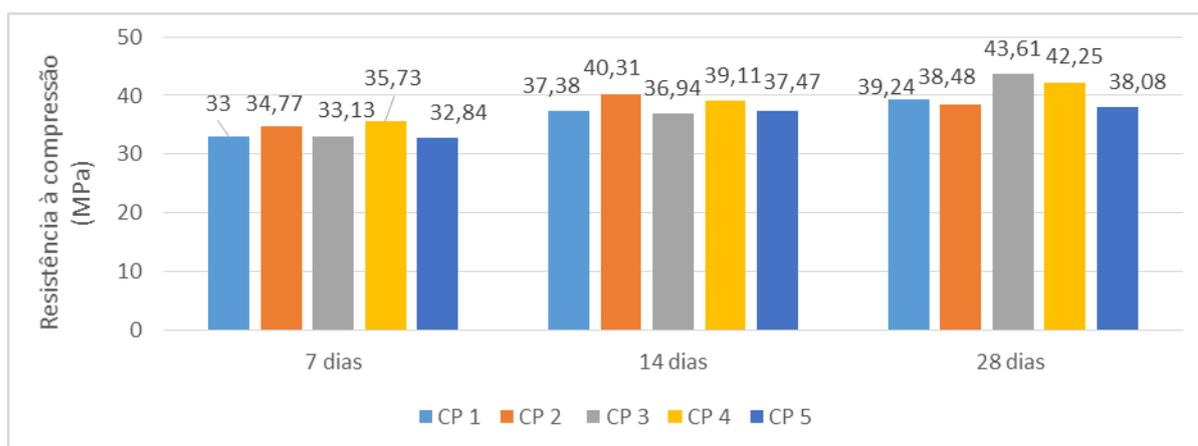
Para o ensaio de resistência à compressão foram utilizados 5 corpos de prova de 10 por 20 cm para 7,14 e 28 dias de cura, os resultados são apresentados no Quadro 21 e no Gráfico 18.

Quadro 21 - Resistência à compressão aos 28 dias da dosagem 6.

Data (dias)	C.P	Área (mm ²)	Carga de ruptura (Kgf)	Resistência à compressão (Mpa)
7	1	7853.98	26431,52	33,00
7	2	7853.98	27848,57	34,77
7	3	7853.98	26535,20	33,13
7	4	7853.98	28617,58	35,73
7	5	7853.98	26301,91	32,84
Média			27150,00	33,90
Desvio Padrão			1031	1,29
14	1	7853.98	29939,59	37,38
14	2	7853.98	32281,18	40,31
14	3	7853.98	29585,32	36,94
14	4	7853.98	31322,08	39,11
14	5	7853.98	30008,71	37,47
Média			30630,00	38,24
Desvio Padrão			1136	1,42
28	1	7853.98	31425,77	39,24
28	2	7853.98	30820,93	38,48
28	3	7853.98	34925,20	43,61
28	4	7853.98	33836,49	42,25
28	5	7853.98	30501,23	38,08
Média			32300	40,33
Desvio Padrão			1965	2,45

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 18 - Potencial de resistência à compressão do concreto reciclado 3.



Fonte: Do autor, 2018.

Para o ensaio de capilaridade foram utilizados 3 corpos de prova conforme descrito em norma, de 28 dias de cura cada. O ensaio é executado em um período de

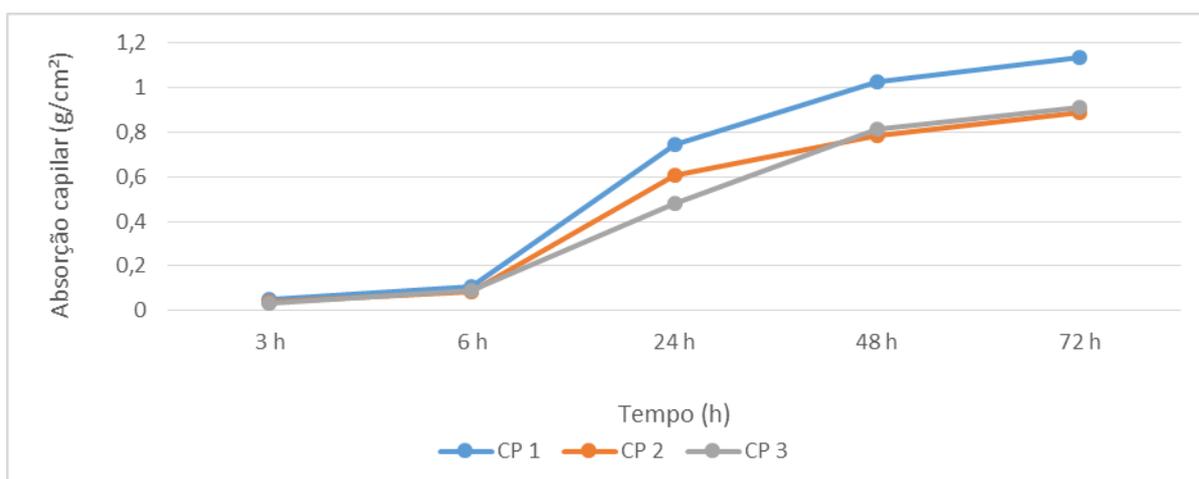
72 h, com medições em diferentes horários, resultando na absorção do corpo de prova conforme apresentada no Quadro 22 e no Gráfico 19.

Quadro 22 - Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 6.

C.P	Capilaridade 3 h (g/cm ²)	Capilaridade 6 h (g/cm ²)	Capilaridade 24 h (g/cm ²)	Capilaridade 48 h (g/cm ²)	Capilaridade 72 h (g/cm ²)	Altura de capilaridade (cm)
1	0,0484	0,1093	0,7458	1,0242	1,1379	1,9
2	0,0408	0,0841	0,6063	0,7873	0,8892	3,4
3	0,0344	0,0904	0,4790	0,8166	0,9121	2,5

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 19 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 6.



Fonte: Do autor, 2018.

4.7 Concreto reciclado (Dosagem 7)

a) Concreto em estado fresco

Para a última dosagem a maior dificuldade encontrada foi em virtude da utilização da porcentagem de 50% de agregado miúdo reciclado e 100 % agregado graúdo reciclado, resultando em um material muito seco diante de uma maior absorção de água por conta dos mesmos.

Conforme o cálculo de materiais pelo consumo de cimento, a massa de aditivo determinada foi de 140,00 ml (1% da massa do cimento). Diante de anteriores dificuldades na dosagem deste traço devido à alta quantidade de material reciclado, o cuidado na utilização do Aditivo Superplastificante resultou em um valor de abatimento de 140 mm com o uso de 0,45% da massa de 1% do aditivo pesado.

O Quadro 23 apresenta o quantitativo total de uso do Aditivo Superplastificante para obter-se o valor de abatimento desejado.

Quadro 23 - Quantidade de aditivo utilizada para o abatimento proposto.

Aditivo utilizado em %	Aditivo utilizado em ml	Abatimento (mm)
45% de 1,0%	63 ml de 140 ml	140 mm

Fonte: Do autor, 2018.

b) Concreto em estado endurecido

Ao concreto em estado endurecido foram utilizadas as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) para a compressão axial e a NBR 9779 (ABNT, 2012) para a absorção por capilaridade dos corpos de prova de concreto.

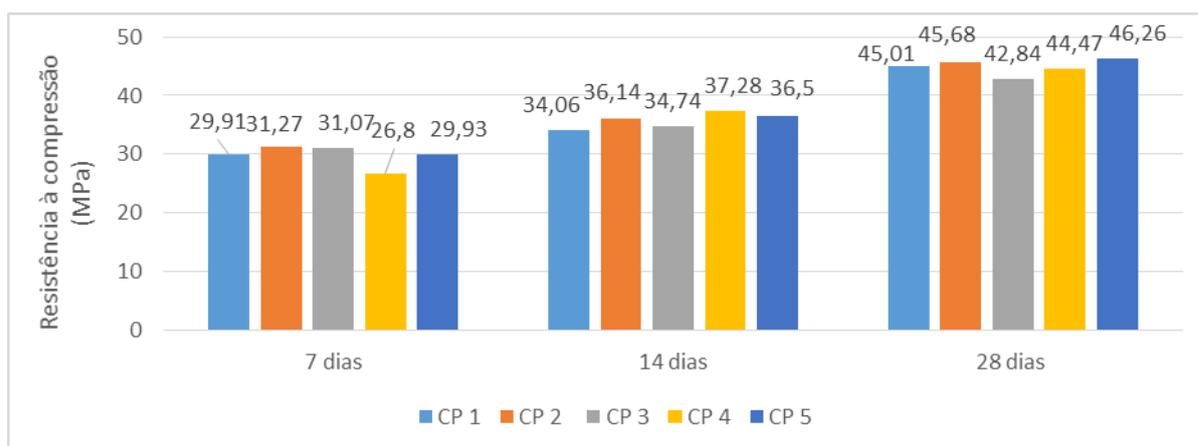
Para o ensaio de resistência à compressão foram utilizados 5 corpos de prova de 10 por 20 cm para 7,14 e 28 dias de cura, os resultados são apresentados no Quadro 24 e no Gráfico 20.

Quadro 24 - Resistência à compressão aos 28 dias da dosagem 7.

Data (dias)	C.P	Área (mm ²)	Carga de ruptura (Kgf)	Resistência à compressão (Mpa)
7	1	7853,98	23951,67	29,91
7	2	7853,98	25040,38	31,27
7	3	7853,98	24884,85	31,07
7	4	7853,98	21463,19	26,80
7	5	7853,98	23968,95	29,93
Média			23861,81	29,80
Desvio Padrão			1432,53	1,79
14	1	7853,98	27278,29	34,06
14	2	7853,98	28945,92	36,14
14	3	7853,98	27822,65	34,74
14	4	7853,98	29853,18	37,28
14	5	7853,98	29231,06	36,50
Média			28626,22	35,74
Desvio Padrão			1053,10	1,32
28	1	7853,98	36048,48	45,01
28	2	7853,98	36584,19	45,68
28	3	7853,98	34311,72	42,84
28	4	7853,98	35616,45	44,47
28	5	7853,98	37050,78	46,26
Média			35922,32	44,85
Desvio Padrão			1050,59	1,31

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 20 - Potencial de resistência à compressão do concreto reciclado 4.



Fonte: Do autor, 2018.

Para o ensaio de capilaridade foram utilizados 3 corpos de prova conforme descrito em norma, de 28 dias de cura cada. O ensaio é executado em um período de

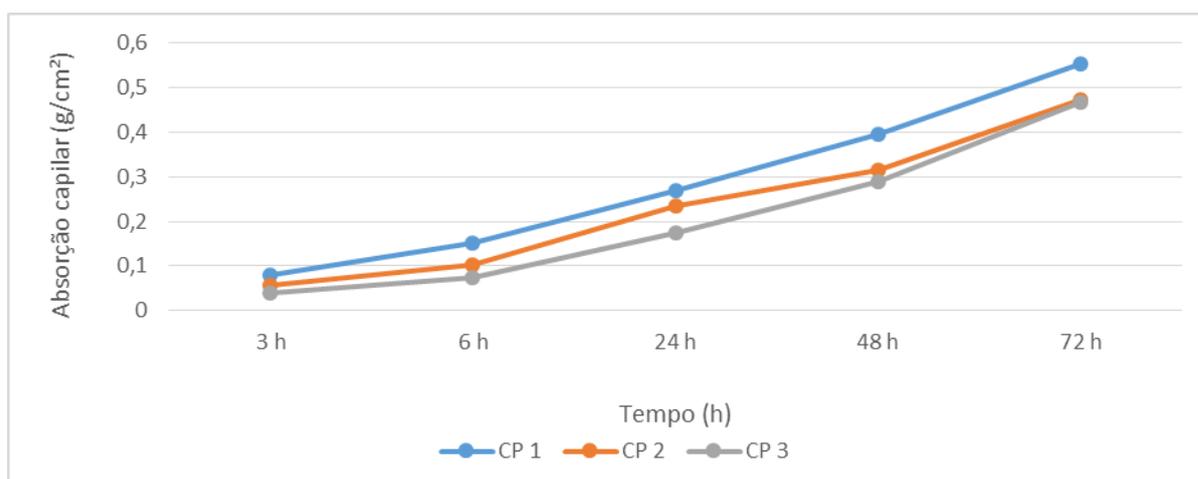
72 h, com medições em diferentes horários, resultando na absorção do corpo de prova conforme apresentada no Quadro 25 e no Gráfico 21.

Quadro 25 - Resultados do ensaio de capilaridade na dosagem 7.

C.P	Capilaridade 3 h (g/cm ²)	Capilaridade 6 h (g/cm ²)	Capilaridade 24 h (g/cm ²)	Capilaridade 48 h (g/cm ²)	Capilaridade 72 h (g/cm ²)	Altura de capilaridade (cm)
1	0,0803	0,1516	0,2701	0,3949	0,5529	1,0
2	0,0573	0,1032	0,2344	0,3159	0,4726	1,5
3	0,0395	0,0739	0,1745	0,2879	0,4675	0,9

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 21 - Resultados de absorção por capilaridade na dosagem 7.



Fonte: Do autor, 2018.

4.8 Comparativo entre dosagens

Conforme citado anteriormente, durante o período de análise experimental foram executados ensaios de caracterização de insumos para posterior utilização na dosagem de 7 diferentes concretos, sendo os mesmos distintos por sua composição de agregados miúdos e graúdos.

A escolha pela execução de 3 concretos de referência em divergência ao que propôs Gonçalves (2001) em seu estudo, proporcionou uma melhor visualização do

comportamento do concreto com o uso de agregados reciclados, demonstrando diferenças em meio à dosagem em seu estado fresco e posterior endurecido, revelando características e propriedades importantes e relevantes a conclusão do estudo.

A adição de diferentes porcentagens do agregado reciclado de concreto em meio a misturas de concreto conforme já citado apresentou uma maior absorção da água de amassamento em relação ao concreto natural. Foram encontradas dificuldades em meio a dosagens, principalmente com a perda de trabalhabilidade do material, onde fez-se necessário suprir esta perda com o uso de Aditivo Superplastificante. Porém, a correta dosagem deste material é apenas desvendada em meio a testes, onde o excesso do mesmo acaba em alguns casos por inutilizar o concreto.

4.8.1 Trabalhabilidade do concreto

Diante de um traço de baixa relação a/c, sendo a mesma mantida fixa para todas as dosagens, o primeiro ensaio de abatimento ao final da execução do concreto de referência de número 1 já demonstrou a necessidade do uso de aditivo conforme determina Gonçalves (2001).

Com exceção ao concreto natural, todas as dosagens utilizaram o Aditivo do tipo Superplastificante a fim de proporcionar melhor trabalhabilidade, tendo principalmente dificuldades na consistência do material aos casos do uso de agregados reciclados, havendo uma maior absorção de água por parte dos mesmos, apresentando um material seco e de difícil manejo.

Conforme Quadro 26, é possível visualizar que todos os concretos reciclados utilizaram maiores volumes de aditivo em relação aos concretos naturais.

Quadro 26 – Utilização do aditivo x valor de abatimento em cada dosagem.

Dosagem	Aditivo Superplastificante utilizado x pesado (ml)	Abatimento do tronco de cone (mm)
Referência 1	-	40 mm
Referência 2	30% de 1,0%	140 mm
Referência 3	30% de 1,0%	135 mm
Reciclado 1	57% de 1,0%	105 mm
Reciclado 2	34% de 1,0%	125 mm
Reciclado 3	40% de 1,0%	135 mm
Reciclado 4	45% de 1,0%	140 mm

Fonte: Do autor, 2018.

Para os concretos Referência 2 e 3, a quantidade de Aditivo utilizada pode ser entendida fazendo a relação dos mesmos ao concreto de Referência 1, onde o material apresentou baixa trabalhabilidade com valor de abatimento de 40 mm. Logo, a melhora na trabalhabilidade, com valores de abatimento em concordância ao proposto de 120 +- 20 mm só foram encontrados mediante o uso do Aditivo Superplastificante.

Houveram particularidades ao uso do aditivo em cada dosagem, sendo a maior dificuldade para a obtenção do valor de abatimento proposto as dosagens do concreto Reciclado 1 e 4. Em virtude do Reciclado 1 ser a primeira dosagem utilizando o agregado reciclado de concreto, foram encontradas maiores dificuldades em sua execução pelo baixo conhecimento de desempenho do material em meio a mistura.

Para o Reciclado 4 foram utilizadas porcentagens de agregado miúdo e gráudo reciclados, ocasionando na maior absorção de água de todas as dosagens principalmente na fração miúda com a ocorrência de sua composição apresentar quantidades de partículas de argamassa, sendo as mesmas materiais de maior absorção em comparação a areia. Aos agregados gráudos reciclados de concreto, o principal causador de uma maior absorção é a argamassa de recobrimento ao agregado natural.

Para as dosagens do Reciclado 3 e 4 primeiramente foi seguida a utilização da menor betoneira em meio ao LATEC. Porém, em razão dos dois traços apresentarem

fração miúda reciclada, resultou em um maior volume de material dentro do equipamento, ocasionando em baixa produtividade e uma má dosagem, onde foram perdidos materiais. Posteriormente a falha de execução, os mesmos foram dosados em uma betoneira de maior capacidade de volume, resultando em uma utilização próxima do Aditivo com consequentes valores semelhantes de abatimento.

4.8.2 Resistência mecânica

Conforme já citado nos materiais utilizados ao estudo, foram escolhidos e separados apenas resíduos de concreto de cunho estrutural oriundos da demolição de pilares, vigas e lajes e também, de corpos de prova que demonstraram alto valor de resistência após ensaios.

A escolha foi de fato grande responsável pelos resultados encontrados após o término da análise experimental, visto que anteriormente à execução dos concretos foi definida a ideia de desempenhar um concreto reciclado com boa trabalhabilidade e valores de resistência mecânica relacionados a concretos estruturais.

O ensaio de resistência a compressão foi responsável por determinar as divergências em relação a análise mecânica do concreto natural e o reciclado aos 28 dias de cura dos mesmos. O Quadro 27 apresenta os valores médios de resistência de 5 corpos de prova para cada dosagem, sendo após feita uma relação das 4 dosagens do Reciclado quanto as 3 dosagens de Referência.

Quadro 27 – Valores de resistência à compressão média aos 28 dias das dosagens.

Dosagem	Resistência à compressão média aos 28 dias de cura (MPa)	Relação Concreto reciclado/Concretos de Referência
Referência 1	42,14	1
Referência 2	45,78	1
Referência 3	38,07	1
Reciclado 1	46,89	1,11 / 1,02 / 1,23
Reciclado 2	45,60	1,08 / 0,99 / 1,2
Reciclado 3	40,33	0,96 / 0,88 / 1,06
Reciclado 4	44,85	1,06 / 0,98 / 1,18

Fonte: Do autor, 2018.

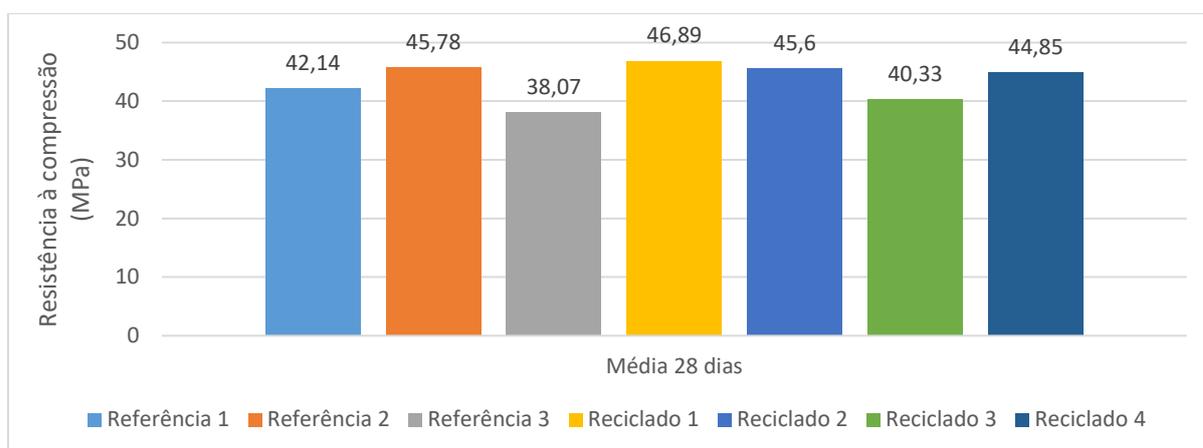
Para o concreto de Referência 1, dosado de forma natural sem qualquer uso de Aditivo, o valor alcançado de resistência à compressão demonstrou que devido ao baixo consumo de água do traço, com uma baixa trabalhabilidade e mantendo seu valor de a/c fixo, os próximos materiais poderiam alcançar valores significantes.

A grande diferença do concreto de Referência 2 em relação ao Referência 3 se dá pela correção em consentimento do uso do Aditivo Superplastificante (- 20% de uso de água na mistura) como já explicado anteriormente, reduzindo o valor de água, ocasionando em um aumento de resistência mesmo com a redução do cimento para manter a relação a/c fixa.

Após a execução de todas as dosagens de concreto reciclado, foram visualizados resultados satisfatórios em comparação aos valores de referência. O maior valor encontrado refere-se ao Reciclado 1, seguido do Reciclado 2, 4 e o 3.

A análise dos resultados encontrados em comparação a sua respectiva composição de agregados demonstra que as dosagens onde foram utilizadas frações miúdas recicladas (Dosagem 6 e 7) resultaram nas menores resistências do concreto modificado. Fato este que não coincide com a ideia de que os agregados miúdos reciclados por apresentarem uma maior absorção, necessariamente devem ter uma maior resistência (GRÁFICO 22).

Gráfico 22 – Comparativo de potencial entre as dosagens aos 28 dias de cura.



Fonte: Do autor, 2018.

Ainda, por meio desta análise, é demonstrada a eficiência do uso da fração graúda reciclada em conjunto ao agregado miúdo natural, resultando nos maiores valores de resistência a compressão do concreto reciclado por parte da Dosagem 4 e 5, e também o maior valor característico de resistência do estudo com a Dosagem 4.

Comparando-se o concreto de Referência 2 e o Reciclado 1, a influência do agregado graúdo reciclado na resistência do concreto aparenta ser maior do que a do natural, entretanto, deve-se considerar que na dosagem 2 houve a correção por conta do Aditivo.

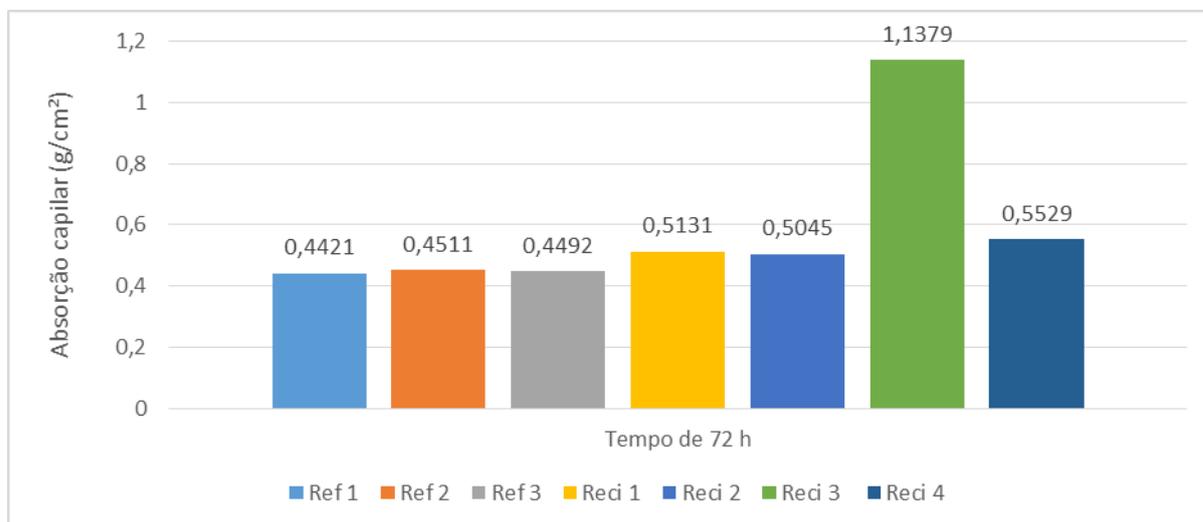
Já a pequena diferença de resistência entre o concreto Reciclado 1 e o Reciclado 2 está na composição do agregado graúdo, tendo a utilização de agregados graúdos naturais (50%) e reciclados (50%) no primeiro caso, e apenas reciclados (100%) no segundo caso. Sendo assim, a argamassa responsável pelo cobrimento do agregado natural presente no agregado reciclado influencia em sua utilização e posteriormente em sua resistência final.

4.8.3 Absorção por capilaridade

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade foram ensaiados 3 corpos de prova de 28 dias de cura para cada dosagem, com o objetivo de determinar

diferenças de absorção conforme diferentes porcentagens de material reciclado em relação aos concretos de referência. Conforme o Gráfico 23 são visualizadas os valores máximos referentes ao corpo de prova de maior absorção de cada dosagem.

Gráfico 23 – Valores máximos de absorção para cada dosagem.



Fonte: Do autor, 2018.

Os valores referentes a absorção de água por capilaridade em concretos de referência foram semelhantes e menores do que todos os concretos reciclados, o fato se dá pela maior absorção de água dos agregados reciclados que possuem uma maior porosidade e pequenas partículas de argamassas presentes na fração miúda como agregados e na fração graúda como cobrimento ao material natural utilizado na dosagem do concreto convencional.

A dosagem de número 6 referente ao concreto reciclado 3 contendo 50% de agregados miúdos e 50% de graúdos reciclados em conjunto ao restante de agregados naturais, foi o material que apresentou a maior absorção ao término do período de ensaio de 72 horas.

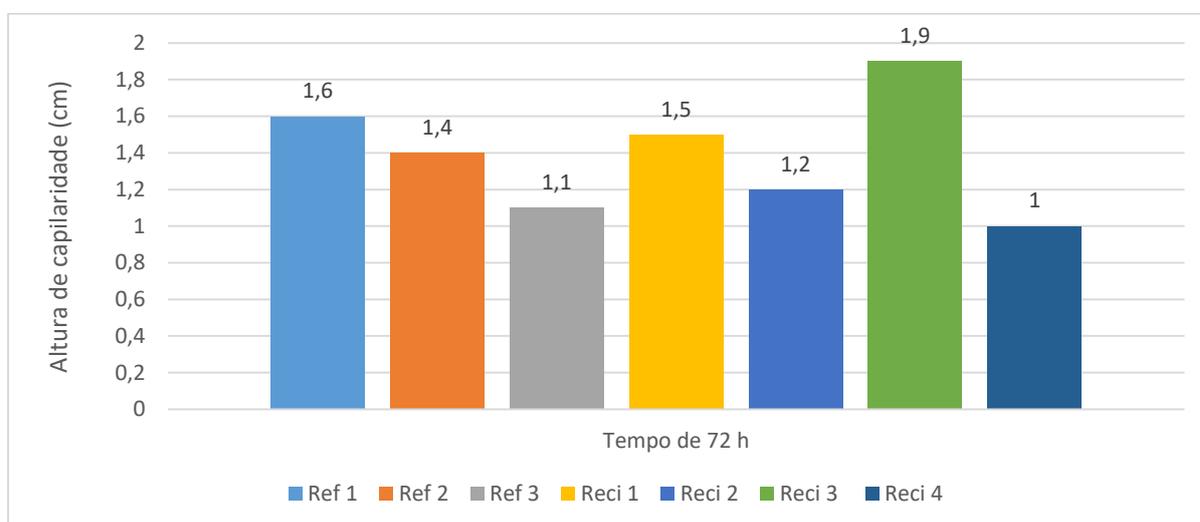
Conforme análise dos resultados obtidos, as duas dosagens que utilizaram fração miúda reciclada em conjunto a fração graúda reciclada seja 50% ou 100%, apresentaram maiores absorções. Logo, a maior influência de absorção de água no concreto reciclado se dá pelo fato da utilização de ambos na dosagem.

De acordo com Gonçalves (2001), o fato do material reciclado apresentar maior absorção em relação ao natural se dá principalmente na fração miúda com a

ocorrência de sua composição apresentar quantidades de partículas de argamassa, sendo as mesmas materiais de maior absorção em comparação a areia. Aos agregados graúdos reciclados de concreto, o principal causador de uma maior absorção é a argamassa de recobrimento ao agregado natural.

A altura de capilaridade foi medida conforme o nível presente de água demarcado ao corpo de prova após seu rompimento por compressão diametral. O Gráfico 24 apresenta as respectivas alturas em concordância aos corpos de prova de maior valor de absorção.

Gráfico 24 – Altura de capilaridade para a dosagem de maior absorção



Fonte: Do autor, 2018.

Conforme a leitura feita para cada corpo de prova de cada dosagem, foram observadas semelhanças entre os concretos de referência e os reciclados quanto à altura de capilaridade. Entretanto, o maior valor de capilaridade da água foi encontrada no concreto reciclado 3, sendo também o de maior absorção.

5 CONCLUSÕES

Após análise e apresentação dos resultados, quanto a utilização dos agregados reciclados de concreto oriundos de RCD, o estudo demonstra a possibilidade de uma nova destinação para este tipo de resíduo. Visto que atualmente o índice de reaproveitamento é baixo, pela falta de conhecimento da reutilização, pelo não conhecimento das propriedades do RCD e pela falta de conhecimentos técnicos de experimentos com este tipo de material.

Através dos trabalhos experimentais de acordo com as normas, foram obtidos resultados satisfatórios e com grande relevância para futuras utilizações na construção civil, onde foram feitos testes com a caracterização dos materiais, propriedades da massa específica, granulometria, absorção, trabalhabilidade, resistência à compressão e capilaridade.

Os ensaios de trabalhabilidade dos concretos reciclados foram satisfatórios, visto que ao início do estudo foi estabelecido um valor base a ser alcançado, onde todos obtiveram sucesso, conforme descrito no trabalho, onde corrigindo-se o seu abatimento com a utilização de Aditivo, mantendo fixa a relação a/c.

Ao ensaio de resistência mecânica por meio de compressão axial foi demonstrada a eficiência do uso de agregados reciclados graúdos em porcentagens de 50% e 100% em conjunto a 100% de agregado miúdo natural, onde foram obtidos valores semelhantes e superiores em comparação aos concretos de referência.

Portanto, conclui-se que o processamento e beneficiamento de resíduos de concreto, em forma de agregados de fração graúda podem ser considerados de boa qualidade para o seu uso, sendo necessário prévio conhecimento de suas propriedades, para posterior utilização em estruturas de concreto. O material considerado como resíduo tem grande potencial para sua reutilização na construção civil, beneficiando a parte financeira do empreendimento e sendo de grande importância para o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABRECON. **Relatório: Pesquisa Setorial 2014/2015 – A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Paulo, SP, 2015.

ANGULO, Sérgio C.; FIGUEIREDO, Antônio D. de. Concreto com agregado reciclado. In: Livro **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, edição II, capítulo 47, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/293811678_CONCRETO_COM_AGREGADOS_RECICLADOS>. Acesso em: 10 mai. 2018.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. 236 f. Doutorado: Engenharia Civil e Urbana. São Paulo – SP, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aditivos para Concreto de Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248 - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2001.

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779 - Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL, **Resolução CONAMA n° 307**, de 5 de julho de 2002. Gestão de resíduos e produtos perigosos – Tratamento. Publicado no DOU n° 136, de 17/07/2002, págs. 95-96.

CARDOSO, Afrodite da Conceição Fabiana et al. Estimativa de Geração de Resíduos da Construção Civil e Estudo de Viabilidade de Usina de Triagem e Reciclagem. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Criciúma, Santa Catarina, n. 31, p. 10, 2014. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/31-03_Materia_1_artigos386.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2018.

CITYEQUIP. **AirCrawler 1200 and AirCrawler 1600: Added Value, Environmental Protection, Advantage.** Germany, entre 2008 e 2018. Disponível em: <<https://cityequip.com/en/separating/air-separators/aircrawler-1200-and-aircrawler-1600>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

CUNHA, André Vieira da. **Concreto de cimento Portland: Abordagem da qualidade com ênfase em métodos estáticos**. 2014. 75 f. Monografia (Conclusão de curso) – Curso de engenharia civil, UNIFOR, Formiga – MG, 2014.

GONÇALVES, Rodrigo Dantas Casillo. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais**. 2001. 148 f. Mestrado: Engenharia de Estruturas. São Carlos – SP, 2001.

GRUBBA, David Christian Regis Pereira. **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária**. 2009, 163 f. Mestrado – Engenharia Civil, Transportes – Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2009.

GUSMÃO, Alexandre; FUCALE, Stela. **Gestão dos resíduos da construção e demolição**. Recife, Pernambuco, 2013. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/ANEAC/grcd-microsoft-power-point-rcdintroduo>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo, Pini Editora, 1993, 350 p.

KARPINSKI, Luisete Andreis. Et al **Proposta de gestão de resíduos da construção civil para o município de Passo Fundo – RS**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 2008.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001, 290 f. Doutorado: Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto alegre – RS, 2001.

MANFRINATO, Jair Wagner de Souza; ESGUÍCERO, Fábio José; MARTINS, Benedito Luiz. **Implementação de usina para reciclagem de resíduos da**

construção civil (RCC) como ação para o desenvolvimento sustentável – estudo de caso. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 2008.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008, 674 p.

MOREIRA, L. H. H.; FIGUEIREDO, A. D. **Influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural.** São Paulo: EPUSP, 2010. 17 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/563).

NAVARRO, R.F. A evolução dos materiais – Parte 1: Da Pré-história ao início da Era Moderna. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande – SP, v. 1.1, 11 f, 2006. Disponível em: <<https://aplicweb.feevale.br/site/files/documentos/pdf/32246.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto.** 2ª edição. Porto Alegre: Bookman Editora LTDA, 2013, 447 p.

PEDROSO, Fábio Luiz. Concreto: Material construtivo mais consumido no mundo. **Revista Concreto e Construções**, São Paulo, n. 53, p. 14-15, mar 2009.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Dosagem e controle da qualidade de concreto convencionais de cimento Portland.** 3ª edição. Porto Alegre: ediPUCRS, 2015, 121 p.

SANTOS, Ana Amélia dos. **Concreto com agregado graúdo reciclado de concreto: Dosagem e produção.** 2016, 135 f. Mestrado: Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana – BA, 2106.

SCHAMNE, A. N.; MIRANDA, L. F. R.; VOGT, V. Equipamentos de reciclagem de resíduos da construção civil: mecanismos de separação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16. 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SILVA, César Augusto Rodrigues. **Estudo do agregado reciclado de construção civil em misturas betuminosas para vias urbanas**. 2009. 220 f. Mestrado – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro preto – MG, 2009.

SOUZA, E.; MARINHO, G.; DEGRAF, H.; SANTOS, L.; MIRANDA, L.; VOGT, V. Avaliação da influência do tipo de britador nas propriedades de agregados reciclados graúdos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16. 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SOUZA, Leandro Moreno de; ASSIS, Cleber Decarli de; SOUTO, Sílvia Barroso Gomes. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria – RS, v. 18, p.273-278, abril. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/11297/pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

TOMRA. **AutoSort**. Asker - Noruega, 2018. Disponível em: <<https://www.tomra.com/en/sorting/recycling/products/autosort>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

TROIAN, Aline. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto**. 2010, 129 f. Mestrado: Engenharia Civil – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo – RS, 2010.

VIEIRA, Geilma Lima; DAL MOLIN, Denise Carpena Coutinho. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Ambiente Construído, v. 4, n. 4, p. 47 – 63, Porto alegre – RS, 2004.



UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09