

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BRUNO PAVEZI

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO  
AGREGADO MIÚDO NATURAL POR RESÍDUOS DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL SOBRE AS PROPRIEDADES DO  
CONCRETO

MARINGÁ

2018

**BRUNO PAVEZI**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO  
AGREGADO MIÚDO NATURAL POR RESÍDUOS DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL SOBRE AS PROPRIEDADES DO  
CONCRETO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá.

Orientador: Prof. Dr. Generoso De Angelis Neto

**MARINGÁ**

**2018**

**BRUNO PAVEZI**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO  
AGREGADO MIÚDO NATURAL POR RESÍDUOS DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL SOBRE AS PROPRIEDADES DO  
CONCRETO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá.

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Generoso de Angelis Neto – Universidade Estadual de Maringá

---

Prof. Dr. Romel Dias Vanderlei – Universidade Estadual de Maringá

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Berenice Martins Toralles – Universidade Estadual de Londrina

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por me dar forças para continuar e a cada dia me surpreender com as boas pessoas que pôs no meu caminho.

À Fundação Araucária pela bolsa, com a qual me mantive no decorrer do programa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Generoso De Angelis Neto, pela orientação, conselhos, paciência, compreensão e sobretudo pela amizade, que foi essencial neste processo.

Ao Prof. Dr. Romel Dias Vanderlei, pela orientação, conselhos, paciência, compreensão.

Aos membros do Laboratório de Materiais de Construção, professor José Wilson e técnico Márcio, pelo apoio em todas as atividades laboratoriais.

Aos meus amigos e companheiros de laboratório André Fogolin, Vinícius Hirotoni, Willian de Oliveira, pelo companheirismo e esforços conjuntos nos trabalhos em laboratório.

## RESUMO

A crescente demanda por recursos, renováveis ou não, decorrente do aumento populacional e crescente industrialização, tem gerado cada vez mais impactos sobre o meio ambiente, bem como reduzindo os recursos não renováveis disponíveis. O que motiva cada vez mais, a busca por materiais alternativos, principalmente no que diz respeito à construção civil, sendo o setor que mais gera resíduos e consome recursos. Uma das alternativas, presente em cada vez mais estudos ao redor do mundo, é a reutilização de tais resíduos como materiais alternativos no próprio setor. Esta pesquisa, em particular, trata da avaliação sobre as propriedades do concreto ao se substituir o agregado miúdo natural por resíduo de construção civil. O resíduo foi utilizado in natura, passando apenas por separação entre fase graúda e fase miúda. Avaliou-se o concreto produzido pela consistência, massa específica, resistência à compressão, módulo de elasticidade, absorção de água. Embora tal substituição tenha levado a reduções de desempenho, tanto pela queda na resistência e módulo de elasticidade, quanto pelo aumento na taxa de absorção de água e consequente porosidade, observa-se que o resíduo estudado pôde ser utilizado para produção de concreto.

**Palavras-chave:** Resíduos da Construção Civil – RCC; Agregado Miúdo Reciclado; Módulo de Elasticidade; Resistência à Compressão; Absorção de Água.

## ABSTRACT

The growing demand for resources, whether renewable or not, resulting in population growth and increasing industrialization, has an increasing effect on the environment as well as non-renewable capacities. What motivates more and more, the search for alternative materials, mainly in what concerns the civil construction, being the sector that generates more waste and consumes resources. One of the alternatives, present in more and more studies around the world, is a reuse of such processes as alternative materials in the sector itself. This research, in particular, deals with the evaluation of soil properties for the replacement of the natural aggregate by civil construction. The product was used in natura, passing the phase in phase of phase and small phase. A is the code produced by consistency, mass of direction, reaction to compression, modulus of elasticity, absorption of water. Moreover, the reduction of the strength and the modulus of elasticity, such as the rate of water absorption and consequent porosity, it is observed that the analysis rate studied was reused.

Keywords: Civil Construction Waste - RCC; Added Kid Recycled; Modulus of elasticity; Resistance to Compression; Water Absorption.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 2.1 – Composição do Resíduos da Construção Civil de Porto Alegre - RS .....	15
Figura 4.1 – Resíduo de concreto no estado natural.....	33
Figura 4.2 - Separação do resíduo em frações: (a) fração miúda, passante na peneira #4,8 mm, e (b) fração graúda, retida na peneira #4,8 mm. ....	34
Figura 5.1 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural.....	39
Figura 5.2 – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado. ....	40
Figura 5.3 – Curva granulométrica do agregado graúdo. ....	41
Figura 5.4 – Massa específica para as composições entre areia e resíduo. ....	42
Figura 5.5 – Abatimento por teor de incorporação.....	43
Figura 5.6 – Massa específica dos concretos.....	44
Figura 5.7 – Retífica utilizada para regularização da superfície dos corpos de prova .....	45
Figura 5.8 – Máquina Universal de Ensaio EMIC MUE 100.....	45
Figura 5.9 – Resistência à compressão do concreto. ....	46
Figura 5.10 – Máquina Universal de Ensaio Instron Emic 600.....	46
Figura 5.11 – Módulo de Elasticidade dos concretos produzidos. ....	47
Figura 5.12 – Absorção de água dos concretos. ....	48

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 4.1 – Traço de Referência utilizado na moldagem de concreto.....	34
Tabela 4.2 – Exigências físicas e mecânicas para o cimento CPV-ARI .....	35
Tabela 4.3 – Variações do Traço de Referência, com substituição da areia por RCC. ....	37
Tabela 4.4 – Número de corpos de prova por teor de substituição para cada ensaio .....	37
Tabela 5.1 – Características do agregado miúdo natural (areia) .....	39
Tabela 5.2 – Características do RCC.....	40
Tabela 5.3 – Características do agregado graúdo .....	41
Tabela 5.4 – Composição entre areia e resíduo de concreto. ....	42
Tabela 5.5 – Composição entre resíduo de concreto e areia. ....	42



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	Objetivo geral.....	12
1.1.2	Objetivos específicos.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	12
1.3	METODOLOGIA RESUMIDA.....	13
2	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	14
2.1	ESTIMATIVA DE GERAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	16
2.2	DEPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	17
2.3	AGREGADOS RECICLADOS.....	18
2.4	APLICAÇÕES PARA AGREGADOS RECICLADOS.....	20
2.5	GESTÃO, LEGISLAÇÃO E REFERÊNCIAS NORMATIVAS.....	20
3	CONCRETO.....	23
3.1	COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DO CONCRETO.....	23
3.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	24
3.3	CIMENTO PORTLAND.....	25
3.4	AGREGADOS.....	27
3.5	MICROESTRUTURA DO CONCRETO.....	27
3.6	CONCRETO COM AGREGADO RECICLADO.....	27
3.6.1	Consistência.....	28
3.6.2	Massa Específica.....	29
3.6.3	Resistência à compressão.....	29
3.6.4	Módulo de elasticidade.....	30

3.7	TRABALHOS REALIZADOS COM CONCRETOS UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS .....	31
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	33
4.1	COLETA E PREPARAÇÃO DO RESÍDUO DE CONCRETO.....	33
4.2	TRAÇO DO CONCRETO DE REFERÊNCIA .....	34
4.3	MATERIAIS E CARACTERIZAÇÃO .....	35
4.3.1	Cimento CPV-ARI .....	35
4.3.2	Agregados.....	35
4.3.2.1	Agregado miúdo natural .....	35
4.3.2.2	Agregado miúdo reciclado.....	36
4.3.2.3	Agregado graúdo natural .....	36
4.3.3	Água de Amassamento .....	37
4.4	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	37
4.5	CONFECÇÃO E ENSAIOS DO CONCRETO .....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS .....	39
5.1.1	Agregado Miúdo Natural.....	39
5.1.2	Fração miúda do Resíduo de Construção Civil .....	40
5.1.3	Agregado Graúdo Natural .....	41
5.2	ESTUDO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS .....	42
5.3	PROPRIEDADES DO CONCRETO MOLDADO.....	43
5.3.1	Estado Fresco.....	43
5.3.1.1	Abatimento de tronco de cone .....	43
5.3.1.2	Massa Específica .....	43
5.3.2	Estado Endurecido .....	44
5.3.2.1	Resistência à Compressão .....	45

		10
5.3.2.2	Módulo de Elasticidade .....	46
5.3.2.3	Absorção de Água .....	47
6	CONCLUSÕES .....	49
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população e da industrialização nas últimas décadas condicionou um aumento exponencial do consumo de recursos, renováveis ou não, bem como os consequentes impactos ambientais resultantes da implantação e operação de atividades produtivas.

A construção civil, que é um dos setores que mais empregam e produzem, também é o maior gerador de resíduos do Brasil, em parte pela utilização de técnicas ultrapassadas e mão-de-obra não especializada. Contudo, nem sempre é possível ou economicamente viável evitar a geração de resíduos, mas sua disposição randômica, caso frequente na construção civil, é um indicador de mau planejamento além de um notório desperdício, uma vez que muitos resíduos possuem propriedades que permitem sua reciclagem ou reutilização.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 307, define em seu Art. 2, inciso I, os resíduos da construção civil (RCC) como sendo:

“[...] os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;”

A mesma portaria classifica os resíduos da construção civil (RCC) de acordo com sua periculosidade ou possibilidade de reutilização ou reciclagem.

- Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados;
- Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações;
- Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção.

Nos últimos anos, os RCC de classe A e B têm sido objeto de vários estudos que investigam a viabilidade técnica e econômica de sua utilização como material de construção, por exemplo, como agregado reciclado para concretos.

A reciclagem dos resíduos de classe A como agregados possui uma limitação, que é a não utilização para fins estruturais, devido à dificuldade em garantir a não contaminação dos resíduos e a homogeneidade e constância das propriedades do mesmo, como é o caso dos

resíduos de demolição, que apresentam composições variáveis de resíduos de aço, reboco, material cerâmico, entre outros.

Dentre os resíduos de classe A, encontram-se os resíduos de artefatos de concreto, oriundos principalmente de usinas de concreto e fábricas de pré-moldados, que é o resíduo adotado na presente pesquisa. Trata-se de um resíduo composto apenas por concretos cuja grande variação encontra-se na diferença dos traços e conseqüente resistência e consumo de cimento e agregados.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Estudar a influência sobre as propriedades mecânicas do concreto ao substituir gradualmente o agregado miúdo natural (areia) pela fração miúda de RCC proveniente de uma fábrica de artefatos de concreto da região de Maringá.

### 1.1.2 Objetivos específicos

1. Obter o RCC objeto deste estudo.
2. Conhecer as características do RCC a fim de realizar o planejamento das substituições.
3. Definir o traço a ser utilizado e os ensaios a serem realizados, a fim de conhecer a quantidade de material a ser consumida e número de corpos de prova cilíndricos a serem moldados de modo que os resultados obtidos sejam representativos.
4. Correlacionar os teores de substituição de resíduo e os parâmetros físicos do concreto, tais como consistência, massa específica, resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

No Brasil, a construção civil gera de 50 a 70% de todos os resíduos sólidos, sendo, portanto, responsável por grandes danos ao meio ambiente. De modo que se faz necessário buscar meios de diminuir tais impactos.

Atualmente, a incorporação de resíduos a compósitos cimentícios mostra-se como uma alternativa à simples disposição, sendo responsável tanto pela destinação, quanto por cortes de custos produtivos.

Dentre estes resíduos, destacam-se dentro da Classe A os resíduos de concreto, que por se tratar de um resíduo mais homogêneo e resistente, estuda-se a possibilidade de

aplicação para fim estrutural, o que é geralmente vedado aos outros resíduos de construção civil.

### 1.3 METODOLOGIA RESUMIDA

Para cada objetivo específico pode-se associar uma ação metodológica correspondente, conforme descrito no Quadro 1.1.

**Quadro 1.1 – Correlação entre objetivos específicos e ações metodológicas.**

	Objetivo	Ação Metodológica
1	Obter o RCC.	Captação, transporte, triagem primária e armazenamento do RCC.
2	Conhecer as características do RCC.	Realizar ensaios de caracterização (Composição Granulométrica e Massa Específica) dos agregados naturais e do RCC.
3	Definir o traço a ser utilizado e dos ensaios a serem realizados.	Realizar pesquisa bibliográfica buscando trabalhos que tenham realizado moldagem de concretos que possuam características como presença de resíduos, material pulverulento e materiais semelhantes aos disponíveis na região noroeste do Paraná.
4	Correlacionar os teores de substituição de resíduo e os parâmetros físicos do concreto.	Realizar os ensaios de caracterização do concreto no estado fresco (Abatimento de Tronco de Cone e Determinação da Massa Específica) e no estado endurecido (Resistência à Compressão, Módulo de Elasticidade e Absorção de Água).

## 2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), os resíduos da construção civil (RCC) são aqueles provenientes de construção, reformas, reparos e demolição de obras, além dos resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Nesse contexto se enquadram os tijolos, blocos cerâmicos, artefatos de concreto, solos, rochas, metais, resinas, tintas, madeiras e compensados, argamassas, gesso, telhas, pavimentos asfálticos, vidros, plásticos, tubulações, fiações elétricas, entre outros.

Vieira (2003) define RCC como todo material oriundo de atividades de demolição de obras civis, restos de obras ou reformas. Ângulo (2000) acrescenta afirmando ser todo e qualquer resíduo oriundo das atividades de construção, seja de novas construções, reformas e demolição, desde que envolvam atividades de obra de arte, solos ou resíduos de vegetação oriundos da limpeza dos terrenos.

Ângulo (2000) também cita os diferentes tipos de nomenclaturas no meio científico para se referir a esse tipo de resíduo. Alguns definem como Resíduos de Construção e Demolição – RCD, outras já definem como entulhos. Isso acontece devido ao desacordo em função da abrangência das frações de matérias presentes e as atividades geradoras materiais. Atualmente o termo RCC predomina.

Segundo Zordan (1997) os RCC apresentam características físicas variadas que dependem do modo que foram gerados, podendo ser encontrado tanto em dimensões e geometria semelhantes aos agregados, como em dimensões e formatos irregulares, como no caso de pedaços de madeira, argamassas, concretos, plásticos, metais etc.

Levy (1997) afirma que determinado resíduo pode ser produzido em um setor onde existam diferentes técnicas e metodologias de produção, de modo que além da variação da produção, pode ocorrer também a variação das características do resíduo, como é o caso de concretos de diferentes dosagens. A coleta desse material também é um ponto importante a se destacar, tendo em vista que a construção civil desenvolve muitas atividades dentro de um canteiro de obras, e a não separação dos resíduos oriundos de diferentes atividades gera um material bastante heterogêneo de características que variam ao longo do processo produtivo, como afirma Zordan (1997).

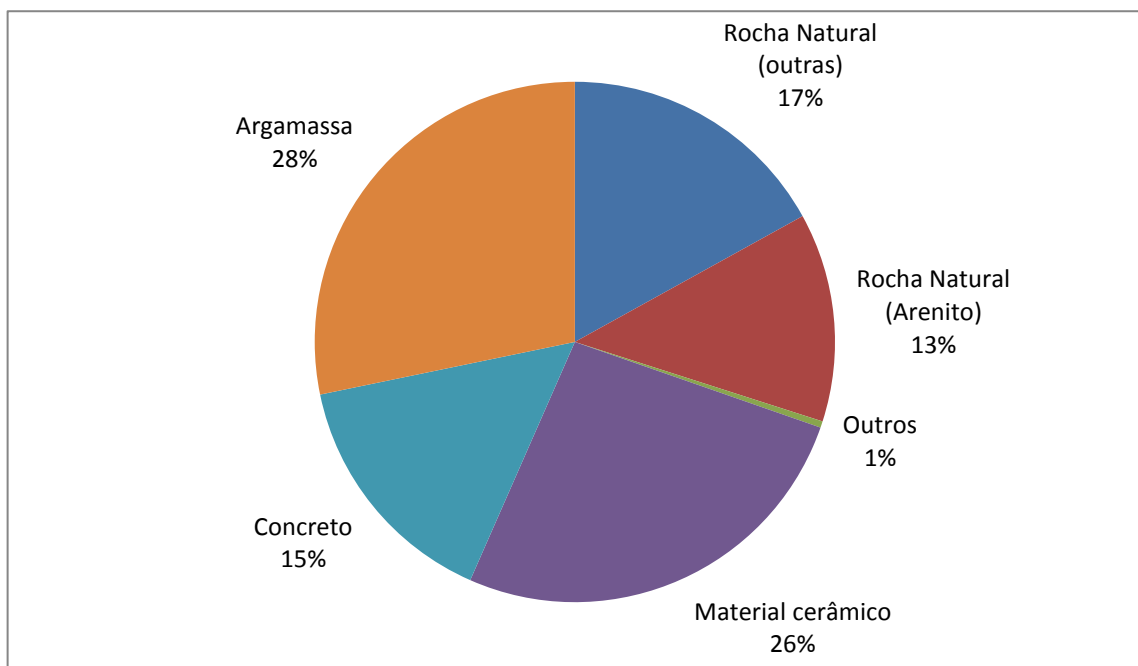
Kazmierczak et al. (2006) realizaram um estudo de caso comparando o RCC das cidades de São Leopoldo e Novo Hamburgo, região metropolitana de Porto Alegre – RS, e constataram que os percentuais das composições após o descarte das impurezas não

apresentaram grandes diferenças entre si. Os valores encontrados foram respectivamente, 22% e 34% para argamassa, 32 e 23% para cerâmica e 26% e 27% para concreto.

Já Leite (2001) analisou a composição do RCC da cidade de Porto Alegre – RS a partir da triagem na fonte do resíduo, seguida de um processo de coleta visual dos resíduos. O estudo foi realizado em um aterro inerte, localizado em um bairro na zona sul do Porto Alegre – RS. Desse modo o tipo de resíduo coletado no local pode ser tanto da etapa de construção quanto da etapa de manutenção e de demolição.

Os resultados encontrados por Leite (2001) apresentaram os seguintes materiais: material cerâmico (blocos, tijolos, telhas, revestimentos de piso e paredes), argamassas (revestimento e assentamento), concreto e pedras naturais. Na triagem ocorrida em laboratório foram descartados papel, papelão, pedaços de madeira, barras de aço, vidros, gessos e quaisquer outras impurezas que pudessem afetar o desempenho do concreto de forma significativa. Os resultados encontrados por Leite (2001) podem ser vistos na Figura 2.1.

**Figura 2.1 – Composição do Resíduos da Construção Civil de Porto Alegre - RS**



Fonte: Adaptado de Leite (2001)

A ideia de reciclar RCC vem do século I A.C., quando os romanos não provinham de materiais vulcânicos para empregar em suas construções, faziam uso de tijolos, telhas ou cerâmicas moídas como agregado para se misturar com a cal, produzindo argamassas de pozolana e cal (RODRIGUES et al., 2000; SCHULZ e HENDRICKS, 1992 apud LEITE,



2001). Já Devenny e Khalaf (1999) fazem referência aos primeiros relatos da utilização de blocos de concreto para a produção de novos concretos na Alemanha, em meados de 1860. A utilização em ampla escala destes materiais, na Alemanha, se deu no fim da Segunda Guerra Mundial, dando-se uma destinação adequada ao acúmulo de resíduos produzidos pela destruição das edificações. De acordo com Leite (2001), os resíduos produzidos no pós-guerra também foram utilizados em algumas cidades da Inglaterra, sendo que a partir deste marco vários trabalhos foram desenvolvidos, comprovando o potencial destes resíduos como matéria-prima na produção de agregados para a construção.

Leite (2001) também diz que o primeiro estudo nacional realizado para comprovar a eficácia na utilização de RCC foi feito pelo arquiteto Tarcísio de Paula Pinto no ano de 1986, sendo que na sequência pode-se citar, dentre outros, estudos feitos por Zordan (1997), Latterza (1998) e Lima (1999). Juntamente com o desenvolvimento destes estudos pode-se evidenciar a utilização empírica nos canteiros de obras de “maseiras-moinho” a partir dos anos 1980, como equipamentos para reciclagem de pequenos volumes de RCC gerados dentro do próprio canteiro, utilizando o agregado reciclado como parte constituinte de novas argamassas. (ZORDAN, 1997).

De acordo com Zordan (1997) a primeira experiência brasileira com a reciclagem de grandes volumes é mais recente, sendo iniciada no ano de 1991, com a inauguração da primeira usina de reciclagem de entulho do Hemisfério Sul, localizada na cidade de São Paulo. A partir desta, várias outras usinas foram inauguradas ao longo de todo o território nacional, sendo que o seu sucesso ou fracasso sempre estava ligado ao correto planejamento da logística envolvendo o entulho gerado na cidade.

## 2.1 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Mehta (2002) cita que são geradas mundialmente  $900 \times 10^6$  t/ano de RCC, sendo que grande parte desse volume não era reciclada devido à então existência de regulamentações normativas restritivas que impedem a utilização de materiais reciclados.

Na União Europeia, a quantidade de resíduos de construção é estimada em cerca de  $170 \times 10^6$  t/ano, sendo que desse total, 41% é representado por resíduos de concreto, 40% de rejeitos de alvenaria, 12% de resíduos de asfalto e o restante por resíduos de cerâmicas e azulejos (VAN ACKER, 1996). Dados mais recentes indicam um volume total de  $216 \times 10^6$

t/ano (MARCIANO JR, 2000). Segundo Oikonomou (2005) e Van Acker (1996), na União Europeia, são geradas cerca de 500 Kg de RCC/habitante/ano.

Conforme Vazquez (2005), a Holanda é líder absoluta na reciclagem de RCC (mais de 90% dos resíduos são reciclados); a Bélgica está logo a seguir com 87% dos resíduos reciclados, empregando esse montante da seguinte maneira: 70% dos resíduos destinam-se para rodovias e o restante, aproximadamente 17%, para a produção de concreto. Na Espanha, a quantidade de resíduos de concreto gerado é estimada em  $7,7 \times 10^6$  t/ano (20% do total de RCC) (VAZQUEZ, 2005). Em Portugal, segundo Ruivo e Veiga (2004), apenas 5% dos RCC são reciclados.

Pode-se notar que a quantidade de resíduos gerados no setor da construção civil é grande, sendo os RCC responsáveis por 54% a 70% do total de resíduos sólidos gerados na maioria dos municípios brasileiros (HALMEMAN; SOUZA; CASARIN, 2009).

No cenário nacional, os RCC têm sido coletados, segundo o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento - SNIS (BRASIL, 2010), no montante de  $7,2 \times 10^6$  t/ano (coletados de origem pública) e de  $7,4 \times 10^6$  t/ano (coletados de origem privada), totalizando  $14,6 \times 10^6$  t/ano (IPEA, 2012).

Em contrapartida a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), fala que somente no ano de 2015 foram gerados  $84,2 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, sendo que, em todo país, em média são reciclados somente  $5,2 \times 10^6$  m<sup>3</sup> desse resíduo.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (IBGE, 2010) constatou que, dos 5.564 municípios brasileiros, 4.031 apresentam serviços de manejo de RCC, sendo que, entre estes, 392 municípios (9,7%) possuem alguma forma de processamento dos resíduos (IPEA, 2012).

Segundo o SNIS (BRASIL, 2010), 4.513.272 t chegam às áreas de transbordo de RCC, aterro de RCC e áreas de reciclagem, o que representa apenas 31% dos resíduos coletados (público e privado) nos 373 municípios pesquisados. (IPEA, 2012)

A PNSB indica que 1.330 municípios (32,9%) ainda dispõem os RCC em vazadouros e 442 municípios (10,9%) dispõem os RCC em aterros sanitários juntamente com demais resíduos (IPEA, 2012).

## 2.2 DEPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Pinto (1999) diz que obras de médio e pequeno porte, mais precisamente aquelas relacionadas a reformas e demolições, acabaram gerando mais resíduos por falta de uma

gestão eficiente dos órgãos fiscalizadores bem como pela falta de uma cultura e consciência ambiental por parte dos construtores e da população. Como não existem soluções práticas para a captação dos RCC deste tipo de construção, inevitavelmente, seus geradores ou pequenos coletores, buscarão áreas livres nas proximidades para efetuar a deposição dos RCC.

Os resíduos de construção civil são geralmente depositados indiscriminadamente em vales, margens de rios, a céu aberto, em terrenos baldios, em vias públicas ou em aterros desprovidos de qualquer tratamento específico. Apesar da Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002) e de algumas iniciativas setoriais proibirem a deposição irregular de resíduos, essa ainda é uma prática frequente em inúmeras cidades brasileiras.

De acordo com Ângulo (2005), as deposições ilegais de resíduos ocorrem em função dos custos e distâncias que envolvem o transporte desses materiais. Pinto (2004) ainda afirma que o entulho, por ser considerado uma material não-deteriorável, que teoricamente não oferece risco de contaminação, tem sido gerido de forma sistematicamente marginal. Contudo, Ângulo (2005) cita que componentes orgânicos presentes no RCC, tais como, plásticos, tintas, óleos, asfaltos e madeiras podem contaminar os aterros ou colocar em risco a saúde das pessoas.

Segundo Ruivo e Veiga (2004), a construção de uma edificação pode gerar resíduos químicos ou perigosos que podem contaminar os outros materiais presentes no RCC.

Cavalcanti (2004) ainda completa que a deposição dos resíduos de construção civil, de forma descontrolada, acarreta uma série de custos ambientais. Além disso, há os custos referentes ao gerenciamento da deposição clandestina e ao não reaproveitamento desses resíduos que poderiam ser reciclados e utilizados em obras públicas.

Havendo ou não a aceitação da vizinhança imediata, essas áreas acabam por se firmar como tragadouro dos RCC, num “pacto” local, atraindo por fim, todo e qualquer tipo de resíduo para o qual não se tenha uma solução de captação rotineira (PINTO, 1999).

### 2.3 AGREGADOS RECICLADOS

Atualmente buscam-se soluções para diversos problemas ambientais, dentre eles o destino final de resíduos da construção civil, conhecido como RCC. A fração mineral inerte do RCC vem cada vez mais sendo beneficiada e reutilizada na confecção de produtos reciclados, assim como brita, areia e outros artefatos.

Segundo a NBR 10.004 (2004) os resíduos provenientes da construção civil podem ser classificados como uma mistura de materiais inertes, não perigosos, e conforme as classes da Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), estes se classificam como classe II B, caracterizando-se por ter baixa degradação. Uma das principais vantagens deste resíduo é a possibilidade de reutilização no próprio processo, ou na obtenção de produtos para o mesmo, pois segundo Pires (2003), cerca de 90% do volume corresponde a materiais desta classe, podendo ser reutilizados.

Celestino (2013) diz que agregado reciclado é todo agregado proveniente de processos de fabricação, que ao invés de utilizarem como matéria-prima a rocha sã de jazidas naturais, utilizam os resíduos de construção e demolição ou os resíduos cimentícios, previamente separados e classificados, como matéria-prima para alimentar os britadores das usinas de reciclagem, produzindo assim agregados de diferentes granulometrias.

O agregado reciclado é uma mistura de agregado graúdo e miúdo, gerado pela operação de britagem, em geral com o britador de mandíbula. A porcentagem de cada agregado depende basicamente da granulometria e da composição do entulho, bem como do diâmetro máximo do agregado graúdo reciclado. A granulometria desejada pode ser obtida mediante pequenos ajustes na abertura do britador e pelo conjunto de peneiras instalado. Em geral, o agregado reciclado apresenta uma forma mais irregular e uma textura superficial mais áspera e porosa. Os estudos realizados sobre a utilização de agregados reciclados confirmam a potencialidade do seu uso na produção de diversos subprodutos e materiais de construção (PINTO, 1997).

A aplicação do agregado reciclado na produção de concreto apresenta algumas vantagens semelhantes às da pavimentação, além de apresentar a possibilidade de melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza baixo consumo de cimento (CARNEIRO, 2001).

Em 2004 a ABNT publicou as primeiras normas nacionais que especificam prescrições técnicas referentes aos agregados provenientes da reciclagem, como se verá mais adiante. Estas tratam desde a instalação de recebimento do material até a aplicação destes em pavimentação ou em concretos sem função estrutural, como será visto adiante.

Com relação às unidades de reciclagem existentes no Brasil, pode-se dizer que o déficit de instalações de reciclagem é considerável. No país, existiam apenas 18 instalações de reciclagem com escala de produção pequena (menor que 100 t/dia de resíduos processados) em 2007. De acordo com Buttler (2007), considerando-se a escala de produção das usinas de reciclagem em funcionamento no país e a taxa média de geração de 445 kg/hab.ano de RCC,

chega-se à conclusão que o país precisaria de, no mínimo, 2.300 usinas para processar o volume gerado diariamente.

Na Alemanha, conforme Müller (2006), são cerca de 1.600 plantas fixas de reciclagem e 3.313 plantas móveis de reciclagem que processaram, em 2005,  $59 \times 10^6$  t de RCC, sendo que 55% desse total foram processados pelas plantas móveis.

## 2.4 APLICAÇÕES PARA AGREGADOS RECICLADOS

Kulaif (2001, apud MOTTA, 2005) destaca o baixo custo do agregado reciclado comparado ao agregado natural, e afirma que o consumo energético é menor, bem como a logística de transporte é mais simples, percorrendo menores distâncias, uma vez que os resíduos são gerados em muitos lugares, diferente das localizações de jazidas naturais.

A substituição dos agregados naturais pode ser feita por meio de agregados oriundos de:

- Argamassas (GUIMARÃES; RIBEIRO, 2005; MOTTA, 2005; RON et al., 2008; SILVA, 2009);
- Concretos (GUIMARÃES; RIBEIRO, 2005; MOTTA, 2005; RON et al., 2008; SILVA, 2009);
- Cerâmicas (GUIMARÃES; RIBEIRO, 2005; MOTTA, 2005; SILVA, 2009);
- Rejeito de rochas ornamentais (RIBEIRO, 2007).

Segundo Ângulo (2005), as normas brasileiras para concretos alternativos com agregados reciclados, são as mais conservadoras, pois enquanto as europeias admitem o uso desses até resistências de 25 MPa, no Brasil o limite é de 15 MPa. Além disso, o uso de agregados miúdos reciclados não é comum em nosso país.

## 2.5 GESTÃO, LEGISLAÇÃO E REFERÊNCIAS NORMATIVAS

A Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002) é considerada o principal marco regulatório para a gestão dos RCC e dispõe sobre as responsabilidades dos municípios em implementarem seus planos de gerenciamento integrado de RCC, bem com diretrizes, critérios e procedimentos para o manejo adequado destes resíduos.

Os instrumentos legais na esfera nacional relacionados à gestão e ao gerenciamento dos RCC são elencados a seguir:

- Decreto Nº 7.404/2010: Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a PNRS, cria o Comitê Interministerial da PNRS e o Comitê Orientador para a Implantação dos sistemas de logística reversa, e dá outras providências.
- Lei Federal Nº 12.305/2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos ou PNRS, altera a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
- Lei Federal Nº 11.445/2007: Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766 (Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano), de 19 de dezembro de 1979, nº 8.036 (Dispõe sobre o Fundo de Garantia do Tempo de Serviço), de 11 de maio de 1990, nº 8.666 (Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública), de 21 de junho de 1993 e nº 8.987 (Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal), de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528 (Dispunha sobre as tarifas dos serviços públicos de saneamento básico), de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.
- Resolução CONAMA Nº 348/2004: Altera a Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.
- Resolução CONAMA Nº 307/2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC.
- Lei Federal Nº 10.257/2001: Estatuto das Cidades: regulamenta os Artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.
- Lei Federal Nº 9.605/1998: Lei de Crimes Ambientais: dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
- Lei Federal Nº 6.938/1981: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) publicou em 2004 uma série de normas relativas aos resíduos sólidos e aos procedimentos para o gerenciamento dos RCC, de acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), conforme segue:

- NBR 10.004 (2004): Resíduos sólidos (classificação)

- NBR 15.112 (2004): RCC e resíduos volumosos - áreas de transbordo e triagem (diretrizes para projetos, implantação e operação).
- NBR 15.113 (2004): RCC e resíduos inertes - aterros (diretrizes para projetos, implantação e operação).
- NBR 15.114 (2004) : RCC - áreas para reciclagem (diretrizes para projetos, implantação e operação).
- NBR 15.115 (2004) : Agregados reciclados de RCC - execução de camada de pavimentação (procedimentos)
- NBR 15.116 (2004): Agregados reciclados de RCC - utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural (requisitos)

Na Espanha, segundo Alaejos et al (2004), na revisão das regulamentações normativas para a utilização de agregados reciclados em concretos com fins estruturais, deverão ser incluídas algumas limitações para a utilização de agregados reciclados em concretos estruturais, entre as quais destaca – se:

- a) A utilização de agregados reciclados será permitida apenas para os concretos massas e armado, sendo vedado o emprego destes agregados para o concreto protendido;
- b) Apenas será permitida a utilização de agregados reciclados provenientes de resíduos de concreto;
- c) Somente o agregado graúdo reciclado poderá ser utilizado para a produção de concretos estruturais, para níveis de substituição, em massa, de até 20%;
- d) O concreto com agregado reciclado somente poderá ser produzido em usinas de concreto pré – misturado.

Conforme exposto nesta seção, o poder público tem se esforçado para elaborar regras para disciplinar a gestão e a reciclagem do RCC. A Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002) estabelece diretrizes e procedimentos para a gestão do RCC nos municípios, visando à minimização dos impactos ambientais e econômicos causados pela elevada geração destes resíduos. A série de normas da ABNT é uma complementação da resolução do CONAMA, estabelecendo diretrizes para a triagem, destinação adequada (aterros de inertes e usinas de reciclagem) e aplicação do agregado reciclado em concretos sem fins estruturais e pavimentação.

### 3 CONCRETO

De acordo com Carvalho (2013), há registros da utilização de materiais cimentícios pelos povos gregos e egípcios por volta do século II A.C. A construção das pirâmides contou com a utilização de argamassas a base de gesso, enquanto os povos gregos utilizavam calcário em suas misturas. Tempos depois, os romanos passaram a utilizar cinzas vulcânicas com argila e cal, gerando uma massa mais durável.

Segundo Carvalho (2008), avanços significativos na tecnologia do cimento são observados a partir de experimentos de Smeaton e Vicat no século XVIII. Em 1824, Joseph Aspdin desenvolveu uma mistura de calcário calcinado e argila em forma de um pó fino que quando seco adquiria resistência comparável às rochas então usadas em construções. Este produto recebeu o nome de cimento Portland por apresentar semelhanças às rochas existentes na ilha de Portland na Inglaterra. O desenvolvimento de constantes estudos e pesquisas levou ao aprimoramento contínuo desse material e à construção de estruturas em concreto, mais leves, esbeltas, resistentes e mais bem compreendidas tecnicamente, tornando esse material o mais utilizado nas estruturas em todo o mundo.

#### 3.1 COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DO CONCRETO

Na composição do concreto, a hidratação do cimento produz uma matriz constituída por diversas fases mineralógicas associadas a uma estrutura de vazios que na presença de partículas de agregados miúdos e graúdos, forma um material contínuo e estruturalmente estável.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o concreto possui uma estrutura altamente complexa e heterogênea e as suas propriedades físico-químicas e mecânicas, as quais condicionam o seu emprego, dependem dos três constituintes de sua microestrutura: a pasta de cimento hidratada, o agregado e a zona de transição na interface entre a pasta de cimento e o agregado. Assim, o concreto é entendido como um material constituído de partículas de agregado envolvidos por uma matriz de pasta de cimento, com uma zona de transição entre elas e cuja relação entre estas três fases tem importância fundamental nas suas propriedades. O estudo de sua microestrutura permite identificar os mecanismos responsáveis pela resistência, estabilidade dimensional e durabilidade das misturas e através do controle da estrutura do concreto, as suas propriedades podem ser modificadas a fim de se obter um desempenho específico para determinada aplicação.



O comportamento do concreto quando submetido a esforços pode ser explicado quando a interface pasta-agregado ou zona de transição é analisada separadamente. A zona de transição é uma região de maior porosidade e constituída de uma fina camada de água, formada ao redor do agregado de modo a enfraquecer a ligação com a pasta. Esta região é considerada a fase mais fraca na resistência do concreto e a sua presença ocasiona a ruptura do material a baixo nível de tensão (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o processo de hidratação do cimento que dá origem a matriz, resulta em três elementos principais e que caracterizam a pasta de cimento endurecida:

- a) Silicato de cálcio hidratado (C-S-H): representa de 50 a 60% do volume de sólidos presentes na pasta de cimento e é responsável pela resistência da mistura a esforços mecânicos.
- b) Hidróxido de cálcio ( $\text{Ca (OH)}_2$ ): ocupa de 20 a 25% do volume de sólidos na pasta e não tem significativa contribuição na resistência mecânica da mistura.
- c) Sulfoaluminatos de cálcio: constitui de 15 a 20% do volume de sólidos presentes na pasta e seus principais compostos são a etringita e o monossulfato de cálcio.

A resistência da pasta está diretamente relacionada com sua porosidade, uma vez que a mesma apresenta em sua composição variados tipos de vazios, dentre os quais os mais significativos são os poros de ar incorporados que, por suas grandes dimensões reduzem de forma significativa a resistência do concreto. A fase agregada é a principal responsável pelo módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. As características físicas do agregado, tais como volume, tamanho e porosidade, além da forma e textura, influenciam as propriedades do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A dimensão e a forma do agregado graúdo podem influenciar indiretamente o seu desempenho mecânico. Quanto maior o tamanho do agregado e quanto maior a proporção de partículas alongadas e achatadas no concreto, maior será a probabilidade de acúmulo de filme de água junto à superfície do agregado enfraquecendo a zona de transição na interface pasta-agregado (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

### 3.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO

De acordo com Kovler e Roussel (2011), o concreto de cimento Portland apresenta diversas propriedades, que para devida caracterização do material, devem ser analisadas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Entende-se por estado fresco o tempo

decorrido desde o início da mistura até o começo da pega do aglomerante, e compreende as etapas de mistura, moldagem e acabamento. Enquanto que o estado endurecido compreende o período de fim de pega e ganho de resistência até o final da vida útil do concreto. Para que o concreto possa ser manuseado, é necessário que possua determinada trabalhabilidade e consistência, de modo que permita lançamento e adensamento adequados, sem causar segregação ou vazios. A consistência da massa consiste em um maior ou menor grau de fluidez da mistura em seu estado fresco, proporcionando a mobilidade da massa e permitindo facilidade em ser moldado.

Como as principais características do concreto em seu estado de endurecimento, pode-se citar a resistência à esforços mecânicos e à durabilidade. A resistência mecânica do concreto consiste em sua capacidade de resistir às condições de carga a que esteja submetido, destacando-se a resistência à compressão axial. O processo de endurecimento do concreto pode levar até dois anos, podendo atingir já na idade de 28 dias até 90% de sua resistência mecânica (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Durabilidade é a capacidade que o concreto possui de resistir a qualquer tipo de deterioração física ou química ao longo do tempo. A durabilidade está intimamente ligada a impermeabilidade do concreto, fator este que impede o acesso de agentes agressivos.

Desta forma, na definição do uso do concreto, é fundamental a cuidadosa análise da dosagem da mistura. Para ter-se um concreto com as características desejadas, tanto no seu estado fresco como no estado endurecido, é necessário que a dosagem do concreto seja bem elaborada e que todos os cuidados de seleção dos materiais, preparação da mistura e o processo de cura sejam efetuados adequadamente (KOVLER; ROUSSEL, 2011).

### 3.3 CIMENTO PORTLAND

O cimento é um produto largamente utilizado na construção civil como constituinte na produção de argamassas e concreto tendo em sua constituição silicatos e aluminatos de cálcio que ao serem misturados com água, endurece devido às suas propriedades aglomerantes e adquire elevada resistência mecânica. O cimento é resultante da operação de moagem e mistura de calcário e argila em determinadas proporções e aquecido em fornos à temperatura aproximada de 1.400 °C para a obtenção do clínquer. Com a adição de gesso em pequenas proporções, tem-se o cimento Portland na forma de pó fino e na cor cinza (NEVILLE, 1982).

Os aluminatos presentes na composição do cimento são responsáveis pelo endurecimento da pasta, pois hidratam de forma mais rápida que os silicatos. Já os silicatos,

que estão presentes na ordem de 75% no cimento Portland determinam o desenvolvimento da resistência mecânica. A reação dos aluminatos (C3A) com a água é imediata e por isto há a necessidade da adição de sulfatos (gipsita) a fim de retardar a reação. Esta reatividade origina a formação de etringita que é responsável pelo fenômeno da pega e pela resistência inicial da mistura. A hidratação dos silicatos ocorre algumas horas após o início da hidratação do cimento originando compostos que preenchem os espaços ocupados pela água, os quais determinam a resistência da pasta a esforços mecânicos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), o mercado brasileiro oferece vários tipos de cimento, que se diferenciam de acordo com a proporção de adições incorporadas ao clínquer no momento da moagem. O Quadro 3.1 apresenta os principais tipos de cimento comercializados no Brasil, bem como suas adições.

**Quadro 3.1 – Tipos de cimentos comercializados no Brasil**

Tipos de Cimento	Adições	Siglas
Cimento Portland Comum	Escória, pozolana ou filler (até 5%)	CP I-S 32 CP I-S 40
Cimento Portland Composto	Escória (6 – 34%)  Pozolana (6 – 14%)  Filler (6 – 10%)	CP II-E 32 CP II-E 40 CP II-Z 32 CP II-F 32 CP II-F 40
Cimento Portland Alto Forno	Escória (35 – 70%)	CP III 32 CP III 40
Cimento Portland Pozolânico	Pozolana (15 – 50%)	CP IV 32
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	Materiais Carbonáticos (até 5%)	CP V-ARI
Cimento Portland Resistente a Sulfatos	Estes cimentos são designados pela sigla RS Ex.: CP III 40-RS; CP V-ARI-RS	

Fonte: Adaptado de ABCP (2002)

Cabe ressaltar a reduzida proporção de adições ao cimento CP V em contraste aos outros tipos, que possuem teores variáveis de pozolana, filler e escória.

### 3.4 AGREGADOS

Petrucci (1981) define agregado como material granular sem forma ou volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia. Segundo Gabrich (2008), é importante que os agregados não reajam com o aglomerante e que sejam estáveis frente aos agentes que irão entrar em contato com o concreto.

Os agregados possuem características importantes para a tecnologia do concreto, as quais incluem porosidade, absorção de água, composição granulométrica, forma e textura, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes nas partículas (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Areias, cascalhos e pedras britadas são os principais tipos de agregados podendo ocupar entre 60% e 80% do volume total do concreto proporcionando assim grande redução de custo. Desta forma, no desenvolvimento da tecnologia do concreto, torna-se natural o aumento da quantidade do agregado em função do seu menor custo em relação ao cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

### 3.5 MICROESTRUTURA DO CONCRETO

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), a partir do início da década de 1980 aumentou significativamente o interesse pela microestrutura do concreto, em especial pela zona de transição, que é a região de interface entre a pasta e o agregado. Este interesse é devido a esta região ser a região mais frágil do concreto, onde ocorrem as microfissuras. Portanto, é vital a elucidação das questões referentes à sua natureza química, mecânica ou morfológica, bem como o conhecimento mais profundo de suas propriedades para o entendimento do comportamento do concreto, quando se almeja a melhoria de suas propriedades, principalmente aquelas relacionadas à sua durabilidade (MORAES, 2001).

Ainda segundo Moraes (2001), a zona de transição deve ser melhorada para que se obtenha um concreto com propriedades melhores, o que requer o emprego de adições minerais e de aditivos químicos.

### 3.6 CONCRETO COM AGREGADO RECICLADO

A poluição ambiental e o esgotamento acelerado das reservas de agregados como leitos de rios e pedreiras sugerem uma conscientização coletiva pela redução de extração de

materiais não sustentáveis e pela busca de materiais alternativos, como os agregados reciclados.

Quando se inserem agregados reciclados em uma nova matriz de concreto, modificam-se as características do produto tanto no estado fresco quanto no endurecido.

O agregado reciclado pode ter em sua composição materiais que reagem de forma negativa com os álcalis do cimento, logo o ideal seria realizar um tratamento no agregado para controlar estes problemas (SHI et al., 2015).

Segundo a Resolução CONAMA n° 307 de 2002 os resíduos de construção reutilizáveis ou recicláveis como agregado se enquadram na Classe A.

A ABNT NBR 15.116 (2004) classifica os agregados reciclados como: agregado reciclado de concreto (ARC), cujo teor de fragmentos à base de cimento e rochas é maior que 90% e agregado reciclado misto (ARM), cujo teor é menor que 90%.

Segundo Miranda, Angulo e Careli (2009), a variabilidade das características físicas e possibilidade de presença de impurezas e contaminantes dificultam a utilização desse material, visto que as normas não garantem a homogeneidade dos agregados reciclados nem sua aceitação no mercado. O custo do controle de qualidade é baixo e precisa ser implantado para que se possa reduzir a variabilidade e melhorar a qualidade e a confiabilidade do produto. Exemplos de técnicas seriam *scrubber*, dosador de agregados, classificadores pneumáticos e jiges, que podem reduzir as proporções de finos e de materiais orgânicos e leves (ou porosos), melhorando a qualidade do agregado reciclado.

A principal aplicação do agregado reciclado é o uso em pavimentação ou aplicações geotécnicas, que requerem propriedades mecânicas menos exigentes; também em argamassas e concretos, entretanto, usinas europeias e japonesas investem na melhoria do agregado reciclado para aplicações em concretos estruturais (ULSEN, 2011).

### **3.6.1 Consistência**

É consenso que a utilização de agregados reciclados em concreto afeta sua trabalhabilidade, devido principalmente à sua forma irregular, textura áspera e superfície porosa por conta da argamassa aderida. Portanto, concretos com agregados reciclados, geralmente, apresentam misturas mais secas que as que utilizam agregados naturais, com a mesma relação água/cimento (CORDEIRO, 2013).

Padmini et al (2009) em sua pesquisa observaram que o tamanho do agregado influencia diretamente na trabalhabilidade do concreto. Segundo os autores, quanto maior a dimensão máxima do agregado menor a absorção de água e melhor a trabalhabilidade.

López-Gayarre et al. (2009) comentaram que devido à absorção dos agregados reciclados de concretos ser maior que a do natural, realizar produções de concreto mantendo fixo a relação a/c e os abatimentos constantes só é possível com o uso de aditivos.

### **3.6.2 Massa Específica**

Para Mehta e Monteiro (2008), a massa específica do concreto no estado fresco depende, além da massa do agregado e da sua porosidade, da sua textura e tamanho.

Carrijo (2005) quantificou a variação da massa específica do concreto fresco em função da relação a/c e da massa específica do agregado gráudo utilizado, obtendo valores entre 1,97 g/cm<sup>3</sup> e 2,38 g/cm<sup>3</sup>, observando que à medida que se se reduz a massa específica do agregado e aumenta a relação a/c, reduz a massa específica do concreto.

Lopes (2005) obteve para concretos com RCC, valores de massa específica entre 2,15 g/cm<sup>3</sup> e 2,27 g/cm<sup>3</sup>, variando com o teor de finos presentes.

De acordo com Cordeiro (2013), a maior porosidade, característica do agregado reciclado, é uma das maiores causas para que ocorra a redução da massa específica do concreto.

### **3.6.3 Resistência à compressão**

Diversos pesquisadores estudaram o desempenho do concreto, em termos mecânicos, com agregados reciclados. Em geral os pesquisadores observaram que a resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados é menor do que a de concretos produzidos com agregados naturais, para um mesmo consumo de cimento. Este fato pode estar associado a fatores tais como: menor resistência do agregado reciclado e porosidade do resíduo de concreto decorrente da quantidade de argamassa aderida ao agregado natural, entre outros (SANCHEZ, 2004).

Ajdukiewicz e Kliszczewicz (2002) ao avaliarem as propriedades mecânicas de concretos de alta resistência (40 a 70 MPa) produzidos com agregados reciclados de concretos, perceberam que a propriedade do concreto de origem afeta significativamente nas propriedades dos novos concretos produzidos.

Sanchez (2004) ressalta que enquanto o concreto com agregado natural apresenta uma zona de transição, nos concretos com agregados reciclados de concreto encontram-se duas zonas de transição, uma referente ao concreto antigo e outra gerada pelo novo concreto.

Hansen (1992), em sua pesquisa, verificou que a resistência dos concretos com agregados reciclados de concreto está associada à qualidade e classe de resistência do concreto que lhe deu origem. Contudo, Santos et al. (2002), ao compararem concretos com resíduos de diferentes classes de resistência, verificaram que a classe de resistência tem pouca influência sobre esta resistência. O que se verifica é que o agregado reciclado só influenciará na resistência do concreto quando a matriz do novo concreto for mais resistente que a do agregado reciclado, uma vez que possivelmente o concreto romperá no agregado. Se a matriz de concreto for menos resistente que o próprio reciclado, este último não exercerá grande influência na resistência mecânica, uma vez que a matriz será o elo mais fraco (SANTOS et al. 2002).

#### **3.6.4 Módulo de elasticidade**

As características de elasticidade de um material determinam a deformação máxima antes de este atingir um estado limite, o que justifica sua importância para projetos estruturais, conforme comentam Mehta e Monteiro (2008).

O módulo de elasticidade do concreto depende da porosidade de suas fases (pasta, agregado e zona de transição). No agregado gráudo as características que podem influenciar na elasticidade são dimensão máxima, forma, textura superficial e composição mineralógica. Quando se trata de agregados reciclados tem-se ainda sua maior porosidade quando comparados com os materiais naturais. A porosidade do agregado determina sua rigidez, que por sua vez controla a capacidade do agregado em restringir deformações da matriz.

Hansen (1992) menciona que concretos com agregados reciclados, apresentam, em geral, uma redução entre 15% a 40% do módulo de elasticidade em relação aos concretos com agregados naturais. E mostra que a diferença entre o módulo de elasticidade dos concretos reciclados e convencionais aumenta à medida que crescem os valores da resistência à compressão.

Vários autores apontam que os concretos produzidos com agregados reciclados de concreto apresentam um módulo de deformação menor que o dos concretos convencionais. Etxeberria (2007) teve reduções de 15% e Casuccio (2008) chegou a valores de módulo de 13% a 18%. Evangelista (2007) encontrou valores de módulo da ordem de 4% a 19% quando substituiu respectivamente 30% e 100% de agregados miúdos.

Alaejos et al. (2006) encontraram valores de módulo de elasticidade de concreto com resíduo 10% menores para taxas de substituição de agregado natural por resíduos de 50%. E para situações onde a substituição foi de 100% o módulo teve uma redução de 20% se comparado com o do concreto sem resíduo.

### 3.7 TRABALHOS REALIZADOS COM CONCRETOS UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS

Gonçalves (2011) verificou a influência da utilização de resíduos de concreto pré-fabricado em substituição ao agregado graúdo natural sobre as propriedades do concreto. Os resíduos foram de dois tipos: resíduos de concreto de cura convencional e resíduos de concreto de cura térmica. A autora avaliou, entre outras propriedades, a resistência à compressão dos concretos produzidos, obtendo ganho de resistência em relação aos concretos de referência de até 50% na utilização de resíduos oriundos de cura convencional e redução de até 30% quando da utilização de resíduos oriundos de cura térmica.

Zordan (1997) realizou um estudo de dosagem de concreto substituindo os agregados graúdos e miúdos em sua totalidade por resíduos de construção civil. Estes foram obtidos em uma usina de reciclagem sendo provenientes de quatro diferentes amostras. Para cada amostra foram produzidos traços com diferentes proporções de cimento e agregado reciclado (1:3, 1:5 e 1:7), buscando manter a consistência dentro de um intervalo definido. O autor avaliou, entre outras propriedades, a resistência à compressão dos concretos produzidos, onde observou que a resistência à compressão aos 28 dias dos concretos com agregados reciclados representou em média, 49%, 62% e 93% da resistência do concreto de referência, utilizando-se os traços 1:3, 1:5 e 1:7, respectivamente.

Lopes (2005) produziu concretos utilizando resíduos de construção civil com variados teores de materiais finos, sendo estes 0%, 3,45% e 5,85%. O autor avaliou propriedades do concreto no estado fresco: massa específica e consistência; e no estado endurecido, módulo de deformação e resistência à compressão. Observou-se que o aumento no teor de finos levou a uma maior trabalhabilidade, com consequente aumento na exsudação e retração plástica. Notou-se redução na resistência à compressão com o maior teor de finos, para uma resistência de 46,6 MPa no concreto de referência, produziu-se concretos com 34,1 MPa para 0% de finos, 29,8 MPa para 3,45% de finos e 30,9 MPa para 5,85% de finos.

Rao et al. (2011) produziram concretos a partir de agregados reciclados de uma estrutura conhecida com 15 anos de vida. A absorção de água do resíduo foi de 1,82%. As



proporções de substituição foram. 0%, 25%, 50% e 100%. Estudaram-se os seguintes parâmetros: módulo de elasticidade, tração por compressão diametral e compressão.

Rodrigues et al. (2014) produziram concreto com agregado miúdo reciclado coletado Região Metropolitana do Recife, PE, na fase de estrutura, constituído por cerca de 70% de concreto. Os teores foram 0%, 50% e 100% de substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado, em massa. Houve a diminuição do módulo de elasticidade, o que não causou grandes prejuízos à resistência à compressão do concreto reciclado, sendo o teor de 50% em massa o teor de substituição mais adequado.

Martínes-Molina et al. (2015) fizeram uma revisão de literatura dos avanços internacionais sobre a produção de concretos utilizando agregado reciclado de resíduos da construção civil, apresentando os estudos sobre, traços otimizados, tratamentos dos agregados, adições, aditivos, entre outros.

Fabro et al. (2016) avaliaram o formato dos grãos de agregado miúdo por meio de diferentes parâmetros, analisando as diferenças entre as formas dos agregados, e suas consequências nas propriedades das argamassas e concretos confeccionados com estes materiais. Verificou-se que o formato dos grãos dos agregados tem influência direta sobre a consistência das argamassas e concretos, porém não apresentou influência nos resultados de resistência à compressão.

Frotte et al. (2017) produziram concretos com agregados reciclados em proporção de 0, 25, 50% de substituição do agregado miúdo natural. Verificaram que o aumento do teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado reduziu a trabalhabilidade, a massa específica seca e saturada do concreto e o módulo de elasticidade, bem como aumentou a absorção e o índice de vazios. A tração se manteve constante quando substituído 25% do agregado.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo são descritos todos os procedimentos experimentais, desde caracterização dos materiais até ensaios do concreto, de acordo com as normas vigentes e bibliografias consultadas.

### 4.1 COLETA E PREPARAÇÃO DO RESÍDUO DE CONCRETO

O RCC objeto desta pesquisa tem origem em uma fábrica de artefatos de concreto na cidade de Mandaguari, região metropolitana de Maringá.

Na linha de produção desta fábrica utiliza-se concreto auto adensável, de modo que o desperdício e a geração de resíduos já são reduzidos em relação ao método convencional. Contudo, ocasionalmente algumas porções de concreto caem no piso da fábrica e outras tantas ficam aderidas às fôrmas. Tal resíduo é periodicamente recolhido e depositado em uma área da fábrica, separado dos demais resíduos, de modo que são mínimas as possibilidades de contaminação.

O resíduo foi transportado da fábrica e estocado em uma baia no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá, conforme a Figura 4.1.

**Figura 4.1 – Resíduo de concreto no estado natural**



Separou-se o material entre fração miúda, passante na peneira #4,8mm e material graúdo, retido na peneira #4,8mm, conforme Figura 4.2.

**Figura 4.2 - Separação do resíduo em frações: (a) fração miúda, passante na peneira #4,8 mm, e (b) fração graúda, retida na peneira #4,8 mm.**



A fração miúda do material foi armazenada no laboratório de materiais, na condição seca ao ar, enquanto que a fração graúda do material foi descartada.

A seguir, são descritos os ensaios de caracterização dos agregados.

#### 4.2 TRAÇO DO CONCRETO DE REFERÊNCIA

O traço de concreto escolhido foi desenvolvido por Assunção (2002), que utilizou em sua pesquisa materiais disponíveis na região noroeste do Paraná, compatíveis com os escolhidos para o presente estudo. O autor confeccionou curvas de dosagem para concretos aditivados e não aditivados, tendo como variáveis a consistência, resistência à compressão e granulometria dos agregados.

Para esta pesquisa, optou-se pelo traço apresentado na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 – Traço de Referência utilizado na moldagem de concreto**

<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Fator a/c</b>
1,000	2,328	3,072	0,634

### 4.3 MATERIAIS E CARACTERIZAÇÃO

#### 4.3.1 Cimento CPV-ARI

O Cimento Portland escolhido para esta pesquisa foi o CPV-ARI devido à ausência de adições. Optou-se por não utilizar outros tipos de Cimento Portland, que possuem adições, devido à grande variação no teor destas, que varia entre lotes.

Segundo dados da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), os valores de resistência à compressão chegam a 26 MPa a 1 dia de idade e de 53 MPa aos 28 dias, que superam em muito os valores normativos, apresentados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 – Exigências físicas e mecânicas para o cimento CPV-ARI**

Características e propriedades		Unidade	Limites
Finura	Resíduo na peneira 75µm	%	6,0
	Área específica	m <sup>2</sup> /kg	300
Tempo de início da pega		h	1
Expansibilidade a quente		mm	5
Resistência à compressão	1 dia de idade	MPa	14,0
	3 dias de idade	MPa	24,0
	7 dias de idade	MPa	34,0

Fonte: Adaptado da NBR 5.733 (1991)

#### 4.3.2 Agregados

Segundo a ABNT NBR 9.935 (2011), agregados para concreto são materiais granulares, na maior parte das vezes inertes, com dimensões e propriedades adequadas à confecção de concreto.

Todos os agregados, graúdos ou miúdos, naturais ou não, foram caracterizados quanto à granulometria e massa específica conforme descrito nos itens seguintes.

##### 4.3.2.1 Agregado miúdo natural

A ABNT NBR 9.935 (2011) define areia como agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou proveniente de processos industriais. É chamada de areia natural (se resultante da ação de agentes da natureza), de areia

artificial (quando proveniente de processos industriais), de areia reciclada (quando proveniente de processos de reciclagem) e de areia de britagem (quando proveniente do processo de cominuição mecânica da rocha) conforme normas específicas.

O agregado miúdo natural utilizado trata-se de uma areia lavada fina e possui origem na região noroeste do Paraná. Realizaram-se os seguintes ensaios de caracterização:

- ABNT NBR NM 248 (2003): Agregados – Determinação da composição granulométrica;
- ABNT NBR NM 45 (2006): Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios;
- ABNT NBR NM 52 (2009): Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.

A areia utilizada foi previamente seca ao ar e armazenada em uma caixa de madeira no laboratório.

#### 4.3.2.2 Agregado miúdo reciclado

O agregado miúdo reciclado trata-se da fração miúda do resíduo descrito no item 4.1, o qual se caracterizou pelos seguintes métodos.

- ABNT NBR NM 248 (2003): Agregados – Determinação da composição granulométrica;
- ABNT NBR NM 45 (2006): Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios;
- ABNT NBR NM 52 (2009): Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.

#### 4.3.2.3 Agregado graúdo natural

O agregado graúdo utilizado trata-se de rocha britada de origem basáltica, adquirida na região noroeste do Paraná. Realizaram-se os ensaios de caracterização conforme segue:

- ABNT NBR NM 248 (2003): Agregados – Determinação da composição granulométrica;
- ABNT NBR NM 45 (2006): Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios;
- ABNT NBR NM 53 (2009): Agregado graúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

O agregado graúdo foi previamente seco ao ar e armazenado em uma caixa de madeira no laboratório.

### 4.3.3 Água de Amassamento

A água utilizada é de abastecimento público, portanto considerada adequada para uso em concreto segundo a ABNT NBR 15900-1 (2009), fornecida pela SANEPAR.

## 4.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Escolhido o traço de referência, decidiu-se por realizar a incorporação do agregado miúdo reciclado por substituição em massa, visto que sua massa específica é similar à da areia. Os teores de substituição escolhidos foram 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, e as variações do traço de referência são apresentadas na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3 – Variações do Traço de Referência, com substituição da areia por RCC.**

	<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Fator a/c</b>	<b>RCC</b>
0%	1,000	2,328	3,072	0,634	-
25%	1,000	1,746	3,072	0,634	0,582
50%	1,000	1,164	3,072	0,634	1,164
75%	1,000	0,582	3,072	0,634	1,746
100%	1,000	-	3,072	0,634	2,328

A quantidade de corpos de prova por ensaio foi previamente definida para que os materiais fossem providenciados. A Tabela 4.4, a seguir, expressa a quantidade de corpos de prova (CPs) para cada teor de substituição em cada traço.

**Tabela 4.4 – Número de corpos de prova por teor de substituição para cada ensaio**

	<b>Resistência à compressão</b>			<b>M. Elasticidade</b>	<b>Absorção de Água</b>
Idade	3	7	28	28	28
Nº CPs	4	4	4	2	4

Embora a quantidade de CPs para cada teor de incorporação seja 18, foram produzidos 26 CPs, visto que havia a possibilidade de CPs defeituosos que seriam descartados.

#### 4.5 CONFECÇÃO E ENSAIOS DO CONCRETO

A moldagem dos corpos de prova de concreto se deu no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá e foi feito em várias etapas, visto que o número de fôrmas disponíveis era limitado.

A betoneira utilizada possuía um volume nominal de 500 l, com capacidade mínima recomendada de 25 l.

A moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos seguiu as recomendações da ABNT NBR 5738 (2015).

Para caracterização do concreto produzido realizou-se os seguintes ensaios no estado fresco:

- ABNT NBR NM 67: (1998): Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone;
- ABNT NBR 9833 (2008): Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.

O concreto no estado endurecido foi submetido aos seguintes ensaios:

- ABNT NBR 5739 (2018): Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;
- ABNT NBR 8522 (2017): Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão;
- ABNT NBR 9778 (2005): Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e comentados os resultados dos procedimentos experimentais tanto de caracterização, quanto de desempenho no estado fresco e estado endurecido do concreto.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Conforme citado no item 4.3.2, os agregados foram submetidos a ensaios de caracterização.

#### 5.1.1 Agregado Miúdo Natural

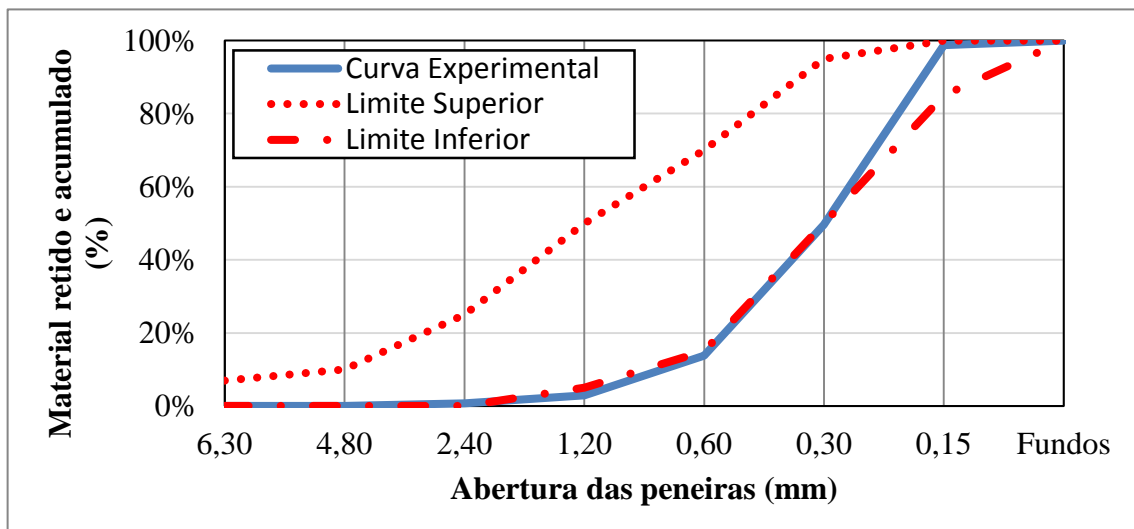
Seguindo os procedimentos informados no item 4.3.2.1, obtiveram-se os parâmetros apresentados na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1 – Características do agregado miúdo natural (areia)**

Características	Valor
Massa Específica	2,66 g/cm <sup>3</sup>
Massa Unitária Solta	1,53 g/cm <sup>3</sup>
Massa Unitária Compactada	1,61 g/cm <sup>3</sup>
Dimensão Máxima	1,18 mm
Módulo de finura	1,66
Absorção de Água	0,4%
Origem Mineralógica	Quartzo

A Figura 5.1 apresenta a curva granulométrica da areia utilizada.

**Figura 5.1 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural.**





### 5.1.2 Fração miúda do Resíduo de Construção Civil

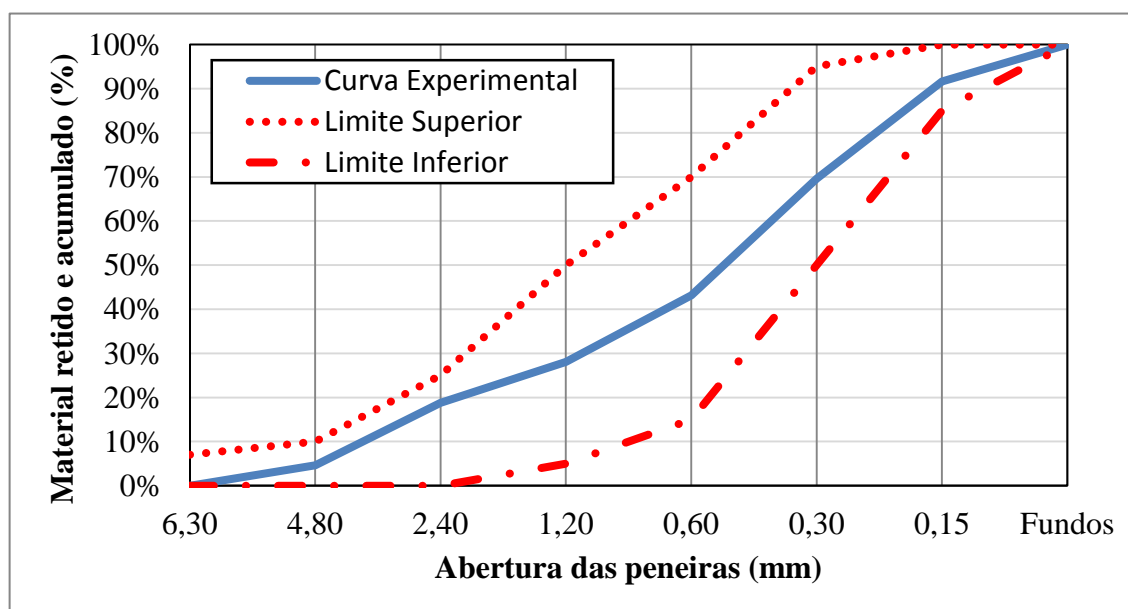
A Tabela 5.2 apresenta os resultados de caracterização da fração miúda do resíduo de construção civil, cujos procedimentos foram descritos no item 4.3.2.2.

**Tabela 5.2 – Características do RCC**

Características	Valor
Massa Específica	2,62 g/cm <sup>3</sup>
Massa Unitária Solta	1,47 g/cm <sup>3</sup>
Massa Unitária Compactada	1,58 g/cm <sup>3</sup>
Dimensão Máxima	2,36 mm
Absorção de Água	5,3%
Módulo de finura	2,56
Teor de Material Pulverulento	7,65%

A Figura 5.2 – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado, apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo reciclado.

**Figura 5.2 – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado.**



Por meio na curva granulométrica, afirma-se que o resíduo de construção civil encontra-se entre as faixas granulométricas propostas pela ABNT NBR 7.211 (2009).

### 5.1.3 Agregado Graúdo Natural

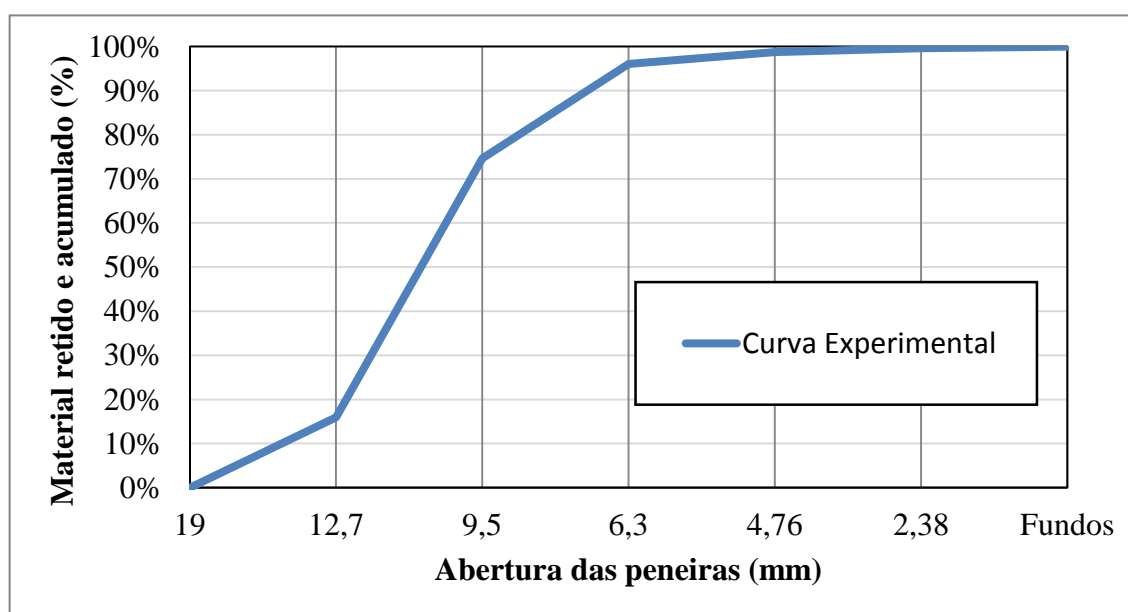
Seguindo os procedimentos informados no item 4.3.2.3, obtiveram-se os parâmetros apresentados na Tabela 5.3 para o agregado graúdo.

**Tabela 5.3 – Características do agregado graúdo**

Características	Valor
Massa Específica	2,77 g/cm <sup>3</sup>
Massa Unitária	1,46 g/cm <sup>3</sup>
Dimensão Máxima	12,50 mm
Módulo de Finura	5,89
Absorção de Água	4,0%
Origem Mineralógica	Basalto

A Figura 5.3 ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo utilizado.

**Figura 5.3 – Curva granulométrica do agregado graúdo.**



Dessa forma, observa-se que o agregado graúdo natural encontra-se entre os limites estabelecidos para pela ABNT NBR 7.211 (2009), sendo classificado na zona granulométrica 9,5/25.

## 5.2 ESTUDO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS

O estudo da massa específica da composição entre agregado miúdo natural (areia) e resíduo foi realizado conforme recomendações da ABNT NBR NM 45: 2006, sendo as composições entre os materiais apresentadas nas Tabelas Tabela 5.4 e Tabela 5.5.

**Tabela 5.4 – Composição entre areia e resíduo de concreto.**

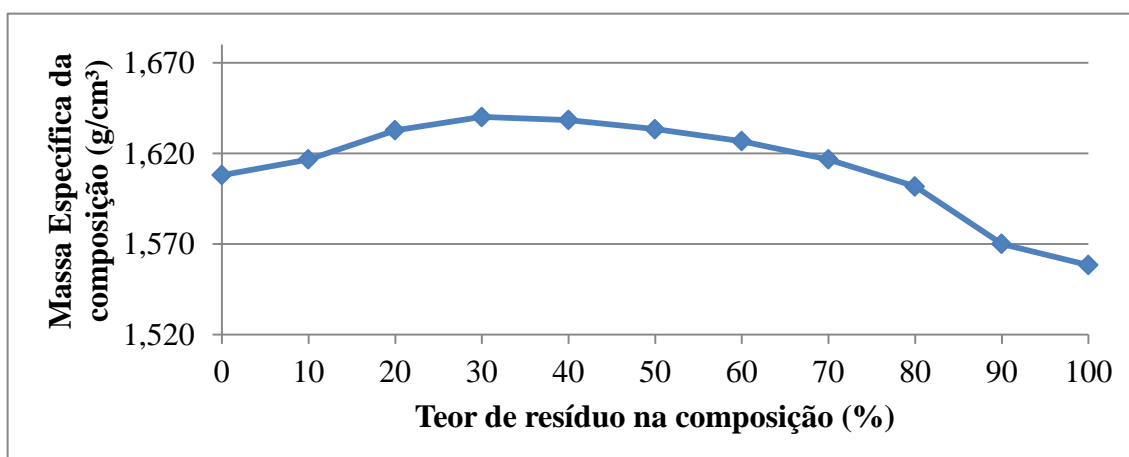
Proporção de areia	Massa de areia (kg)	Acréscimo de resíduo (kg)	Massa de resíduo (kg)	Proporção de resíduo
100%	5,000	-	0,000	0%
90%	5,000	0,555	0,555	10%
80%	5,000	0,695	1,250	20%
70%	5,000	0,893	2,143	30%
60%	5,000	1,190	3,333	40%
50%	5,000	1,667	5,000	50%

**Tabela 5.5 – Composição entre resíduo de concreto e areia.**

Proporção de resíduo	Massa de resíduo (kg)	Acréscimo de areia (kg)	Massa de areia (kg)	Proporção de areia
100%	5,000	-	0,000	0%
90%	5,000	0,555	0,555	10%
80%	5,000	0,695	1,250	20%
70%	5,000	0,893	2,143	30%
60%	5,000	1,190	3,333	40%
50%	5,000	1,667	5,000	50%

A Figura 5.4 apresenta os dados de massa específica referentes às composições das Tabelas Tabela 5.4 e Tabela 5.5.

**Figura 5.4 – Massa específica para as composições entre areia e resíduo.**



### 5.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO MOLDADO

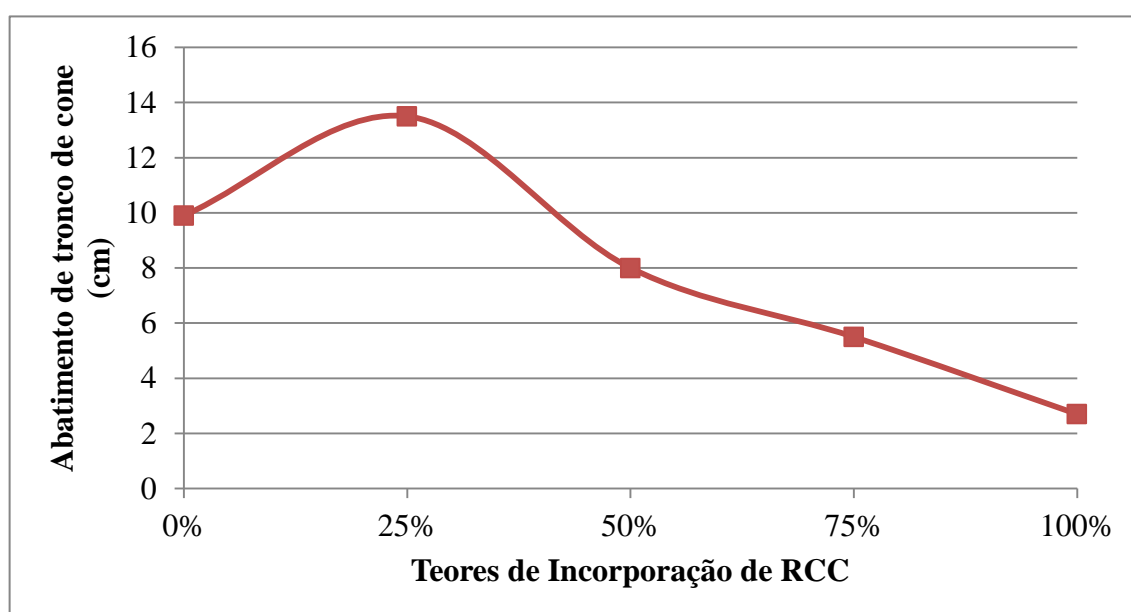
#### 5.3.1 Estado Fresco

Foram realizados no estado fresco, os ensaios de abatimento de tronco de cone para determinar a consistência e de massa específica.

##### 5.3.1.1 Abatimento de tronco de cone

A Figura 5.5 indica os resultados de abatimento obtidos para os traços estudados.

**Figura 5.5 – Abatimento por teor de incorporação.**



Esta tendência é observada por diversos autores que pesquisaram a incorporação de resíduos de construção civil como agregado, tanto como agregado graúdo quanto como agregado miúdo, e justifica-se pela alta porosidade dos agregados reciclados em relação aos agregados naturais.

##### 5.3.1.2 Massa Específica

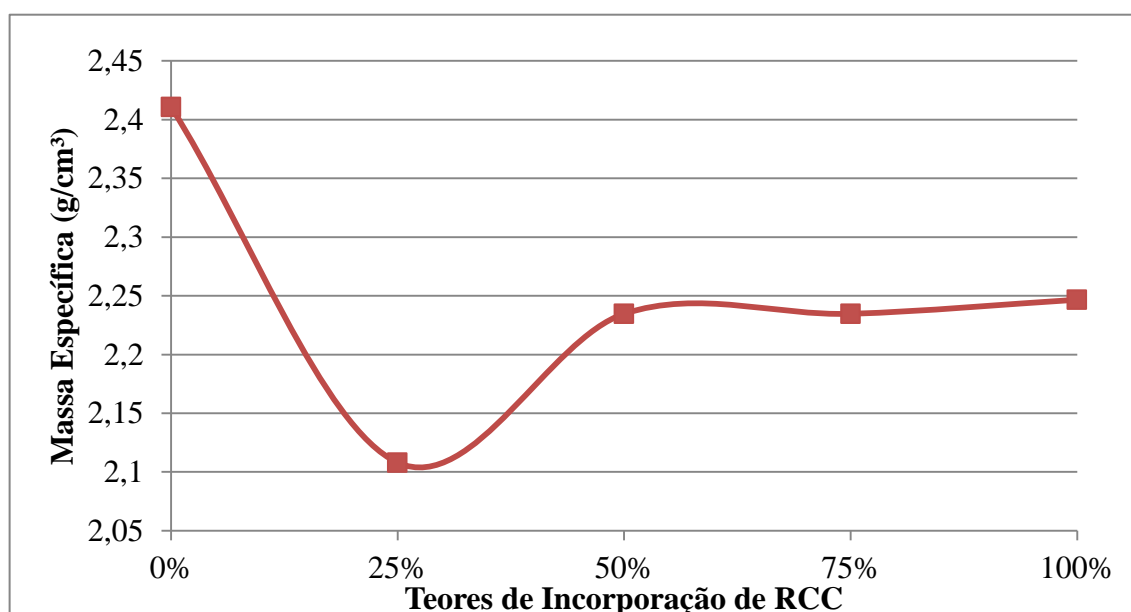
A determinação da massa específica se deu por meio do procedimento normativo citado no item 4.5.

Embora não haja uma tendência clara de comportamento, nota-se que, de maneira geral, ocorre uma diminuição da massa específica em razão da incorporação do resíduo. Tal

observação é ratificada por outros autores que realizaram incorporação de resíduos de construção civil como agregado, e justifica-se pela elevada porosidade deste material em relação ao agregado natural, visto que, embora a massa específica dos agregados seja semelhante, a água carece de bastante tempo para penetrar os poros do resíduo.

Na Figura 5.6 pode-se observar os resultados de massa específica para as variações do Traço de Referência.

**Figura 5.6 – Massa específica dos concretos.**



Mais uma vez nota-se a discrepância dos dados para o teor de 25% de incorporação de RCC, que apresentou uma massa específica bastante reduzida. Observa-se também a constância nos valores de massa específica para os teores de 50%, 75% e 100%.

### 5.3.2 Estado Endurecido

Após a moldagem, os corpos de prova foram cobertos com lona plástica e desmoldados depois 24h. Feito isso, foram identificados e armazenados em câmara úmida, onde ficaram até suas respectivas datas de ensaio.

A regularização da superfície dos corpos de prova deu-se por meio da retífica ilustrada na Figura 5.7. Este é um método que substitui o tradicional capeamento com enxofre. Suas vantagens são: maior confiabilidade dos resultados; segurança para o operador; rapidez na execução.

**Figura 5.7 – Retífica utilizada para regularização da superfície dos corpos de prova**



### 5.3.2.1 Resistência à Compressão

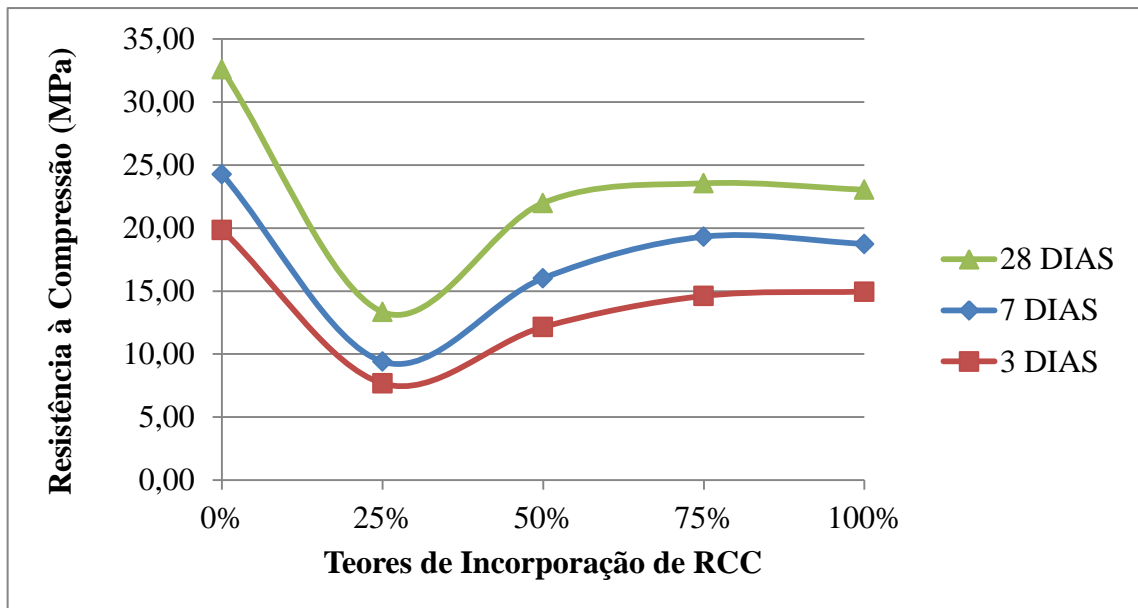
Os ensaios de resistência à compressão foram realizados em uma máquina universal de ensaios EMIC MUE 100, ilustrada na Figura 5.8, e foram observados nas idades de 3, 7 e 28 dias.

**Figura 5.8 – Máquina Universal de Ensaio EMIC MUE 100.**



A Figura 5.9 apresenta os valores de resistência à compressão.

**Figura 5.9 – Resistência à compressão do concreto.**



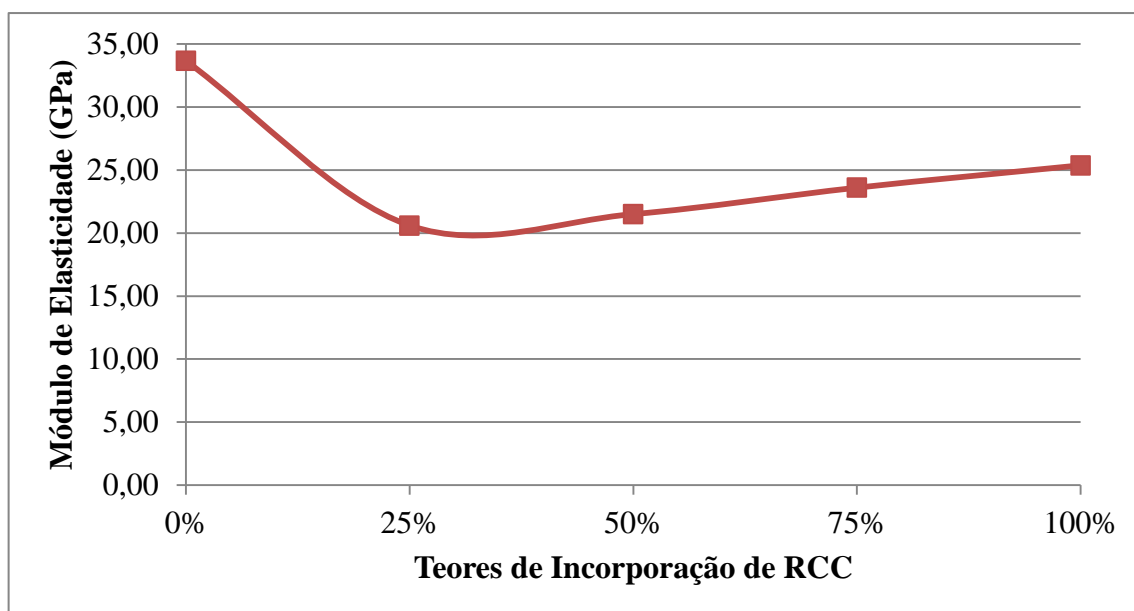
#### 5.3.2.2 Módulo de Elasticidade

O ensaio de módulo de elasticidade foi realizado aos 28 dias utilizando uma máquina universal de ensaios Instron Emic 600, conforme ilustra a Figura 5.10.

**Figura 5.10 – Máquina Universal de Ensaios Instron Emic 600.**



A Figura 5.11 exibe os valores de módulo de elasticidade para os concretos confeccionados.

**Figura 5.11 – Módulo de Elasticidade dos concretos produzidos.**

Em comparação com o concreto de referência, nota-se uma redução nos valores de módulo de elasticidade, embora possa ser observado um leve crescimento a partir do teor de 25%, seguindo o comportamento observado na resistência a compressão.

#### 5.3.2.3 Absorção de Água

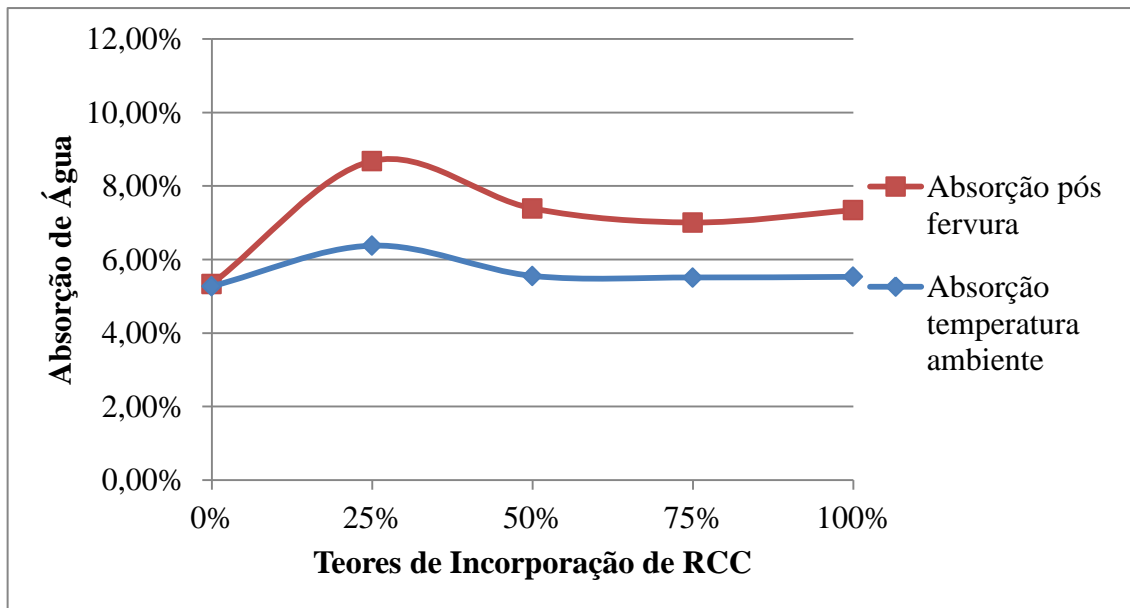
Nota-se que, na condição de temperatura ambiente, a absorção de água tendência de queda com o aumento do teor de resíduo de construção civil incorporado. Após a fervera, o comportamento observado foi oposto, mesmo não seguindo uma tendência clara, mas de modo geral, apresentando aumento na absorção em relação ao traço de referência.

Cabe ressaltar que, diferentemente dos teores de incorporação, o concreto de referência não apresentou ganho de absorção ao ser exposto à condição de fervera.

Neste caso, a substituição do teor de 25% não apresentou tendência clara, embora de modo geral, se repita o comportamento de redução de absorção em relação ao traço de referência à temperatura ambiente, e aumente a absorção após procedimento de fervera.

A Figura 5.12 apresenta os valores de absorção de água para os concretos produzidos.



**Figura 5.12 – Absorção de água dos concretos.**

Observa-se na condição de temperatura ambiente uma constância na absorção, com exceção do teor de 25%.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho é uma contribuição para os estudos de dosagem de concreto com agregado miúdo reciclado. A partir dos resultados obtidos foi possível conhecer o comportamento deste resíduo, visto que cada resíduo é diferente, mesmo que possam ser classificados da mesma forma, afinal, as propriedades do concreto original naturalmente influenciam no concreto reciclado resultante.

Com base nos resultados obtidos pôde-se concluir que a substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado in natura produziu concretos que podem ser utilizados, mesmo com grandes teores de substituição.

Todos os concretos com RCC apresentaram uma diminuição significativa de resistência à compressão em comparação com o traço de referência. Recomenda-se que para utilização deste agregado reciclado, seja feito beneficiamento por meio da retirada do material pulverulento.

O módulo de elasticidade foi influenciado de forma negativa pela substituição do agregado natural pelo agregado miúdo reciclado. Neste caso, a redução observada no valor do módulo de elasticidade é da ordem de 30% em relação ao concreto de referência.

Quanto à absorção de água, destaca-se a diferença entre o comportamento de um mesmo concreto nas duas condições de ensaio: imersão em água e fervura. Acredita-se que este seja devido à alta porosidade do agregado reciclado, que mesmo após três dias submerso ainda apresentava grande quantidade de ar.

Optou-se por manter o resíduo mais próximo do natural não realizando a correção, pois procedimentos de beneficiamento poderiam encarecer o processo e inviabilizar sua utilização. Tal decisão culminou na variação da granulometria dos sólidos do concreto, que pode ter influenciado na variação dos resultados.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, R. M.; LOPES, R. W.; AZRAK, R.; SALVID, A. E. **Blocos de Vedação com Entulho**. In: International Workshop Advances in Cleaner Production-"Key Elements for a Sustainable World:Energy,Water and Climate Change". São Paulo – 2009. 07p.

AJDUKIEWICZ, A. & KLISZCZEWICZ, A. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC . **Cement and Concrete Composites**, 24(2), 269-279. 2002.

ALAEJOS, P. G.; SÁNCHEZ, M. J. Utilization of recycled concrete aggregate for structural concrete. In: International Rilem Conference on the use of Recycled Materials in Buildings and structures, Barcelona. Proceedings... Bagneux, France: Elsevier, v. 2, p. 693-702, 2004.

ALBUQUERQUE, S. M. **Estudo para uso de agregado de resíduos de construção e demolição em blocos de concreto para alvenaria**. 2005. 104f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

ÂNGULO, S. C.. **Caracterização de RCD reciclados e a Influência de suas características no comportamento de concretos**. São Paulo – 2005. 167p. Tese (doutorado). Escola Politécnica - Universidade de São Paulo.

ÂNGULO, S. C.. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo – 2000. 155p. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica - Universidade de São Paulo.

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

\_\_\_\_\_. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos: NBR 6136**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **Agregados para concreto - Especificação: NBR 7211**. Rio de Janeiro, 2009.

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

\_\_\_\_\_. **Agregados – Terminologia: NBR 9935**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **Resíduos sólidos - Classificação: NBR 10004.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio: NBR 12118.** Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação: NBR 15112.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação: NBR 15113.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação: NBR 15114.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos: NBR 15115.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos: NBR 15116.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos: NBR 15900-1.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água: NBR NM 30.** Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente: NBR NM 52.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água: NBR NM 53.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **Agregados - Determinação da composição granulométrica: NBR NM 248.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSUNÇÃO, J. W. **Curvas de Dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região noroeste do Paraná.** Florianópolis, 2002. 254 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

BARROS, H. B.; CATAI, R. E.; TEIXEIRA, C. A.. **Bloco de vedação ecologicamente correto.** In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu – 2006. 09p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Portaria nº 307, de 5 de julho de 2002. Institui a Câmara Técnica de Gestão Territorial e Biomas - CONAMA.

BUTTNER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural.** São Carlos, 2007. 499 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

CARNEIRO, A. P.; QUADROS, B. E.; OLIVEIRA, A. M.; BRUM, I. A.; SAMPAIO, T. S.; ALBERTE, E. P.; COSTA, D. B. **Características do Entulho e do Agregado Reciclado.** Capítulo V do livro: Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção – Edição CEF (2001).

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

CARVALHO, E. V. **Utilização do Resíduo da Retífica de Cerâmica de Revestimento da Produção de Concreto para Pavimento Intertravado.** Limeira – 2013. 141p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas.

CARVALHO, E. D. N. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto.** Revista Tecnológica, v. 17, p. 19-28, 2008.

CASUCCIO, M., M. C. TORRIJOS, G. GIACCIO, R. ZERBINO, Failure mechanism of recycled aggregate concrete, **Construction and Building Materials**, 2008, 22, 1500–1506

CELESTINO, P. H. M. **Produção de blocos de concreto em obra com utilização de resíduo cimentício como agregado.** Goiânia – 2013. 211p. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás.

COLLINS, R. J. **Upgrading the use of recycled aggregates.** Watford (Reino Unido) - 1998. 06p. Building Research Establishment (BRE).

CORDEIRO, L. de N. P.. **Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregados graúdos de concreto.** Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2013.

DEVENNY, A. KHALAF, F. M. The use of crushed brick as coarse aggregate in concrete. **Mansory International**, v.12, n.3, p. 81-84, 1999.

ETXEBERRIA, M., E. VÁZQUEZ, A. MARÍ, & M. BARRA, 2007, “Influence of amount of recycled coarse aggregates and production on properties of recycled aggregate concrete”, **Cement and Concrete Research**, 37, 735–742.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Mechanical Behaviour of Concrete Made With Fine Recycled Aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 29, n. 5, p. 397-401, 2007.

FONSECA, Fábio Braga da. **Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição.** São Paulo – 2002. 141p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

FABRO, F.; GAVA, G. P.; GRIGOLI, H. P.; MENEGHETTU, L. C.. Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**. V. 4, pp 191-212, jun, 2011.

FRASSON JUNIOR, A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural.** 2000. 146f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FROTTE, C., NÚBILA, C. S. A. D., NAGALLI, A., MAZER, W., MACIOSKI, G., OLIVEIRA, L. O. S.. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. **Revista Matéria**, V.22, pp 20-37, mar, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil – Relatório de Pesquisa**. Brasília: IPEA, 2012.

GABRICH, M. F. **Estudo da influência das adições minerais no comportamento do concreto sob a ação do fogo**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais.

GUIMARÃES, R. C.; RIBEIRO, H. C. **Utilização de agregados reciclados de resíduos de construção civil em revestimentos asfálticos**. Anápolis – 2005. 18p. Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológica Engenharia Civil.

HALMEMAN, M. C. R.; SOUZA, P. C.; CASARIN, A. N. **Caracterização dos resíduos de construção e demolição na unidade de recebimento de resíduos sólidos no município de Campo Mourão –PR**. Revista Tecnológica, Edição Especial ENTECA 2009, p. 203-209, 2009.

HANSEN, T. – Recycling of demolished concrete and masonry. Report of technical committee 37-DRC, **Demolition and Reuse of Concrete**, Taylor & Francis, London. 1992.

KAZMIERCZAK, C. S. KULAKOWSKI, M. P. BOITO, D. GARCIA, A.C. **Estudo comparativo da geração de resíduos de construção e demolição em São Leopoldo e Novo Hamburgo - RS**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11. 2006, Florianópolis – SC, Anais, p.1862-1871.

KOVLER, K. ROUSSEL, N. **Properties of fresh and hardened concrete**. Cement and Concret Research, vol. 41, 2011, P.775-792.

LATTERZA, L. M. **Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição: um novo material para fabricação de painéis leves**

**de vedação.** São Carlos, 1998.116p. Dissertação (Mestrado) – Escola de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LEITE, M. B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 270 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos.** 1997. 146f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.Martins (2012)

LIMA, J. A R.. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** São Carlos – 1999. 190p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LOPES, L. R. **Avaliação da interferência dos finos no desempenho de concretos com resíduos de construção e demolição.** Londrina – 2005. 148p. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina.

LÓPEZ-GAYARRE, F. SERNA, P. DOMINGO-CABO, A. SERRANO-LÓPEZ, M. A. LÓPEZ-COLINA, C. Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria on recycled concrete properties. **Waste Management**, v.29 n.12, p.3022-3028. 2009.

MARCIANO JR, E. Resíduos da construção civil. **Wabe International**. 2000.

MARTÍNEZ-MOLINA, W.; TORRES-ACOSTA, A. A.; ALONSO-GUZMÁN E. M.; CHÁVEZ-GARCÍA, H. L.; HERNÁNDEZ-BARRIOS, H., LARA-GÓMEZ, C.; MARTÍNEZ-ALONSO, W.; PÉREZ-QUIROZ J. T.; BEDOLLA-ARROYO J. A; GONZÁLEZ-VALDÉZ F. M.. Concreto reciclado: uma revisão. **Revista ALCONPAT**. V. 5, pp 234-247, dez, 2015.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto.** São Paulo. 1993. 449f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.



MEHTA, P. K. Greening of the concrete industry for sustainable development. **Concrete International**, p. 23-27, jul. 2002.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P.J.M., **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. IBRACON, 2008.

MIRANDA, L.F.R; ANGULO, S.C.; CARELI, E.D., A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil:1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, V. 9, n.1, p.57-71, Jan./Mar.2009.ISS 1678-8621.

MORAES, R. C. **Efeitos físicos e pozolânicos das adições minerais sobre a resistência mecânica do concreto**. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria.

MOTTA, R. S.. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. São Paulo – 2005. 134f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MÜLLER, A. Closed loop of concrete rubble? In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 7., 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Comitê Técnico CT-206 Meio Ambiente (IBRACON), 2006, CDROM. (palestra apresentada durante o evento).

NEVILLE, A. M., **Propriedades do concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso. 1. Ed. São Paulo: PINI,1982.

OIKONOMOU, N. D. Recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 2, p. 315 -318, Jan. 2005.

OLIVEIRA, M. J.; ASSIS, C. S.; DE MATTOS, J. T. Recycled aggregate standardization in Brazil. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDINGS AND STRUCTURES, 2004, Barcelona. **Proceedings...** França: Elsevier publications, 2004.

PADMINI, A. K; RAMAMURTHY; MATHEWS, M. S. Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Building Materials**, 23(1), 829-836. 2009.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 13. Ed. Editora Globo: São Paulo. 1998.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P. Resultados da gestão diferenciada. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 31, p. 31-34, nov. - dez. 1997.

RAO, C. M.; BHATACHARYYA, S. K.; BARAI, S. V.. Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete. **Materials and Structures**. Vol. 44, pp 205-220, abr, 2011.

RIBEIRO, R. C. C.; CORREIA, J. C. G.; SEIDL, P. R.; ALMEIDA, S. L. M.; CARVALHO, E. A. **Utilização de Rejeitos de Rochas Ornamentais em Misturas Asfálticas**. SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL, STM - 87. Rio de Janeiro – 2007. 34p.

RODRIGUES, A. W. B.; BRASILEIRO, M. I.; OLIVEIRA, D. F.; PATRICIO, S. M. R.; BEZERRA, R. L.; NEVES, G. A.; SILVA, M. C. Utilização de resíduos da construção civil para produção de blocos com função estrutural – Parte II. **Anais do 44o Congresso Brasileiro de Cerâmica**. São Pedro, SP. 2000.

RODRIGUES, C. R. DE SÁ; FUCALE, S.. Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, V. 14, pp 99-111, mar. 2014.

RON, M. B.; CASAGRANDE, M. D. T.; VALE, A. C.; LOPES, M. M.; SOARES, J. B.. **Aplicabilidade de resíduos reciclados da construção civil e demolição como agregados em misturas asfálticas**. Anais da 15º RPU - Reunião de Pavimentação Urbana, trabalho nº19. Salvador – 2008. 09p.

RUIVO, J.; VEIGA, J. Resíduos de construção e demolição: estratégia para um modelo de gestão. **Revista Internacional Construlink**, v. 2, n.7, nov. 2004.

SABBATINI, F. H.; MEDEIROS, J. S. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. **Boletim técnico da escola politécnica da USP**, SÃO PAULO, N. 98, 1993.

SANCHEZ, M. **Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural**. Tese de Doutoramento em Construção, Universidade Politécnica de Madrid, Madrid, 2004.

SANTOS, J.; BRANCO, F.; BRITO, J. (2002) – Mechanical properties of concrete with coarse recycled concrete aggregates. **Sustainable Building** 2002.

SCHULZ, R. R.; HENDRICKS, Ch. F. Recycling of masonry rubble. In: HANSEN, T. C. **Recycling of demolished concrete masonry**. London: Chapman & Hall, 1992. Part Two, p. 161-255. (RILEM TC Report 6).

SHI, C.; LI, Y.; ZHANG, J.; LI, W.; CHONG, L.; XIE, Z.. **Performance enhancement of recycled concrete aggregate - A review**. Journal of Cleaner Production. V. 112, pp 468-472, ago, 2015.

SILVA, C. A. R. S. **Estudo do agregado reciclado de construção civil em misturas betuminosas para vias urbanas**. Ouro Preto – 2009. 163p. Dissertação (Mestrado). Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto.

SOUZA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. 2001. 142f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

ULSEN, C., **Caracterização e separabilidade de agregados miúdos produzidos a partir de resíduos de construção e demolição**. São Paulo 2011. 222p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

VAN ACKER, A. Recycling of concrete at a precast concrete plant. **BIBM**, Paris, p. 55-67, 1996.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C.; LIMA, F. B. Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição. **Revista Engenharia Civil**. Universidade do Minho. n.19, p.5-18, 2004.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.** Campinas - 1997. 140p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.