



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

LUÍS RICARDO LOPES

**AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DOS FINOS NO
DESEMPENHO DE CONCRETOS COM RESÍDUOS DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

Londrina
2005

LUÍS RICARDO LOPES

**AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DOS FINOS NO DESEMPENHO
DE CONCRETOS COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Morales

Londrina

2005

LUÍS RICARDO LOPES

**AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DOS FINOS NO DESEMPENHO
DE CONCRETOS COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Gilson Morales
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Gilberto Carbonari
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Londrina, 28 de abril de 2005

A Deus,
aos meus pais Nilton e Maria Angela,
e a toda minha família...
*pois, se este trabalho tornou-se uma realidade,
foi fruto da confiança sempre creditada por eles,
a quem dedico minha eterna gratidão...*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Nilton Francisco Lopes e Maria Angela Fanckin Lopes, pela motivação, incentivo e apoio.

A minha família, pela confiança e motivação dada nestes dois anos de curso.

À Universidade Estadual de Londrina.

Ao Prof. Orientador Dr. Gilson Morales, mestre e amigo de todas as horas.

Ao Programa de Mestrado de Engenharia de Edificações e Saneamento, pela confiança em meu trabalho.

À coordenação do Mestrado, Prof^a. Dra. Sandra Márcia Cesário Pereira da Silva e Prof^a. Dra. Ercília Hitomi Hirota.

Aos Professores do Programa do Mestrado, pela transmissão dos conhecimentos.

À CAPES, que viabilizou a realização desta pesquisa.

À PROAP, por proporcionar a viabilidade dos ensaios de laboratório.

Aos Professores Gilberto Carbonari e Luiz Roberto Prudêncio Jr., pela valiosa participação no exame de qualificação e defesa deste trabalho.

À Prof^a. Dra. Janaíde Cavalcante Rocha e ao doutorando Leonardo de Brito Andrade, membros do grupo ValoRes da UFSC, pela atenção e colaboração nos ensaios de laboratório realizados em Florianópolis.

Aos colegas de Mestrado, em especial aos amigos Cássio Kaminagakura, Fabiano Furlan, Gustavo Campos, Rubens Andrade Jr e Sérgio Kemmer, pela grande amizade e apoio nas horas difíceis.

Aos eternos amigos da turma 2003 de Engenharia Civil da UEL.

Ao colega Eng. Dr. Sérgio Cirelli Angulo.

À Rita de Cássia pelas revisões de Língua Portuguesa.

À Secretaria de Pós-Graduação do CTU.

Ao Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC da UEL.

Ao Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC da UFSC.

À Usina Recicladora de Materiais de Campinas, pela doação dos RCD.

À Politécnica S/C Ltda. pela colaboração nos ensaios de laboratório.

Ao Eng. Antônio A. Junqueira diretor técnico da empresa Maqbrit.

A todos que, de uma forma ou de outra, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

"E verifiquei que nada há de melhor para
o homem do que se alegrar com
o fruto de seus trabalhos."

(Ecl 3, 22)

LOPES, Luís Ricardo. **Avaliação da interferência dos finos no desempenho de concretos com resíduos de construção e demolição**. Londrina, 2005. 150p. Dissertação – Curso de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento – Universidade Estadual de Londrina.

RESUMO

O uso de RCD (Resíduos de Construção e Demolição) em concretos tem se tornado muito importante no que diz respeito à preservação dos recursos naturais, manejo desses resíduos oriundos da construção civil e como parte do desenvolvimento sustentável. No entanto, no processo de obtenção desses agregados graúdos reciclados, são geradas partículas finas que desenvolvem características diferentes no desempenho dos concretos produzidos com agregados de RCD. Esse material fino apresenta algumas particularidades e tem sido estudado por diversos grupos de pesquisas em vários países. O objetivo deste estudo é avaliar algumas propriedades dos concretos produzidos com agregados de RCD e com diferentes teores de finos, oriundos do processo de britagem do RCD. Produziram-se concretos com agregados reciclados com 0%, 3,45% e 5,85% de finos e, outro concreto com agregado convencional. Foram avaliadas as características dos concretos no estado fresco, tais como: massa específica, medida de consistência, retração plástica, exsudação; no estado endurecido foram ensaiadas algumas de suas características, tais como: módulo de deformação, resistência à compressão e resistência à tração. Do estudo concluí-se que quando se produziram concretos com agregados de RCD, o aumento do teor de finos presentes nesses agregados interferiu de forma significativa nas propriedades do concreto, aumentando o slump da mistura, ou seja, deixando-a com maior trabalhabilidade e, conseqüentemente, aumentando a exsudação e a retração plástica. Para o módulo de deformação, os finos se apresentaram favoráveis, aumentando o valor do módulo de deformação, o que é conseqüência do aumento da resistência à compressão, em função do aumento do teor de finos; na resistência à tração os concretos com alto teor de finos obteve melhor resistência. Portanto, de uma forma geral, os finos interferem no desempenho dos concretos produzidos com agregados de RCD.

Palavras-chave: Concreto, sustentabilidade, resíduos, agregados, finos, desempenho, reciclagem.

LOPES, Luís Ricardo. Avaluation of the influence of fines in the performance of concretes produced with construction and demolition waste. Londrina, 2005. 150p. Dissertation – Master degree Programme in Building Engineering and Environment – State University of Londrina.

ABSTRACT

The relevance of the use construction and demolition waste (CDW) in concrete is increasing because of the concerns about natural resources preservation, the disposal of construction waste and sustainable development. On the other hand, fine particles generated during the production process of recycled coarse aggregates produce different performance characteristics in the concrete produced with these coarse aggregates. The peculiarities of these fines have been studied by various research groups from different countries. This dissertation aims at evaluating some properties of concrete produced with CDW aggregates using different fine proportion. In order to develop this study, it was produced concretes with CDW aggregates and 0%, 3,45% and 5,85% of fines and another concrete with ordinary aggregate. The characteristics of fresh concretes evaluated were: specific gravity, workability, plastic shrinkage, and bleeding. In hardened concrete, the evaluation considered compressive strength, tensile strength, and modulus of elasticity. This study lead to the conclusion that in concretes produced with CDW aggregates the increase in proportion of fines found in these aggregates influenced significantly the concrete properties, increasing the mixture slump, improving workability and, consequently, increasing bleeding as well as plastic shrinkage. The fines also contributed to the increase of the modulus of elasticity in concretes produced with CDW aggregates. This is a consequence of the improvement of the compression strength, produced by increase of fines proportion. Concerning tensile strength, the concretes with high fines proportions resulted in higher strength.

Key-words: concrete, waste, sustainability, aggregates, fines, performance, recycle.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Porcentagem média dos constituintes do entulho analisado na caracterização qualitativa.	39
FIGURA 2 – Composição dos RCD para os diferentes estudos realizados.	41
FIGURA 3 – Curvas de retração de argamassas para as primeiras 24 horas.	48
FIGURA 4 – Módulo de deformação de concretos produzidos com RCD em função da relação a/c.	55
FIGURA 5 – Módulo de deformação de concretos produzidos com RCD em função do teor de agregado graúdo reciclado.	55
FIGURA 6 – Variação do módulo de elasticidade de concretos para diferentes valores da relação água/cimento, segundo a B.C.S.J. – 1978.	56
FIGURA 7 – Variação do módulo de elasticidade de concretos para diferentes valores da relação água/cimento, segundo a RASHEEDUZZAFAR e KHAN – 1984.	57
FIGURA 8 – Usina de reciclagem, responsável pelo processo de britagem do RCD.	74
FIGURA 9 – Local de coleta do RCD.	74
FIGURA 10 – Detalhe do local onde é feita a separação manual de componentes que não são considerados como RCD.	75
FIGURA 11 – RCD antes da etapa de britagem.	75
FIGURA 12 – RCD após a etapa de britagem.	76
FIGURA 13 – Maneira como foi realizado o transporte do RCD de Campinas para Londrina.	76
FIGURA 14 – Detalhes da moagem do RCD para a produção dos finos, que serão utilizados para a obtenção dos RCD com 5,85% de finos.	84
FIGURA 15 – Finos utilizados para a obtenção dos agregados de RCD com 5,85% de finos.	84
FIGURA 16 – Esquema do aparelho utilizado para a realização do ensaio de retração plástica.	89
FIGURA 17 – Curva granulométrica do agregado miúdo.	98
FIGURA 18 – Curva granulométrica dos agregados graúdos.	100
FIGURA 19 – Absorção de água dos agregados reciclados.	105

FIGURA 20 – Composição mineralógica média do RCD de Campinas.	108
FIGURA 21 – Evolução da retração plástica.....	112
FIGURA 22 – Massa de água exsudada nos intervalos de coleta em kg/m ² , para os diferentes concretos.	117
FIGURA 23 – Massa de água exsudada ao longo do tempo, em kg/m ² , para os diferentes concretos.	118
FIGURA 24 – Evolução do módulo de deformação.....	120
FIGURA 25 – Evolução da resistência à compressão ao longo do tempo para os concretos produzidos.....	122
FIGURA 26 – Percentual de resistência à compressão dos concretos produzidos com RCD em relação à resistência aos 28 dias para cada concreto produzido.	124
FIGURA 27 – Percentual da resistência à compressão em relação à resistência à compressão do concreto de referência.	126
FIGURA 28 – Evolução da resistência à tração ao longo do tempo para os concretos produzidos.	128
FIGURA 29 – Detalhes dos corpos de prova rompidos à tração.....	130
FIGURA 30 – Percentual de resistência à tração em relação à resistência aos 28 dias para cada concreto produzido.....	132
FIGURA 31 – Percentual da resistência à tração dos concretos produzidos com RCD em relação à resistência à tração do concreto de referência.	133

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Caracterização dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Santo André em 1996.	25
TABELA 2 – Situação em algumas cidades brasileiras sobre a política de RCD.....	27
TABELA 3 – Participação dos RCD no total de resíduos sólidos, em alguns países.....	31
TABELA 4 – Participação dos RCD no total de resíduos sólidos, em cidades brasileiras.....	31
TABELA 5 – Massa específica e massa unitária para os agregados miúdo e grãos.	36
TABELA 6 – Valores de índice de forma de agregados naturais e reciclados.	38
TABELA 7 – Composição média dos resíduos de construção e demolição.....	40
TABELA 8 – Composição mineralógica do agregado grão reciclado em Vinhedo-SP.	41
TABELA 9 – Classificação dos agregados grãos reciclados para concreto (RILEM TC 121-DRG, 1994).	43
TABELA 10 – Valores comparativos entre concretos produzidos com RCD e concretos convencionais, relativos à resistência à compressão simples aos 28 dias.	59
TABELA 11 – Valores comparativos entre concretos produzidos com RCD e concretos convencionais, relativos à resistência à compressão simples aos 60 dias.	59
TABELA 12 – Valores máximos de finos no concreto produzido com agregados reciclados.....	68
TABELA 13 – Estudo realizado por ABOU-ZEID e FAKHRY (2003) para misturas de concretos variando o teor de finos, a relação a/c e slump das misturas.....	69
TABELA 14 – Ensaio de caracterização dos materiais.	77
TABELA 15 – Nomenclatura usada para os concretos produzidos.....	82
TABELA 16 – Traços utilizados para os ensaios realizados.	85
TABELA 17 – Determinação da massa específica.....	87

TABELA 18 – Ensaio de exsudação.	91
TABELA 19 – Quantidade de corpos de prova para o ensaio de módulo de deformação.	92
TABELA 20 – Quantidade de corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão.	93
TABELA 21 – Quantidade de corpos de prova para o ensaio de resistência à tração.	93
TABELA 22 – Características físicas do cimento.	94
TABELA 23 – Características químicas do cimento.	95
TABELA 24 – Determinação da massa unitária e massa específica média dos agregados miúdo e graúdo.	96
TABELA 25 – Composição granulométrica média do agregado miúdo.....	97
TABELA 26 – Composição granulométrica média do agregado graúdo natural.	99
TABELA 27 – Composição granulométrica média do agregado graúdo reciclado.	99
TABELA 28 – Teor de material pulverulento dos agregados miúdo e graúdo.....	102
TABELA 29 – Índice de forma dos agregados graúdos naturais e reciclados.....	103
TABELA 30 – Absorção de água dos agregados reciclados.....	105
TABELA 31 – Composição mineralógica média do RCD em massa.....	107
TABELA 32 – Composição mineralógica média do RCD em porcentagem.	107
TABELA 33 – Massa específica dos concretos produzidos.	109
TABELA 34 – Medida de consistência dos concretos produzidos.	110
TABELA 35 – Retração plástica máxima dos concretos produzidos.....	112
TABELA 36 – Massa de água perdida por exsudação, para cada intervalo de coleta e, massa de água exsudada acumulada, em gramas.....	115
TABELA 37 – Massa de água exsudada acumulada nos intervalos de coleta, em kg/m ² , para os diferentes concretos.	116
TABELA 38 – Valores dos ensaios de módulo de deformação.....	119
TABELA 39 – Redução dos valores de módulo de deformação em relação ao CR_brita para os 7, 28 e 63 dias.....	120
TABELA 40 – Valores obtidos de resistência à compressão (MPa) ao longo do tempo para os concretos produzidos.....	121
TABELA 41 – Percentual de aumento de resistência à compressão (%) nas diferentes idades de rupturas dos concretos.	123

TABELA 42 – Percentual de resistência à compressão em relação à resistência aos 28 dias para os concretos produzidos.....	124
TABELA 43 – Percentual da resistência à compressão em relação à resistência do Concreto de Referência.....	125
TABELA 44 – Valores obtidos de resistência à tração (MPa) ao longo do tempo para os concretos produzidos.....	127
TABELA 45 – Percentual de aumento de resistência à compressão (%) nas diferentes idades de rupturas dos concretos.	129
TABELA 46 – Percentual de resistência à tração em relação à resistência aos 28 dias para os concretos produzidos.	131
TABELA 47 – Percentual da resistência à compressão em relação à resistência do Concreto de Referência.....	132
TABELA 48 – Relação entre a resistência à tração e a resistência à compressão.....	134

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. OBJETIVO GERAL	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.3. JUSTIFICATIVA	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	23
2.1.1. DEFINIÇÃO.....	23
2.1.2. IMPORTÂNCIA DA RECICLAGEM DO RCD.....	24
2.1.3. CONSTRUÇÃO CIVIL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	28
2.1.4. GERAÇÃO DE RCD NO BRASIL E NO EXTERIOR.....	30
2.1.5. USO DO RCD EM CONCRETOS.....	32
2.1.6. FATORES QUE INTERFEREM NAS PROPRIEDADES DOS AGREGADOS.....	33
2.1.6.1. MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA.....	35
2.1.6.2. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	37
2.1.6.3. ÍNDICE DE FORMA.....	37
2.1.6.4. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA.....	38
2.1.6.5. ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	43
2.2. PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	45
2.2.1. ESTUDO DO FENÔMENO DA RETRAÇÃO PLÁSTICA.....	45
2.2.2. EXSUDAÇÃO.....	50
2.3. PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	53

2.3.1. MÓDULO DE DEFORMAÇÃO.....	53
2.3.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	58
2.3.3. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	60
2.4. ESTUDO DE FISSURAS.....	61
2.4.1. ESTUDO DE FISSURAS DEVIDAS À RETRAÇÃO PLÁSTICA	64
2.5. INTERFERÊNCIAS DOS FINOS NO DESEMPENHO DO CONCRETO	668
3. MÉTODO	72
3.1. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	72
3.2. ENSAIOS NORMATIZADOS DOS MATERIAIS UTILIZADOS	77
3.2.1. MASSA ESPECÍFICA.....	78
3.2.2. MASSA UNITÁRIA	79
3.2.3. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	79
3.2.4. TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO.....	80
3.2.5. ÍNDICE DE FORMA	80
3.2.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA	80
3.2.7. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA MÉDIA DO RCD.....	81
3.3. DEFINIÇÃO DOS CONCRETOS A SEREM PRODUZIDOS	82
3.3.1. PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	85
3.4. ENSAIOS DOS CONCRETOS.....	86
3.4.1. ENSAIOS DOS CONCRETOS NO ESTADO FRESCO	86
3.4.1.1. ENSAIO DA MASSA ESPECÍFICA	86
3.4.1.2. ENSAIO DA MEDIDA DE CONSISTÊNCIA	87
3.4.1.3. ENSAIO DE PEGA.....	87
3.4.1.4. ENSAIO DE RETRAÇÃO PLÁSTICA.....	88

3.4.1.5.	ENSAIO DE EXSUDAÇÃO	90
3.4.2.	ENSAIOS DOS CONCRETOS NO ESTADO ENDURECIDO	91
3.4.2.1.	ENSAIO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO	91
3.4.2.2.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	92
3.4.2.3.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	93
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	94
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	94
4.1.1.	ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS DO CIMENTO	94
4.1.2.	MASSA UNITÁRIA E MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS	95
4.1.3.	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	97
4.1.4.	TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO	101
4.1.5.	ÍNDICE DE FORMA	102
4.1.6.	ABSORÇÃO	104
4.1.7.	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA MÉDIA DO RCD	106
4.2.	RESULTADOS DOS CONCRETOS NO ESTADO FRESCO	109
4.2.1.	MASSA ESPECÍFICA.....	109
4.2.2.	MEDIDA DE CONSISTÊNCIA.....	110
4.2.3.	ENSAIO DE PEGA	111
4.2.4.	RETRAÇÃO PLÁSTICA	111
4.2.5.	EXSUDAÇÃO	114
4.3.	RESULTADOS DOS CONCRETOS NO ESTADO ENDURECIDO	119
4.3.1.	MÓDULO DE DEFORMAÇÃO	119
4.3.2.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	121
4.3.3.	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	127

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	135
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	141
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143

1. INTRODUÇÃO

As pesquisas mais recentes que vêm sendo realizadas no Brasil e no exterior mostram que a construção civil é certamente o maior gerador de resíduos sólidos urbanos de toda a sociedade.

JOHN (1999) tem em suas estimativas que a construção civil é o setor responsável pelo consumo do maior volume de recursos naturais, variando entre 15% e 50% dos recursos extraídos, o que vem ao encontro dos dados obtidos por SJÖSTRÖN (1992), o qual comenta que estes valores variam entre 14% e 50%, além de os produtos da construção civil serem os grandes consumidores de energia.

Os Resíduos de Construção e Demolição são atualmente conhecidos por diversos autores pelo termo RCD, porém, há outros que preferem utilizar o termo entulho para designar esses resíduos, oriundos da construção civil.

No Brasil, os primeiros estudos a respeito do uso de RCD, como agregados para concretos e argamassas, começaram na década de 80, com Pinto em 1986, depois Silveira em 1993, Zordan em 1997, Levy em 1997, Latterza em 1998, Lima em 1999 e Bazuco em 1999. Além desses, outros estudos pontuais também foram realizados por diversas instituições de pesquisa do país (PINTO, 1999).

Ainda, segundo PINTO (1999), os países europeus e o Japão foram os pioneiros no conhecimento e controle dos RCD. Isso se deve a sua elevada industrialização e à carência de recursos naturais, dadas a sua alta densidade demográfica e a falta de espaços para a destinação dos RCD.

Atualmente, há uma constante busca pela sustentabilidade no setor da construção civil, através do controle da extração dos recursos naturais, da redução da poluição e do gerenciamento dos resíduos gerados.

O gerenciamento dos RCD em cidades de grande porte é muito difícil e oneroso, e a tendência é que as dificuldades aumentem na mesma proporção que aumenta o volume de RCD gerado (ZORDAN, 1997).

Neste contexto, a reciclagem aparece como essencial para o desenvolvimento sustentável, uma vez que é impossível pensar em uma sociedade que não gere resíduos (JOHN, 2000).

No Brasil, a reciclagem de RCD deu-se a partir da década de 80, através do uso de “maseiras moinho”. Este equipamento de pequeno porte é utilizado para uso exclusivo em obras de edificações e propicia moagem intensa de resíduos menos resistentes, como os resíduos de alvenaria e de argamassa, possibilitando a reutilização em novas argamassas (PINTO, 1999).

Portanto, diante do enorme volume de estudos que foram realizados a respeito dos RCD, conclui-se que o uso do RCD na produção de concretos é viável; no entanto, ainda são necessários estudos a respeito das patologias nos concretos produzidos com esses resíduos.

Uma das manifestações patológicas mais comuns do concreto é a fissuração. Esta tende a ser mais grave ainda quando se trata da utilização de materiais reciclados de construção e demolição (MIRANDA, 2000).

As fissuras em peças de concreto podem ocorrer devido ao fato de o agregado reciclado absorver uma maior quantidade de água, aumentando assim, a quantia de água necessária para adquirir uma determinada trabalhabilidade

requerida e, também, devido ao material excessivamente fino que se encontra aderido aos agregados reciclados de construção civil.

Portanto, o estudo de materiais excessivamente finos é de fundamental importância no meio técnico, ainda mais quando se trata de produtos originados de materiais reciclados, como é o caso do RCD.

Essas manifestações patológicas em peças de concreto com a utilização de RCD tornam o seu uso, como agregados para concreto, de maior dificuldade de aceitação pela sociedade.

No entanto, existe uma falta de preocupação de alguns profissionais da área da construção civil, no que diz respeito ao aparecimento de fissuras em edificações visto que milhares de casas populares, as quais estão sendo construídas para população de baixa renda, têm apresentado problemas patológicos de fissuração.

Portanto, evitar a fissuração em peças de concretos com RCD é um requisito para que se obtenha concretos com melhor qualidade e maior durabilidade e, desta forma, contribua-se para o aumento da produção de concretos com agregados reciclados e, conseqüentemente, não haja a rejeição dos resíduos gerados, auxiliando no desenvolvimento sustentável.

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar a interferência do percentual de finos presentes nas superfícies dos agregados reciclados de construção e demolição, usados para a produção de concreto com RCD.

Conseqüentemente, contribuir para o aumento do conhecimento de causas de patologias em concretos produzidos, mediante a substituição de agregados graúdos naturais por agregados reciclados de construção e demolição.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a composição dos RCD gerados na cidade de Campinas;
- Verificar a viabilidade do uso dos RCD gerados em Campinas para a produção de concretos;
- Analisar a resistência à compressão dos corpos de prova produzidos para diferentes teores de finos de RCD.
- Analisar a interferência dos finos nas propriedades do concreto, no estado fresco, para diferentes teores de finos de RCD.
- Analisar a interferência dos finos nas propriedades do concreto, no estado endurecido, para diferentes teores de finos de RCD.

1.3. JUSTIFICATIVA

A justificativa para a elaboração desta Dissertação está no fato de que há uma tendência cada vez maior para a utilização dos RCD em concretos. No entanto, há certas restrições ao uso destes resíduos, principalmente, devido ao alto teor de finos presente em sua superfície. Portanto, o estudo insere-se como um

passo importante para avaliar e aumentar o uso dos RCD em concretos, de tal forma que se consiga um certo equilíbrio entre a quantidade de resíduo gerado e a quantidade reciclada.

A busca incessante pelo desenvolvimento de melhores tecnologias para se obter um maior e melhor aproveitamento desses resíduos é algo que vem acontecendo no meio técnico do setor da construção civil, porém, toda nova tecnologia encontra problemas em seu aperfeiçoamento, e na indústria da construção civil isso não é diferente.

Para se fazer à utilização de RCD na produção de concretos, é necessário que os resíduos passem por um processo de britagem, para que se tornem uma composição com granulometria apropriada ao seu uso. No entanto, quando esse processo de britagem é feito, as partículas extremamente finas ficam aderidas aos agregados reciclados, provavelmente interferindo no desempenho do concreto, causando uma série de patologias e, principalmente, prejudicando a sua durabilidade.

LEVY (2001) relata em seu estudo que, quando estruturas de concreto foram produzidas sem o devido conhecimento dos fenômenos que interferiam em sua durabilidade, em diversas ocasiões, ocorreu a redução da vida útil de grandes obras de engenharia, resultando graves prejuízos materiais e, algumas vezes, lamentavelmente, com vítimas fatais.

A hipótese de que os finos gerados no processo de britagem do RCD interferem no desempenho do concreto é válida. Portanto, tornando o assunto mais aprofundado no meio técnico, haverá uma grande contribuição para que se utilize mais os RCD para a produção de novos concretos, de forma que se tenha

maior durabilidade do concreto, colaborando com a sustentabilidade do setor, conforme proposto pelo conceito de desenvolvimento sustentável.

Ainda dentro desse conceito, visa-se minimizar, tanto o impacto ambiental causado pela disposição dos RCD na natureza, bem como o uso de novos recursos naturais, os quais, muitas vezes, tornam-se custosos devido à distância que separa a matéria-prima da indústria que o transformará, ocasionando um aumento na cadeia do consumo de energia, implicando gastos desnecessários e maior poluição ambiental, o que resulta em um desenvolvimento insustentável.

Portanto, o trabalho proposto está perfeitamente inserido no contexto de sustentabilidade, procurando, dessa forma, garantir as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

2.1.1. DEFINIÇÃO

Atualmente, existem várias definições para designar os resíduos oriundos da construção, demolição e reformas das obras da construção civil.

BIOCYCLE (1990) define RCD como:

Resíduos sólidos não contaminados, provenientes de construção, reformas, reparos e demolição de estruturas e estradas, e resíduos sólidos não contaminados de vegetação, resultantes de limpeza e escavação de solos. Como resíduos, incluem-se, mas não se limitam, blocos, concretos e outros materiais de alvenaria, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, encanamentos, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, que não camuflam outros resíduos, fiação elétrica e equipamentos que não contenham líquidos perigosos e metais que estiverem num dos itens acima (BIOCYCLE, 1990).

ANGULO (2000) considera RCD em sua pesquisa como sendo todo e qualquer resíduo oriundo das atividades de construção, seja ele de novas construções, reformas e demolições que envolvam atividades de obra de arte, solos ou resíduos de vegetação presentes e limpeza de terrenos.

No entanto, existe um pensamento na cultura brasileira de que entulho seria um material inútil e tido como sinônimo de material sem valor, com os quais as empresas e as pessoas têm custos para sua retirada (LEVY, 2001).

Portanto, considera-se para este trabalho o termo RCD como sendo resíduos provenientes de atividades de construção, demolição, reformas e restos de materiais de canteiros de obras, excluídas as parcelas de metais, vidros, plásticos,

madeiras, solos, resíduos orgânicos, etc e que possam ser separadas através de uma operação manual.

Felizmente, nações tecnologicamente desenvolvidas como Estados Unidos, Holanda, Japão, Bélgica, França e Alemanha, entre outros, já perceberam a necessidade de reciclar as sobras de construção civil e vêm pesquisando o assunto intensamente, visando atingir um grau de padronização dos procedimentos adotados para obtenção dos agregados, atendendo inclusive aos limites que permitem um padrão mínimo de qualidade (LEVY, 1997).

Em alguns países desenvolvidos há dois tipos de instalações de reciclagem: as que produzem agregados para todos os tipos de aplicação e as que os produzem para uso específico em concretos, possuindo, este segundo tipo, controle de qualidade mais estrito (ITEC 1995c, apud PINTO 1999).

2.1.2. IMPORTÂNCIA DA RECICLAGEM DO RCD

As administrações municipais das principais cidades brasileiras têm encontrado problemas diante do enorme volume de resíduos gerados por diversas indústrias, de forma mais específica pela indústria da construção civil, a qual é a maior geradora de resíduos urbanos de toda sociedade.

KELLY e WILLIANS (1995) relatam que o uso de resíduos pela indústria da construção civil não é algo recente, visto que, as cinzas volantes, que são subprodutos da queima do carvão mineral usado como combustível nas usinas termoelétricas, já têm sido usadas na produção do cimento Portland há aproximadamente 50 anos.

PERA (1996) relata em seus estudos que na Europa Ocidental a geração de RCD representa 66% do total de resíduos sólidos, o que corresponde ao dobro da geração de resíduos sólidos municipais. Segundo o autor, a produção de RCD nessa região é de 0,7 a 1,0 tonelada por habitante a cada ano.

De acordo com PINTO (1999), a geração de resíduos da construção civil no Brasil chega a quase dois terços do total de resíduos gerados, representando de 54% a 61% da massa dos resíduos sólidos urbanos.

A importância da reciclagem dos resíduos de construção e demolição está evidenciada ao se observar a enorme participação do RCD no total dos resíduos sólidos urbanos gerados pela sociedade. A tabela 1 mostra a participação dos diferentes resíduos sólidos urbanos gerados no município de Santo André, no estado de São Paulo.

TABELA 1 – Caracterização dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Santo André em 1996.

	Domiciliar	Saúde	Volumosos	Industrial	RCD	Total
Geração diária (t/dia)	674	7	52	129	1013	1910
Participação no total (%)	32,57	0,37	2,72	6,75	57,59	100

Fonte: PINTO (1999)

Nas cidades brasileiras, a maioria dos resíduos oriundos da construção e demolição (RCD) é depositada clandestinamente, provavelmente devido à distância dos aterros. Entretanto, estes aterros clandestinos têm obstruído córregos e drenagens, colaborando para a ocorrência de enchentes, devido aos entupimentos de bueiros, favorecendo a proliferação de mosquitos e outros vetores prejudiciais às condições de saneamento e à saúde humana, ou seja, causando um

aspecto visual desagradável para os habitantes da cidade e levando uma boa parte das prefeituras a aumentar, de forma significativa, os custos com a administração municipal.

Segundo PINTO (1997), no ano de 1997, no Brasil, já existiam sete cidades que decidiram investir no entulho através da instalação de usinas de reciclagem. Essas cidades eram: Belo Horizonte em Minas Gerais, São Paulo, Muriaé, Ribeirão Preto, Piracicaba e São José dos Campos no estado de São Paulo e Londrina no estado do Paraná.

Atualmente, algumas dessas usinas encontram-se desativadas, outras continuam em perfeito funcionamento, assim como há ainda as cidades que aderiram à política de gerenciamento e reciclagem dos RCD e já têm suas usinas funcionando, enquanto outras estão com suas usinas em fase de implantação. A tabela 2 mostra a situação de algumas cidades nacionais sobre a política de resíduos de construção e demolição.

Para LEVY (2001), a política para gerenciamento de resíduos sólidos deve ser entendida como a adoção ou estabelecimento de regras práticas capazes de transformar em postura municipal, ou seja, postura esta que deixará de ser uma atitude meramente corretiva para, através de ações e idéias inovadoras, alcançar resultados positivos, os quais contribuirão para a redução dos gastos públicos e minimizará o impacto ambiental, ocasionado pela deposição dos resíduos sólidos gerados pela sociedade.

TABELA 2 – Situação em algumas cidades brasileiras sobre a política de RCD.

MUNICÍPIO	POLÍTICA	INSTALAÇÕES	SITUAÇÃO
Belo Horizonte	Existe	Existem 2, 3 ^a em fase de implantação	Ativadas
Brasília	Não existe	Existem 2	1 Ativada e 1 paralisada
Campinas	Existe	Existe	Ativada
Diadema	Existe	Não existe	-
Guarulhos	Existe	Existe	Ativada
Jundiaí	Existe	Existe (Particular)	Ativada
Londrina	Existe	Existe	Desativada
Piracicaba	Existe	Existe	Ativada
Ribeirão Pires	Existe	Existe	Em manutenção
Ribeirão Preto	Existe	Existe	Paralisada
Santo André	Existe	Não existe	-
São Carlos	Existe	Existe	Em início de operação
São J. Campos	Não existe	Existe	Desativada
São J. Rio Preto	Existe	Existe	Em início de operação
São Paulo	Existe	Existe	Em manutenção
Vinhedo	Não existe	Existe	Ativada
São Bernardo do Campo	Não existe	Existe (Particular)	Ativada
Macaé	Não existe	Existe	Ativada
São Gonçalo	Não existe	Existe	Paralisada no momento

Fonte: Eng. Antônio A. Junqueira
Diretor técnico da empresa MAQBRT Comércio e Indústria de Máquinas Ltda.

De uma forma geral, segundo ZORDAN (1997), a reciclagem de RCD vem contribuir para minimizar o impacto causado ao meio ambiente, das seguintes formas:

- a) conservação de matérias primas não renováveis;
- b) redução do consumo de energia;
- c) redução dos custos;
- d) minimização da poluição futura (emissão de poluentes, tais como CO₂, e da geração de resíduos);

- e) desenvolvimento mais sustentável;
- f) melhoria à saúde e à segurança da população.

A verdade é que os resíduos de construção e demolição fazem parte da cadeia de construção e não param de ser gerados. Sabe-se que algo deve ser feito em relação ao destino desses resíduos. Certamente a reciclagem aparece como uma solução rápida e economicamente viável para as administrações municipais, contudo, o uso desses agregados produzidos pelas usinas recicladoras ainda está passível de estudos sobre a qualidade, os quais vêm acontecendo e se demonstrando favoráveis ao uso.

2.1.3. CONSTRUÇÃO CIVIL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A Conferência sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas (Rio 92) consolida, através da AGENDA 21, a visão de que o desenvolvimento sustentável não apenas demanda na preservação dos recursos naturais, de modo a garantir para as gerações futuras iguais condições de desenvolvimento, ou seja, a equidade entre gerações, como também uma maior equidade no acesso aos benefícios do desenvolvimento, a igualdade de intrageração.

De acordo com LIDDLE (1994), a sociedade é orientada pelo paradigma “desbravador”, segundo o qual existe uma contraposição entre o meio ambiente e o desenvolvimento. A defesa do meio ambiente é vista como antidesenvolvimentalista.

A lógica implícita nesta cultura desbravadora é de que a quantidade de recursos naturais disponíveis é, em termos práticos, infinita, e que a natureza é capaz de absorver ilimitadas quantidades de resíduos (LIDDLE, 1994).

Visto que a construção civil é a maior consumidora de recursos naturais e a maior geradora de resíduos sólidos urbanos, será difícil que qualquer sociedade possa atingir o desenvolvimento sustentável sem que a construção civil, que lhe dá suporte, passe por profundas transformações.

No entanto, no Brasil já existe o incentivo de leis que levam a construção civil ao conceito de sustentabilidade, como é o caso de Belo Horizonte em Minas Gerais, onde a prefeitura da cidade isenta das taxas de habite-se obras cujos resíduos são encaminhados para uma usina de reciclagem da cidade. (CONSTRUÇÃO, 1996)

Assim como esse exemplo de Belo Horizonte, outros incentivos do poder público são colocados em prática pelo mundo inteiro, de forma a minimizar os impactos causados pelos resíduos da construção civil. Nos EUA e nos países europeus, por exemplo, há um pesado investimento em “marketing”, influenciado por uma política de controle e fiscalização rígida para a disposição de resíduos. No Brasil, o que se tem feito é a instalação de usinas de reciclagem (ZORDAN, 1997).

A primeira das usinas de reciclagem construídas em Belo Horizonte, no bairro de Estoril, obteve uma grande resistência da população do bairro, no sentido de impedir tal construção. A população alegava que a usina traria para o bairro mau cheiro, sujeira e até uma certa desvalorização da área. Atualmente a população aceita a usina sem problemas. Já a segunda usina a entrar em funcionamento, de Pampulha, não encontrou resistência por parte dos moradores, quando se deu a sua instalação (CONSTRUÇÃO, 1996).

Tais exemplos mostram que a carência de informações da população torna um pouco mais difícil atingir o desenvolvimento sustentável. Portanto, é preciso haver uma conscientização da sociedade, no sentido de fazê-la entender que é possível viver bem, contribuindo para se atingir o desenvolvimento sustentável.

2.1.4. GERAÇÃO DE RCD NO BRASIL E NO EXTERIOR

Apesar de ser certamente o mais visível, o resíduo sólido domiciliar tem menor parcela do que o resíduo de construção e demolição. Normalmente, os resíduos de construção e demolição representam aproximadamente dois terços do volume total de resíduos sólidos urbanos; já o domiciliar corresponde a aproximadamente um terço dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999).

Mesmo com todo o tempo de estudos sobre os RCD no Brasil, ainda pouco se sabe a respeito dos resíduos de construção e demolição, pois conceitua-se que é nas cidades de médio e grande porte que a parcela de RCD é significativa. PINTO (1999) apresentou resultados de estudos realizados em Santo André – SP em 1996, e os RCD compunham 57,59% da massa de resíduos sólidos urbanos.

As tabelas 3 e 4 apresentadas por ANGULO (2000) e PINTO (1999) respectivamente, mostram a participação dos RCD no total de resíduos sólidos, para alguns países e para algumas cidades brasileiras.

TABELA 3 – Participação dos RCD no total de resíduos sólidos, em alguns países.

Países	RCD (%) em massa	Fonte
Países Baixos	26	1996
Austrália	20-30	1994
Estados Unidos	20-39	1994/1998
Alemanha	19	1994
Finlândia	13-15	1994
Brasil	54-67	1999
Inglaterra	17	1997
Holanda	13-30	1998
Bélgica	66	1994
Europa Ocidental	66	1996

Fonte: ANGULO (2000)

TABELA 4 – Participação dos RCD no total de resíduos sólidos, em cidades brasileiras.

Cidade	Ano base	Geração total RSU	Geração total RCD		Resíduos domiciliares		Outros	
		(t/dia)	(t/dia)	%	(t/dia)	%	(t/dia)	%
Santo André	1996	1868	1013	54	674	36	181	10
São José Rio Preto	1996	1187	687	58	302	25	198*	17
São José Campos	1995	1090	733	67	278	26	79	7
Ribeirão Preto	1995	1484	1043	70	257	17	186	13
Jundiaí	1996	1151	712	62	314	27	125	11
Vitória da Conquista	1997	512	310	61	130	25	72	14

* Excluídos os resíduos industriais

Fonte: PINTO (1999)

PINTO (1999) observou uma tendência no aumento das atividades de construção em relação ao crescimento populacional nos anos posteriores a 1994, atribuindo esse aumento à diminuição das taxas de inflação no país nesse período, considerando que este fator tenha sido de contribuição significativa para o aumento da geração de resíduos.

Realmente, a quantidade de RCD que vem sendo gerado pela

sociedade, tanto no Brasil como no exterior, é bastante grande. O que o meio técnico da área de engenharia vem fazendo são estudos sobre como utilizar esses resíduos em novos produtos de construção, como por exemplo, em concretos.

2.1.5. USO DO RCD EM CONCRETOS

De acordo com LEVY (2001), a partir de 1928 já se começou a produzir concretos utilizando, como agregados, resíduos oriundos da construção civil. Porém, somente após o final da 2ª Guerra Mundial é que se deu uma aplicação significativa dos entulhos, nas reconstruções das cidades européias, as quais estavam diante de edifícios demolidos e escombros pelo chão. Londres, Berlim e Varsóvia são alguns exemplos.

LEVY (2001) comenta que, embora no Brasil ainda não seja habitual a produção de concretos com RCD, percebe-se uma tendência generalizada por parte da iniciativa privada e do poder público em equacionar e gerenciar a produção de entulhos de construção, o que vem se transformando em problemas de grandes proporções nas maiores metrópoles do país.

ZORDAN (1997) verificou em seus estudos que é possível fazer o uso dos RCD para a produção de concreto não estrutural, visto que as qualidades mecânicas, aferidas em sua pesquisa, apresentaram valores muito positivos.

LEVY (2001) concluiu, a partir dos resultados analisados em seus estudos, que o incremento de resíduos minerais podem ser de até 20%, sem que altere o comportamento do concreto em relação ao concreto de referência e, desta

forma, acredita que poderão ser utilizados sem qualquer restrição no que tange à resistência e à durabilidade.

Segundo a CONCRETE (1993) também com 20% de substituição dos agregados naturais pelos reciclados, não há problemas com a trabalhabilidade de um modo geral. Porém, com 100% de substituição haverá um decréscimo na resistência à compressão na ordem de 10 a 20%.

Diante do enorme e incessante volume de resíduos gerados pela construção civil, espera-se que a iniciativa para o aumento da reciclagem de entulho de construção esteja na instalação de centrais de reciclagem, de iniciativa pública ou privada, e que utilizem os RCD na produção de concretos ou argamassas em volumes compatíveis à velocidade de geração de entulho, com bom nível de controle tecnológico, para garantir o desempenho dos materiais produzidos (MIRANDA, 2000).

Portanto, o grande desafio para esse novo século, não será mais o de encontrar uma forma de dar destino aos RCD e sim, o de fazer com que profissionais do meio técnico atentem para o problema, e utilizem esses resíduos de forma a conscientizar a sociedade da importância da reciclagem.

2.1.6. FATORES QUE INTERFEREM NAS PROPRIEDADES DOS AGREGADOS

A utilização de resíduos de construção e demolição para a produção de novos concretos ainda é um campo emergente, no qual, por receio e talvez até certo pré-conceito dos próprios usuários, não foram cometidos erros que pudessem servir de lição ao meio técnico LEVY (2001).

De acordo com ALTHEMAN (2002), os agregados reciclados caracterizam-se como materiais minerais inertes, porém, as maiores quantidades constituem-se de concretos, argamassas, materiais cerâmicos e pedras. No entanto, toda amostra está passível de conter outros materiais, como por exemplo, vidros, papéis, metais, e até matérias orgânicas, prejudicando as características dos concretos produzidos.

Afirmar que os agregados reciclados caracterizam-se como materiais inertes é questionável, uma vez que o cimento, que está presente no concreto e na argamassa reciclada, continua a reagir até as idades bem avançadas, inclusive o pó basáltico, oriundo das britas, pode ser reativo.

Segundo NEVILLE (1997), o agregado era tido antes como material inerte, disperso na pasta de cimento, utilizado principalmente por razões econômicas e técnicas. Na verdade, o agregado não é inerte na exata acepção da palavra, e suas propriedades físicas, térmicas e, às vezes, também as químicas têm influência no desempenho e na durabilidade do concreto.

De acordo com BAZUCO (1999), os agregados reciclados podem apresentar impurezas no seu conteúdo, as quais devem ser devidamente identificadas, quantificadas e, se possível, eliminadas, pois estas podem comprometer significativamente o desempenho de novos materiais.

LEVY (1997) relata que produzir agregados reciclados bem graduados e limpos não será suficiente para garantir a qualidade do processo de reciclagem. Ainda, segundo o autor, o material deverá ser adequado à finalidade específica para a qual se destina, ou seja, fisicamente sua granulometria deverá enquadrar-se dentro de determinados limites e, quimicamente, só poderá conter níveis mínimos toleráveis de contaminação, para que, desta forma, o concreto

produzido possa ser durável e haja garantia da estabilidade das estruturas construídas.

O Comitê Técnico da RILEM TC 121-DRG (1994) traz um alerta para o fato de que a utilização de agregados reciclados miúdos não é normalmente recomendada para a utilização de novos concretos, uma vez que estes, freqüentemente apresentam quantidades significativas de contaminantes.

Caracterizar os agregados reciclados é de extrema necessidade ao se produzir concretos a partir desses resíduos. LEVY (2001) atenta para o fato de que os agregados reciclados devem apresentar uma classificação que, com o intuito de melhorar a durabilidade e essa classificação, segundo o autor, baseie-se em critérios quanto à origem, forma, textura, e granulometria.

2.1.6.1. MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA

A determinação da massa específica e da massa unitária dos materiais utilizados para a produção de concreto é de fundamental importância para a dosagem do concreto.

Normalmente, tanto a massa específica quanto a massa unitária dos agregados graúdos naturais apresentam-se superiores aos dos agregados graúdos reciclados. Para NEVILLE (1997), o agregado graúdo natural tem como massa específica valores entre 2,6 a 3,0 kg/dm³, porém, há estudos em que se verificam valores maiores para essa característica do agregado natural. MEHTA e MONTEIRO (1994) mencionam valores de massa unitária entre 1,30 a 1,75 kg/dm³.

A tabela 5 apresenta alguns valores de massa específica e massa unitária para os agregados: miúdo, graúdo natural e graúdo reciclado.

TABELA 5 – Massa específica e massa unitária para os agregados miúdo e graúdos.

Agregado	Massa (kg/dm³)	ZORDAN (1997)	BAZUCO (1999)	LEITE (2001)	ALTHEMAN (2002)	ANDRADE (2004)
Miúdo natural	Específica	-	2,55	2,63	2,61	2,63
	Unitária	-	-	1,54	1,42	1,44
Graúdo natural	Específica	-	2,63	3,09	3,04	2,70
	Unitária	-	-	1,61	1,60	1,39
Graúdo reciclado	Específica	-	2,31*	2,51	2,53	-
	Unitária	1,09	-	1,12	1,17	-

* Agregado reciclado de concreto

Observa-se que os valores de massa específica do agregado graúdo natural estão bastante divergentes, essa diferença pode ser uma característica do tipo de rocha de cada região. BAZUCO (1999) e ANDRADE (2004) que obtiveram valores próximos utilizaram agregados graúdos do estado de Santa Catarina, já ALTHEMAN (2002) utilizou agregados da região de Campinas e LEITE (2001) utilizou agregados do estado do Rio Grande do Sul.

Para o agregado miúdo natural e para os agregados graúdos reciclados não houve diferenças significativas nos valores encontrados de massa específica e massa unitária.

2.1.6.2. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

MEHTA e MONTEIRO (1994) definem composição granulométrica como sendo a distribuição das partículas dos materiais granulares entre várias dimensões.

A granulometria também é um importante item na dosagem de concretos, pois influencia na trabalhabilidade, no consumo de cimento e na resistência mecânica dos concretos (ALTHEMAN, 2002).

A granulometria dos agregados reciclados tende a ser ligeiramente mais grossa, resultando em um módulo de finura um pouco maior, e também pode depender do sistema de britagem ou das características do concreto de origem dos agregados reciclados (BAZUCO, 1999).

Para ALTHEMAN (2002), a granulometria do agregado depende do tipo de resíduo processado, bem como dos britadores utilizados, assim como do sistema de peneiramento.

2.1.6.3. ÍNDICE DE FORMA

Tanto a forma quanto a granulometria dos agregados influenciam no desempenho do concreto. A forma do agregado reciclado tende a ser mais angular, o que pode ser minimizado através do tipo de britador utilizado.

Ainda, quanto à forma e à textura superficial das partículas dos agregados, quando comparadas às partículas lisas e arredondadas, as partículas de

textura áspera, angulosas e alongadas requerem mais pasta de cimento para produzir misturas trabalháveis e, portanto, aumentam o custo do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

A tabela 6 mostra valores de índices de forma encontrados em diferentes estudos realizados no Brasil.

TABELA 6 – Valores de índice de forma de agregados naturais e reciclados.

Índice de Forma				
Agregado	BAZUCO (1999)	ANGULO (2000)	LEITE (2001)	ANDRADE (2004)
Natural	2,60	-	2,68	2,78
Reciclado	2,30	2,01	2,26	-

Os autores MEHTA e MONTEIRO, 1994 mencionam que, quanto maiores forem as dimensões dos agregados no concreto e mais elevadas as proporções de partículas chatas e alongadas, conseqüentemente maior será a tendência do filme de água se acumular próximo à superfície do agregado, enfraquecendo desta forma a zona de transição, fenômeno conhecido como exsudação interna.

2.1.6.4. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

Sabe-se que a composição dos resíduos é um fator significativo no que diz respeito à qualidade dos resíduos de construção e demolição. Além de concretos, materiais cerâmicos e argamassas, nos RCD também são encontrados madeiras, metais, plásticos, vidro, papel, borracha, solo e tintas.

HANSEN (1992) relata que, conforme especificações estabelecidas para agregados naturais, requer-se que o agregado esteja isento de materiais como metais, plásticos, gesso, terra, torrões de argila, asfalto, tintas, têxteis, concretos leves, bem como outras impurezas.

Os resíduos da construção civil têm sua composição bastante variada. Essa variabilidade dos resíduos de construção e demolição se deve a vários fatores, entre eles, ao fato de a construção civil ter uma enorme variedade de materiais envolvidos em seu processo, devido à etapa em que a obra se encontra, ao tipo de edificação que se está construindo e também varia de acordo com as características da construção civil em cada região do país e do mundo, ou seja, depende também da origem dos resíduos.

ZORDAN (1997), em um estudo realizado com os resíduos de construção, encontrou a composição média do entulho gerado na cidade de Ribeirão Preto, conforme mostra a figura 1.

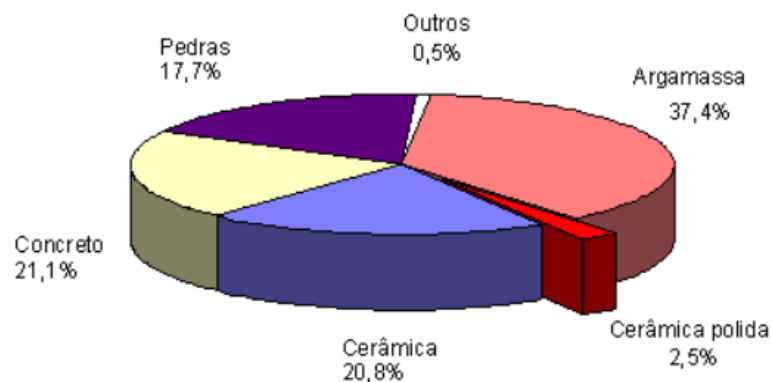


FIGURA 1 – Porcentagem média dos constituintes do entulho analisado na caracterização qualitativa.

Fonte: ZORDAN (1997)

O estudo feito por ZORDAN (1997) vem ao encontro dos estudos feitos por outros pesquisadores, mostrando que há uma predominância de argamassa na composição dos RCD e um significativo percentual de concretos e de materiais cerâmicos.

A origem dos RCD também é responsável pelas suas diferentes composições, bem como dos percentuais presentes nas amostras. A tabela 7 mostra as diferentes composições encontradas em diferentes cidades conforme apontam os estudos realizados por PINTO (1986), ZORDAN (1997), ANGULO (2000) e por LEITE (2001).

TABELA 7 – Composição média dos resíduos de construção e demolição.

COMPOSIÇÃO	% em massa			
	PINTO (1986)	ZORDAN (1997)	ANGULO (2000)	LEITE (2001)
Argamassa	64,0	37,4	28,0	28,3
Concreto	4,2	21,1	44,0	15,2
Pedras	1,4	17,7	23,0	29,8
Materiais Cerâmicos	29,1	23,3	4,0	26,3
Outros	1,3	0,5	1,0	0,4

A Figura 2 apresenta o gráfico das composições dos constituintes dos RCD para os diferentes estudos realizados nas cidades brasileiras.

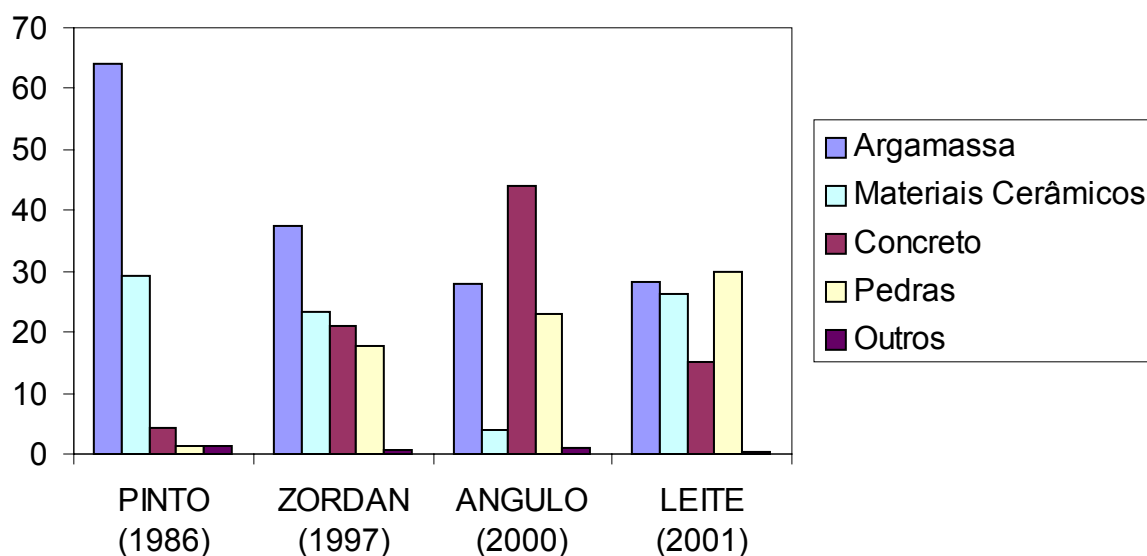


FIGURA 2 – Composição dos RCD para os diferentes estudos realizados.

ALTHEMAN (2002) trabalhou com os agregados reciclados da cidade de Vinhedo, no interior do estado de São Paulo. O autor utilizou-se da separação manual para obter a composição mineralógica dos resíduos. Todavia, não separou as fases de concreto e argamassa. A tabela 8 apresenta a composição mineralógica dos resíduos de Vinhedo-SP, utilizados no estudo de ALTHEMAN (2002).

TABELA 8 – Composição mineralógica do agregado graúdo reciclado em Vinhedo-SP.

COMPOSIÇÃO	ALTHEMAN (2002)
Argamassa / Concreto	65,6
Pedras	28,6
Materiais Cerâmicos	3,4
Outros	0,4

Fonte: ALTHEMAN (2002)

O grupo do comitê técnico da RILEM (Reunion Internationale des Laboratoires d'essais et de recherche Matériaux et les Construction) publicou, no 3º Simpósio Internacional sobre Demolição e Reutilização de Concreto e Alvenaria em 1993, diretrizes para a utilização de agregados graúdos reciclados. Tais diretrizes referem-se apenas à granulometria superior a 4 mm. (RILEM TC 121-DRG, 1994):

TIPO I: Agregados oriundos de material constituído predominantemente por resíduos de alvenaria.

TIPO II: Agregados oriundos de material constituído predominantemente por resíduos de concreto.

TIPO III: Agregados constituídos por agregados naturais e por agregados reciclados.

Sendo que, os agregados do Tipo III devem constituir-se de:

- No mínimo 80% de agregados naturais (em massa).
- No máximo 10% de agregados do Tipo I (em massa).

A tabela 9 apresenta as especificações da RILEM TC 121-DRG (1994).

TABELA 9 – Classificação dos agregados graúdos reciclados para concreto (RILEM TC 121-DRG, 1994).

Tipo de agregado / Especificações	CARG Tipo I	CARG Tipo II	CARG Tipo III	Método de Ensaio
Massa específica mínima material seco (kg/m ³)	1500	2000	2400	ISO6783&7033
Absorção de água máxima (%)	20	10	3	ISO6783&7033
Quantidade máxima de material SSS < 2200 kg/m ³ (%)	-	10	10	ASTM C 123
Quantidade máxima de material SSS < 1800 kg/m ³ (%) ^a	10	1	1	ASTM C 123
Quantidade máxima de material SSS < 1000 kg/m ³ (%)	1	0,5	0,5	ASTM C 123
Quantidade máxima de impurezas (vidro, betume, plásticos) (%)	5	1	1	Visual
Quantidade máxima de metais (%)	1	1	1	Visual
Quantidade máxima de matéria orgânica (%)	1	0,5	0,5	NEM 5933
Quantidade máxima de finos < 0,063 mm (%)	3	2	2	PrEN 933-1
Quantidade máxima de areia < 4 mm (%) ^b	5	5	5	PrEN 933-1
Quantidade máxima de sulfatos (%) ^c	1	1	1	BS 812, parte 118

CARG - Concreto de Agregado Graúdo Reciclado.

SSS - Superfície Saturada Seca.

As porcentagens constantes da tabela referem-se a massa/massa.

^a Condição saturada com superfície seca.

^b Se for excedido limite da fração areia, esta parte do agregado deverá ser considerada como parte da areia total a ser utilizada.

^c Quantidade de sulfato deverá ser calculada como SO₃.

Fonte: RILEM TC 121-DRG (1994)

2.1.6.5. ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água pelos RCD é uma propriedade considerável para o estudo de dosagens dos concretos produzidos com agregados de RCD, visto

que, quando se faz o uso dos RCD em concretos, encontram-se dificuldades em manter uma determinada trabalhabilidade do concreto, devido às diferentes e altas taxas de absorção dos RCD.

Contudo, deve-se atentar para o fato de que altas quantidades de materiais cerâmicos na produção de novos concretos implicam prováveis problemas quanto à relação água/cimento do concreto, devido à alta absorção de água pelos materiais cerâmicos presentes no entulho, como também as perdas de resistência mecânica, prejudicando a trabalhabilidade do concreto.

Assim como os materiais cerâmicos absorvem quantidades significantes da água de amassamento do concreto, a argamassa aderida aos agregados naturais também absorve a água. Assim sendo, quanto maior for a quantidade de argamassa aderida nos agregados, maior será a absorção de água. ANGULO (2000) comenta que a absorção de água pelos agregados de RCD pode variar em função da natureza do material e da sua faixa granulométrica.

LEITE (2001) comenta que, para os agregados naturais utilizados na produção de concretos, a taxa de absorção de água não é considerada, mesmo para os agregados miúdos cuja taxa de absorção é um pouco maior que a do agregado graúdo. Essa desconsideração deve-se ao fato de a absorção nos agregados naturais dar-se de forma lenta. No entanto, devida à alta porosidade dos agregados reciclados, cuidados especiais devem ser tomados quando se trabalha com eles. A autora encontrou em seu estudo um valor médio de absorção de água dos agregados graúdos reciclados de 4,95%

BROWN et al. (2001) e CANÊDO et al. (2001) encontraram os valores para a absorção de água do agregado graúdo, de 5,6% e 6,0% respectivamente.

QUEBAUD; BUYLE-BODIN (1999) apud ANGULO (2000) relatam que agregados com mesma composição apresentaram variações na taxa de absorção de água, de 5% para agregados graúdos a 12% para agregados miúdos.

Atentar para a absorção de água dos agregados de RCD é um requisito importante quando se faz uso de concreto com esses resíduos, pois, quando houver deficiência de água de absorção do RCD, este absorverá parte da água de amassamento e, conseqüentemente, toda água que se adicionar em excesso, tornará o concreto menos resistente e mais susceptível a problemas patológicos.

2.2. PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

2.2.1. ESTUDO DO FENÔMENO DA RETRAÇÃO PLÁSTICA

Segundo NEVILLE (1997), existem várias formas de o fenômeno da retração se apresentar, são eles: retração autógena, retração hidráulica, retração diferencial e retração por carbonatação.

✓ Retração autógena: é conseqüência da remoção da água dos poros capilares pela hidratação do cimento ainda não hidratado, sendo um processo conhecido como auto-secagem. Porém, essa retração é relativamente pequena, exceto com relações água/cimento extremamente baixas, e não é preciso diferenciar daquela

causada pela secagem do concreto. Na retração hidráulica já está incluída a contração devida à variação autógena de volume.

✓ Retração Hidráulica: é causada pela perda de água da mistura do concreto, quando este se encontra exposto a umidades ambientais abaixo da saturação.

✓ Retração Diferencial: NEVILLE (1997) menciona que a retração potencial da pasta de cimento pura é contida pelo agregado. Além disso, pode haver alguma contenção devida à retração não uniforme no interior do elemento de concreto. A perda de umidade somente ocorre na superfície de modo que se estabelece um gradiente de umidade no elemento de concreto, que passa a ser submetido à retração diferencial.

✓ Retração por Carbonatação: é devida à incorporação do dióxido de carbono no concreto e consiste no seguinte mecanismo: o dióxido de carbono é fixado pela pasta de cimento hidratado e, em consequência disto, a massa do concreto aumenta. Porém, o concreto seca e se carbonata simultaneamente, o acréscimo de massa pela carbonatação pode, em certo estágio, dar a impressão errônea de que o processo de secagem atingiu o estágio de massa constante.

NEVILLE (1997) classifica ainda a retração plástica e define-a como sendo a retração do concreto, quando ele ainda se encontra no estado plástico. Essa retração é devida à perda de água por evaporação na superfície do concreto ou por sucção do concreto ou do solo subjacente.

Para MEHTA e MONTEIRO (1994), há uma variedade de causas que contribuem para a retração plástica do concreto, tais como exsudação ou sedimentação, absorção de água por evaporação pelo lastro ou fôrmas ou pelo agregado, rápida perda de água por evaporação, redução no volume do sistema água-cimento e deformações da fôrma.

SELMO (1996) relata que a retração plástica é o primeiro fenômeno que deve ser considerado, quando se trata de retração devida à perda de umidade do material para o ambiente. A intensidade da retração plástica é influenciada pelas condições de temperatura, umidade relativa do ambiente e velocidade do vento.

Para NEVILLE (1997), o tipo e a composição do cimento podem influenciar na retração, ou seja, cimentos de rápida hidratação fazem com que a pasta de cimento apresente uma maior retração e uma maior tendência à fissuração, e também, apresentam menor exsudação que os cimentos mais grossos.

Estudos realizados por WITTMAN (1976) demonstraram que o requisito para a retração plástica de concretos é a formação de tensão capilar pela água de amassamento da mistura de concreto fresco, após a superfície tornar-se seca.

NEVILLE (1997) ainda comenta que, quando a superfície seca primeiro, um complexo sistema se forma próximo à superfície do concreto. Uma pressão por tensão capilar dentro da fase líquida é desenvolvida até alcançar um valor máximo que WITTMAN (1976) chama de “pressão de fratura”. A pressão capilar abaixa rapidamente e, imediatamente após isso, a pressão de fratura é atingida.

A retração plástica começa logo após a pressão começar a se desenvolver e a gerar uma pressão negativa capaz de causar retração na direção da superfície e na direção da espessura. A deformação causada por retração desenvolve-se a uma taxa crescente, juntamente com a pressão capilar, até atingir a fratura do material e, após este ponto, a deformação cessa (WITTMAN, 1976).

Não há ainda um consenso na tecnologia do concreto a respeito do instante que delimita o término da retração plástica e o começo da retração

hidráulica. BERGSTROM (1982) indica, como regra prática, as primeiras 24 horas. Para AİTCIN et al. (1997), a retração plástica termina com o início da pega do cimento. Já para COHEN et al. (1990), a duração da retração plástica é curta, e dura em torno de 1 a 2 horas, começando imediatamente quando o brilho da água na superfície desaparece e terminando com o endurecimento do concreto.

KRONLOF et al. (1995), concluíram que, mesmo que exista uma pressão capilar muito baixa, isso poderá induzir significativamente a retração no estado fresco. O mesmo autor comenta que uma grande pressão não causa necessariamente uma grande retração, e uma pequena pressão pode induzir a uma considerável retração.

De acordo com a figura 3, apresentada por BASTOS et al. (2002), a curva de retração de argamassas, quando aplicadas em bases não absorventes apresenta três estágios: Primeira Retração, Período de Estabilização das deformações e Segunda Retração.

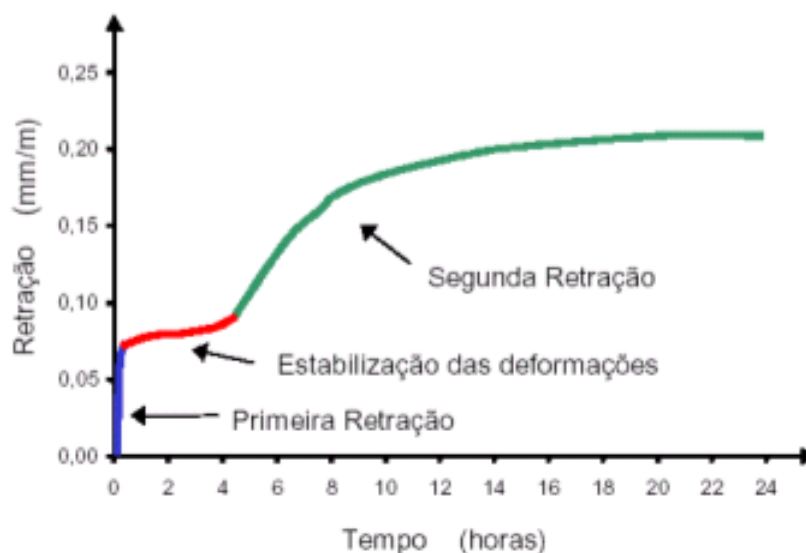


FIGURA 3 – Curvas de retração de argamassas para as primeiras 24 horas.
Fonte: BASTOS et al. (2002)

Foi observado que o intervalo de tempo compreendido entre o início e o fim de pega da pasta da argamassa está posicionado dentro do “período de estabilização”, o qual resulta do efeito de expansão, de origem química, provocado pela formação de hidratos, conjuntamente ao efeito de retração por secagem. Já o fim da “primeira retração” coincide com a diminuição de deformabilidade da pasta e o início da “segunda retração” e se dá com o material no estado endurecido.

RAVINA (1986), assim como BASTOS et al. (2002), explicam o fenômeno da retração plástica da seguinte forma: é um fenômeno que inclui três estágios diferentes. O primeiro estágio é aquele em que a exsudação excede a evaporação e a superfície se mantém saturada, verifica-se nessa fase uma expansão do material. O segundo estágio inicia-se após uma curta transição, ou seja, quando a evaporação é de dentro da mistura ainda fresca, sendo que, durante esta fase, a retração vai aumentando linearmente em função do tempo. O terceiro estágio caracteriza-se pela rigidez da mistura devida aos processos de hidratação e perda de água.

A inclinação da reta do segundo estágio depende, tanto da taxa de evaporação da mistura, como das suas propriedades, e o valor da retração é função do tempo de duração do segundo estágio do movimento de mudança dimensional longitudinal (ANDRADE, 2004).

Portanto, será considerada para este trabalho, a retração plástica como sendo a retração que ocorre no concreto durante o período compreendido entre o início de pega e o fim de pega da argamassa do concreto.

2.2.2. EXSUDAÇÃO

Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), existem dois tipos de segregação: a primeira é característica de misturas secas e consiste na separação entre os agregados graúdos e a argamassa do concreto. Já a segunda, a exsudação, é característica de misturas mais fluidas e consiste no aparecimento de água na superfície do concreto, após o mesmo ser lançado e adensado, porém, antes de ocorrer a sua pega, ou seja, quando a sedimentação não pode mais ocorrer.

Os mesmos autores comentam que a exsudação é um segundo tipo de segregação, pois a água, que é o componente mais leve da mistura, tem a tendência a se separar dela. A exsudação resulta da inabilidade dos materiais componentes em reterem toda a água da mistura em estado disperso, enquanto os sólidos mais pesados estiverem assentando.

Há um ensaio, normatizado pela ASTM C232, para medir a taxa de exsudação de uma mistura de concreto, o qual se procede da seguinte forma: uma determinada amostra de concreto é colocada e consolidada num recipiente de 250 mm de diâmetro e 280 mm de altura. A água exsudada é retirada em intervalos de 10 minutos durante os primeiros 40 minutos e, daí em diante, em intervalos de 30 minutos. A exsudação é expressa pela relação entre a quantidade de água acumulada na superfície e a água total da amostra.

ANDRADE (2004) realizou seus ensaios no intuito de avaliar a exsudação em concretos produzidos com cinzas pesadas de termelétricas, como agregado natural, com base nas normas NM 102 / 96 – Concreto e argamassa – Determinação da Exsudação e MR 6 – Tendency of water to separate from mortars.

O procedimento utilizado pelo autor consiste em analisar amostras que ocupam um recipiente de vidro com dimensões de (14 x 19 x 10) cm, sendo este último valor a altura do recipiente. Porém, a amostra só ocupa 2 cm de altura e deve-se fazer as leituras da água exsudada em intervalos de tempos de 10 e 15 minutos. O procedimento está descrito mais detalhadamente no subitem 3.4.1.4, ensaio de exsudação.

NEVILLE (1997) relata que, se a água de exsudação for misturada novamente durante o acabamento da superfície exposta, formar-se-á uma superfície com muita nata, pouco resistente ao desgaste e com baixa aderência a possíveis camadas superiores. No entanto, uma forma de se evitar isso seria retardar as operações de acabamento, deixando que esta água se evapore. Por outro lado, deve-se atentar para o fato de que, se a taxa de evaporação for mais rápida que a exsudação, isso pode acarretar em fissuras por retração plástica.

A tendência à exsudação depende muito das propriedades do cimento, ou seja, quando se usa um cimento mais fino, há a diminuição da exsudação, provavelmente porque as partículas mais finas hidratam-se mais cedo e também pela menor velocidade de sedimentação. No entanto, a presença de uma proporção adequada de partículas muito finas de agregado, especialmente as menores que 0,15 mm, reduz significativamente a exsudação (NEVILLE, 1997). O autor ainda comenta que outras propriedades do cimento, tais como o aumento no teor de álcalis, ou de C_3A , também diminuem a exsudação.

Enquanto a afirmativa geral é de que a exsudação é reduzida devido ao grande volume de finos e da alta quantidade de água para a sua consistência, autores como CARETTE e MALHOTRA (1984) apud RAVINA (1997) e RAVINA e MEHTA (1986) apud RAVINA (1997) verificam aumentos de exsudação. Para

RAVINA (1997), a cinza volante aumenta os finos e reduz a quantidade de água, na qual faz a exsudação diminuir; por outro lado, uma maior quantidade de água aumenta a mobilidade da mistura, a dispersão das partículas de cimento e atrasa a pega, na qual faz crescer a exsudação.

TOPÇU e ELGÜN (2003) conduziram uma pesquisa e constataram que, quando se tem um aumento do consumo de cimento, ocorre uma redução da exsudação. Provavelmente porque, quando se tem um aumento do consumo de cimento, com a mesma quantidade de água, reduz-se a relação água / cimento.

No estudo feito por ANDRADE (2004), o autor conclui que o aumento no teor de substituição no concreto da areia natural por cinzas pesadas aumenta o valor da perda de água total por exsudação. Tal fato, afirma o autor, pode ser explicado pelo fato de os concretos produzidos com cinzas pesadas necessitarem de uma maior quantidade de água para atingirem a consistência requerida; e também, por possuírem um potencial de retenção de água menor do que a do concreto de referência.

Portanto, a tendência é que o aumento do teor de finos presentes nos RCD aumente a exsudação nos concretos produzidos com esses resíduos e, ainda, possa até haver um aumento da quantidade de água exsudada devido a uma maior quantidade de água presente na mistura, que será a água de absorção dos agregados reciclados.

2.3. PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

2.3.1. MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

MEHTA e MONTEIRO (1994) definem módulo de deformação como sendo a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea, dentro de um limite proporcional adotado. Afirmam ainda que, as deformações do concreto, que freqüentemente levam à fissuração, ocorrem como um resultado da resposta do material à carga aplicada.

Na prática, as relações tensão-deformação do concreto são muito mais complexas. Primeiro, o concreto não é um material verdadeiramente elástico; segundo, nem as deformações nem as restrições são uniformes ao longo da peça. Portanto, as distribuições de tensão resultantes tendem a variar de ponto para ponto. Não obstante, é importante conhecer as propriedades elásticas de retração por secagem, de contração térmica e viscoelásticas do concreto, além dos fatores que afetam estas propriedades (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O estudo do limite de deformação máxima do concreto estrutural é de fundamental importância em projetos estruturais, pois representa a deformação máxima permitida antes do material adquirir deformação permanente (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Tais autores relatam que fatores como a fração volumétrica, a massa específica, o módulo de deformação dos principais constituintes e as características da zona de transição determinam o comportamento elástico do compósito. A porosidade, que é inversamente proporcional à massa específica, é uma das características do agregado graúdo que mais afetam o módulo de deformação do concreto.

Há outras propriedades dos agregados graúdos que também influenciam no módulo de deformação do concreto, tais como: dimensão máxima, forma, textura superficial, granulometria e composição mineralógica. O módulo de deformação da matriz da pasta de cimento é determinada pela sua porosidade. Os espaços vazios, microfissuras, e cristais orientados de hidróxido de cálcio são relativamente mais comuns na zona de transição e desempenham importante papel na determinação das relações tensão-deformação do concreto MEHTA e MONTEIRO (1994).

De acordo com a figura 4, apresentada por LEITE (2001), observa-se que a autora apontou em seus estudos que, à medida que se aumenta a relação a/c , há uma diminuição nos valores de módulo de deformação dos concretos com RCD. A autora atribui isso ao fato de o módulo de deformação estar muito ligado à porosidade do concreto; pois à medida que se aumenta a relação a/c , está se aumentando a porosidade do concreto e também ao fato de ocasionar uma maior dispersão dos grãos de cimento e, desta forma, existir uma tendência de os cristais de hidróxido de cálcio e etringita crescerem mais e de forma orientada, tornando as ligações da estrutura de concreto endurecido mais frágeis.

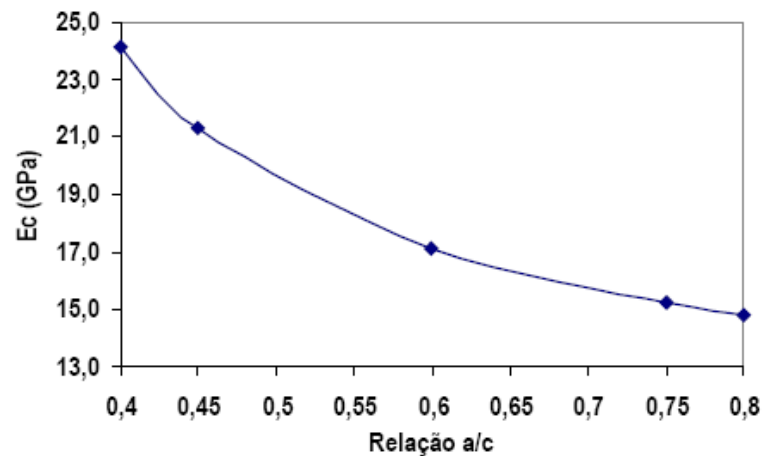


FIGURA 4 – Módulo de deformação de concretos produzidos com RCD em função da relação a/c.

Fonte: LEITE (2001)

A figura 5 apresentada por LEITE (2001) mostra a influência do teor de agregados graúdos reciclados para o módulo de deformação de concretos produzidos com RCD, quando a relação a/c e o teor de agregado miúdo reciclado são mantidos constantes. À medida que se aumenta o teor de RCD, há uma diminuição do módulo de deformação do concreto produzido. Isso pode ser atribuído ao fato do RCD ser um material mais poroso do que o agregado natural convencional, contribuindo, desta forma, para uma redução do módulo de deformação.

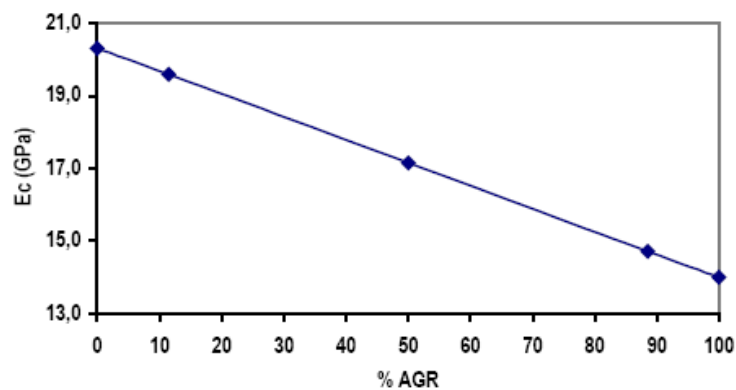


FIGURA 5 – Módulo de deformação de concretos produzidos com RCD em função do teor de agregado graúdo reciclado.

Fonte: LEITE (2001)

Normalmente os concretos produzidos com agregados reciclados apresentam um módulo de deformação menor do que aqueles produzidos com agregados naturais. De acordo com LEVY (1997), isso pode ser atribuído à camada de argamassa antiga aderida à superfície do agregado reciclado de concreto e a maior porosidade dos materiais que compõem o resíduo.

KAKIZAKI et al. (1998) e HANSEN (1992) verificaram em seus estudos que concretos executados com material reciclado apresentaram o módulo de deformação 25% a 40% inferior ao dos concretos de referência, preparados com agregados convencionais. Já YANNAS (1977) verificou valores entre 10% e 40% inferiores aos do concreto convencional.

ZAGURSSKIJ E ZHADANOVISKI (1985); e a B.C.S.J. (1978) apud LEVY (2001), concluíram que o módulo de elasticidade de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados e areia natural foi de 10% a 30% inferior ao concreto de referência. Quando o concreto ensaiado foi produzido com a totalidade dos agregados reciclados, a diferença encontrada entre os módulos de elasticidade elevou-se para a faixa de 25% a 40%, conforme mostram as figuras 6 e 7.

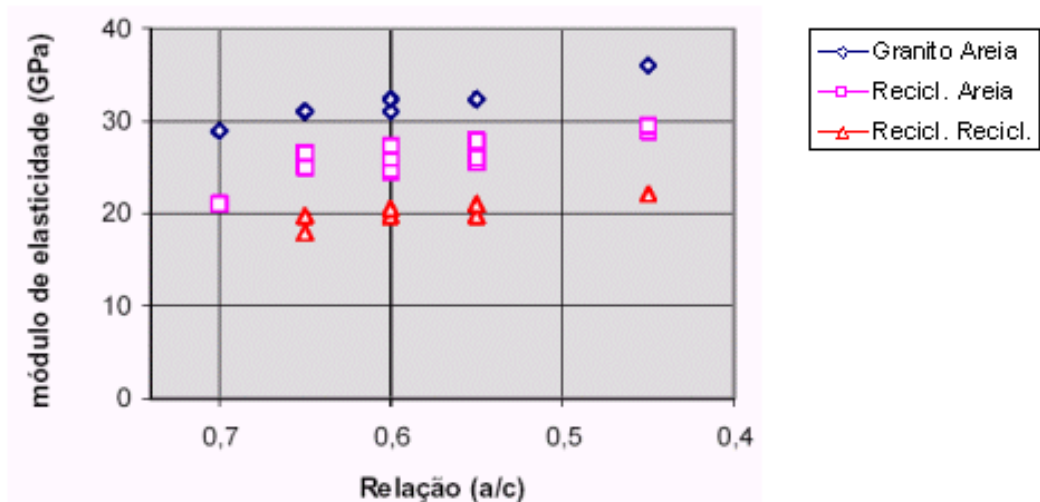


FIGURA 6 – Variação do módulo de elasticidade de concretos para diferentes valores da relação água/cimento, segundo a B.C.S.J. – 1978.

Fonte: (B.C.S.J. – 1978 apud LEVY - 2001)

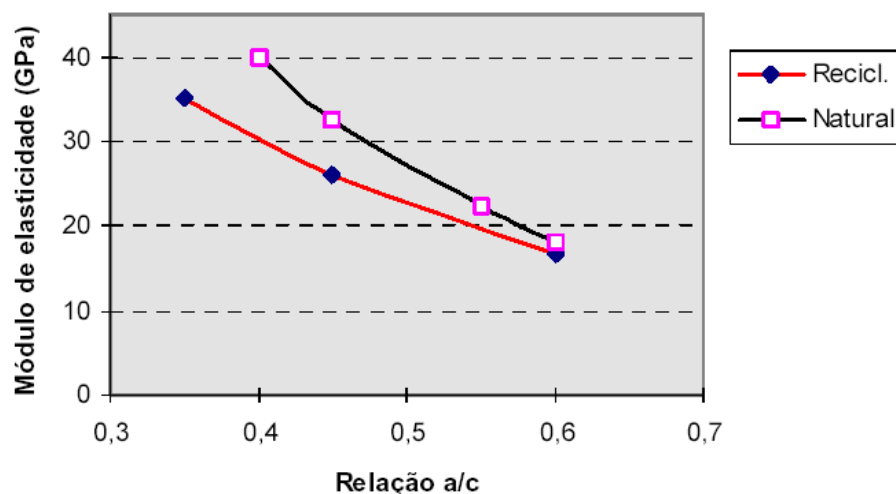


FIGURA 7 – Variação do módulo de elasticidade de concretos para diferentes valores da relação água/cimento, segundo a RASHEEDUZZAFAR e KHAN – 1984.

Fonte: (RASHEEDUZZAFAR e KHAN – 1984 apud LEVY - 2001)

LEVY (2001) encontrou, tanto para concretos produzidos com agregados reciclados de concreto, como para os de alvenaria, valores do módulo de elasticidade tangencial inicial (E_{ci}) menores do que os valores de referência, e concluiu que o aumento dos teores dos agregados reciclados contribuiu para a redução do E_{ci} .

NEVILLE (1997), MEHTA e MONTEIRO (1994), LEITE (2001) entre outros, relatam que há uma relação direta entre o módulo de deformação e a resistência à compressão dos concretos, pois ambas as propriedades são afetadas pela porosidade dos constituintes do concreto, porém de forma diferenciada.

Portanto, a afirmativa geral é que o módulo de deformação está intimamente ligado à porosidade do material e, portanto, o aumento da relação água/cimento ou do teor de agregados graúdos reciclados fazem com que o concreto produzido com esses agregados de RCD diminua o valor do módulo de deformação.

2.3.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O estudo da resistência à compressão do concreto é de fundamental importância em qualquer estudo de tecnologia de concreto. Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), muitas propriedades do concreto, como módulo de deformação, estanqueidade, impermeabilidade e resistência às intempéries, incluindo águas agressivas, são diretamente relacionadas com a resistência à compressão e podem, portanto, ser deduzidas dos dados da resistência.

Os autores MEHTA e MONTEIRO (1994) definem a resistência como sendo a capacidade de o concreto resistir à tensão sem ruptura, a qual algumas vezes se identifica com o aparecimento de fissuras, sendo função do processo de hidratação do cimento, o qual é relativamente lento.

NEVILLE (1997) considera a resistência como a propriedade mais importante do concreto, embora, em muitos casos práticos, outras características, como a durabilidade e a permeabilidade sejam, de fato, mais importantes.

ZORDAN (1997) constatou que, à medida que o traço é mais pobre, ou seja, menor consumo de cimento, a resistência à compressão simples, aos 28 e 60 dias, dos concretos produzidos com RCD se aproxima mais dos valores de resistência dos concretos produzidos como referência. As tabelas 10 e 11 mostram esses valores.

O autor atribui o fato de traços mais pobres aproximarem-se mais dos concretos de referência devido à ruptura desses concretos acontecerem na pasta e não no agregado, portanto, quando os traços são mais ricos a ruptura ocorrerá no agregado ou na zona de transição, ou seja, na parte mais frágil.

TABELA 10 – Valores comparativos entre concretos produzidos com RCD e concretos convencionais, relativos à resistência à compressão simples aos 28 dias.

Traço (massa) cimento : entulho	RESISTÊNCIA (Mpa) - 28 dias		% do Valor Referência
	Valor Médio	Valor Referência	
Traço 1 : 3	24,6	49,8	49%
Traço 1 : 5	18,5	29,9	62%
Traço 1 : 7	14,0	15,1	93%

Fonte: ZORDAN (1997)

TABELA 11 – Valores comparativos entre concretos produzidos com RCD e concretos convencionais, relativos à resistência à compressão simples aos 60 dias.

Traço (massa) cimento : entulho	RESISTÊNCIA (MPa) - 60 dias		% do Valor Referência
	Valor Médio	Valor Referência	
Traço 1 : 3	26,4	57,9	46%
Traço 1 : 5	20,3	36,3	56%
Traço 1 : 7	15,8	17,6	90%

Fonte: ZORDAN (1997)

BAZUCO (1999) realizou um estudo em concretos produzidos com concretos reciclados e também verificou que as maiores reduções de resistência foram observadas para os traços mais ricos, e notou que a ruptura ocorreu nos agregados reciclados, em virtude da baixa resistência dos mesmos. O autor apontou que a resistência à compressão não variou em virtude da utilização de agregados reciclados no estado seco ou saturado, com exceção para o teor de substituição de agregados de 25%. No entanto, isso pode não se aplicar quando se faz uso de RCD, devido às altas taxas de absorção de água.

Assim como a porosidade está em função da relação água/cimento a resistência também, ou seja, aumentando a relação água/cimento da mistura aumentará a porosidade do material, o qual tornar-se-á menos resistente e vice-versa.

2.3.3. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

De acordo com LEITE (2002), a resistência à tração dos concretos normalmente se apresenta como uma característica mecânica secundária, pois o concreto não se apresenta como bom material para resistir aos esforços de tração.

O estudo dos esforços à tração no presente trabalho se mostra importante devido ao fato de se estar analisado a interferência dos finos que estão aderidos nas superfícies dos agregados reciclados. Portanto, essa camada de finos aderidos nos agregados de RCD é a região mais fraca do concreto e pode ser a primeira zona a fissurar, assim sendo, a resistência à tração do concreto pode mostrar-se bastante influenciada.

MEHTA e MONTEIRO (1994) mencionam que a resistência à tração do concreto convencional é da ordem de 10% da resistência à compressão. A razão desta grande diferença é atribuída à estrutura heterogênea e complexa do concreto.

Os autores comentam ainda que, quanto maior for a resistência à compressão, menor será a relação entre a resistência à tração e a resistência à compressão, ou seja, é de 10 a 11% para concretos de baixa resistência, 8 a 9% para concretos de média resistência e 7% para concretos de alta resistência.

RAVINDRARAJAH e TAM (1985), MUKAI et al. (1978) e B.C.S.J. (1978) apud HANSEN (1992) verificaram as mesmas relações entre resistência à compressão e tração para concretos com agregados graúdos reciclados de concreto e concretos convencionais. Porém, no estudo realizado por BAIRAGI et al. (1993), verifica-se que as resistências à tração para concretos com agregados graúdos reciclados são ligeiramente menores em relação aos concretos convencionais.

Para MACHADO JR et al. (1998) o agregado graúdo reciclado não influencia a resistência à tração, e o concreto que é produzido com este agregado reciclado obedece às mesmas relações teóricas entre resistência à tração e resistência à compressão simples que os concretos convencionais de mesma classe.

Para MANSUR et al. (1999), a forma mais angular e a textura dos agregados reciclados proporcionam maior aderência pasta-agregado contribuindo, desta forma, para que o concreto produzido com RCD tenha um percentual de 12% maior, em relação ao concreto convencional, na resistência à tração por compressão diametral.

Portanto, quando se faz o uso de materiais reciclados de construção civil para a produção de concretos, verifica-se, segundo os autores citados acima, que não há um consenso entre perdas e ganhos de resistência à tração, que possivelmente poderia ser explicado por TAVAKOLI e SOROUSHIAN (1996), os quais verificaram que os resultados de resistência à tração por compressão diametral em concretos produzidos com agregados de concreto reciclado podem variar de acordo com vários fatores, entre eles, o tempo de mistura, a relação a/c e a dimensão máxima do agregado.

2.4. ESTUDO DE FISSURAS

Pode-se admitir que a fissuração que ocorre no concreto pode ter duas origens distintas:

- ✓ Fissuras não produzidas por carregamento, que são aquelas causadas por deformações impostas (ações indiretas), tais como: retração, variação de temperatura e recalques diferenciais;
- ✓ Fissuras produzidas por solicitações devidas ao carregamento: são aquelas causadas por ações diretas de tração, flexão ou cisalhamento, ocorrentes nas regiões tracionadas.

SLATE e HOVER (1984) apud NEVILLE (1997) comentam que as microfissuras existentes antes do carregamento são, em grande parte, responsáveis pela pequena resistência à tração do concreto. Esse fenômeno é inevitável nas estruturas em concreto, já que o mesmo possui uma baixa resistência à tração e esta é normalmente desprezada em projetos.

Segundo NEVILLE (1997), existem fissuras muito finas na interface entre agregado graúdo e a pasta de cimento, mesmo antes da aplicação de carregamento. Elas ocorrem provavelmente, devido às diferenças inevitáveis das propriedades mecânicas do agregado e da pasta de cimento, combinadas com a retração e as variações térmicas.

MEHTA e MONTEIRO (1994) consideram o concreto como um material bifásico, constituído de partículas de agregado dispersas em uma matriz de cimento. Porém, comentam que há uma terceira fase, a zona de transição, que representa a região interfacial entre as partículas de agregado graúdo e a pasta. A zona de transição é geralmente mais fraca do que os outros dois componentes do concreto.

BAZUCO (1999) comenta que a resistência dos agregados reciclados não será a mesma após o processo de britagem, o qual ocasionará o aparecimento de microfissuras ao longo da argamassa aderida e pode ainda ter

conseqüências negativas na zona de interface: agregado natural – argamassa aderida.

Um dos grandes problemas encontrados quando se faz o uso de RCD para a produção de concretos, de acordo com BAZUCO (1999), é que a presença de agregados cria zonas mais fracas, as interfaces, lugar onde as fissuras começam. As diferenças de deformabilidade entre os agregados e a matriz produzem concentrações de tensões nas interfaces, que podem diferir bastante das deformabilidades médias dos materiais.

MIRANDA (2000) comenta que o problema de fissuração pode ser ainda mais grave quando se faz o uso de materiais recicláveis, pois estes podem sofrer grandes variações de composição e de distribuição granulométrica e também pelo fato de serem mais susceptíveis a apresentar contaminantes, em comparação com os agregados naturais.

Sabe-se que acabar com a fissuração de elementos de concreto, ou até mesmo de revestimentos de argamassa é algo, atualmente, difícil de se conseguir. Quando se pensa em concretos produzidos com resíduos da construção civil, essa tarefa torna-se mais complexa. Portanto, é importante que, ao invés de se rejeitar o uso desses resíduos na construção, façam-se novas pesquisas que tragam avanços nas técnicas de controle dessa patologia, de forma a aumentar o uso dos RCD.

2.4.1. ESTUDO DE FISSURAS DEVIDAS À RETRAÇÃO PLÁSTICA

Os elementos de concreto são de uso comum no Brasil e no exterior. No entanto, em muitos casos, a durabilidade do concreto é comprometida devido ao aparecimento de fissuras por retração. O material fissura quando uma combinação do módulo de deformação e da deformação por retração induz a um nível de tensão que atinge a sua resistência à tração (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

A fissuração por retração plástica poderá ocorrer quando a evaporação da água da superfície do concreto for mais rápida do que a água que sobe à superfície por efeito da exsudação. Essas fissuras por retração plástica normalmente são paralelas entre si, espaçadas de 0,3 m a 1,0 m e têm grande profundidade (NEVILLE, 1997).

LEVY (2001) relata que consumos de cimento superiores a 500 kg/m³ sempre serão problemáticos, uma vez implicam na adoção de delicadas operações de cura para a prevenção de fissuras devido à retração, procedimento que nem sempre é adotado na maioria das obras nacionais, levando desta forma à redução da vida útil da estrutura.

De acordo com NEVILLE (1997), o aparecimento ou não de fissuras depende não somente da contração potencial, mas também da extensibilidade do concreto, de sua resistência e do grau de restrição às deformações que pode resultar em fissuração.

O mesmo autor comenta que o tempo tem um duplo efeito: a resistência aumenta, reduzindo, portanto o risco de fissuração, mas, por outro lado, o módulo de deformação também aumenta, de modo que também aumenta a tensão

induzida por uma mesma retração. Além disso, o alívio pela fluência diminui com a idade, de modo que aumenta a tendência à fissuração.

A fissura em peças de concreto ou em revestimentos de argamassa é um dos fenômenos patológicos de maior incidência em obras de construção civil. Um dos fatores mais importantes para que ocorra o aparecimento de fissuras é a relação água/cimento da mistura, uma vez que, aumentando esta relação, irá aumentar a retração e diminuir a resistência do concreto.

De acordo com BASTOS et al. (2002), a fissuração pode resultar de um ou mais fatores, entre eles a retração da argamassa, gerando tensões por vezes combinadas desfavoravelmente com as propriedades mecânicas de resistência à tração e módulo de deformação.

Deve-se levar em consideração que existem alguns fatores que são favoráveis à redução de um determinado tipo de retração, podendo causar o aumento de outro tipo de retração, tornando mais complexo o controle da ocorrência de fissuras no concreto (MIRANDA, 2000).

TAVAKOLI e SOROUSHIAN (1996) relatam que maiores quantidades de pasta de cimento, aderidas às partículas de agregado reciclado, levam a maiores movimentos de retração nos concretos de agregados reciclados, principalmente quando são utilizados agregados reciclados secos. Isso ocorre devido à maior absorção de água, característica desses agregados.

Vale ressaltar que, antes da pega da pasta, o nível de tensões gerado pela retração não oferece riscos quanto ao aspecto de fissuração, uma vez que o material possui um grau de deformabilidade, em virtude do qual a livre deformação não é impedida pelo substrato.

2.5. INTERFERÊNCIAS DOS FINOS NO DESEMPENHO DO CONCRETO

Neste trabalho, “finos” corresponde ao termo utilizado para designar os materiais granulares de pequenas dimensões, que podem estar presentes nos agregados graúdos. Mais especificamente, finos refere-se ao material passante na peneira de malha numero 100, ou seja, as partículas menores que 0,15 mm.

A prática da reciclagem de resíduos da construção civil, que já acontece há bastante tempo no exterior, atualmente vem crescendo bastante no Brasil. No entanto, toda nova prática está passível de adaptações e correções. Um dos problemas encontrados na reciclagem dos RCD está no fato de que há uma enorme quantidade de finos gerados no processo de britagem. No entanto, alguns esforços têm sido feitos para viabilizar o uso de tais finos no concreto.

SAEED (1997) estimou que são produzidos, nos EUA, cerca de 80 milhões de toneladas de finos menores que 0,075 mm, ou seja, os finos passantes na peneira nº 200.

Diante da importância do assunto, relativamente poucos trabalhos focados em partículas finas e em suas interações no concreto têm sido feitos. Portanto, ainda há uma carência de dados pertinentes para essas partículas finas e seus impactos.

LEITE (2001) comenta em seu trabalho que já nesse ano de 2001 teve dificuldades em encontrar na bibliografia de agregados reciclados um resultado efetivo da influência dos finos nas propriedades do concreto produzidos com eles.

Segundo ABOU-ZEID e FAKHRY (2003), o uso de excessiva quantidade de finos em concretos de boa qualidade é proibido em quase todos os códigos de concreto.

Os finos possuem uma grande superfície específica e requerem, relativamente, elevada quantidade de água na mistura do concreto. Essas partículas de pequeno tamanho tendem a inchar, aumentando o seu volume e, desta forma, causando uma certa instabilidade na mistura (ABOU-ZEID e FAKHRY, 2003).

Os mesmos autores ainda comentam que há uma discussão de que os finos atuam como uma fraca película de isolamento em cima das partículas de agregados, contribuindo para uma redução da ligação entre os agregados e a pasta de cimento.

AİTCIN (1992) comenta que a resistência à compressão dos concretos pode ser melhorada utilizando-se agregados limpos, ou seja, sem a presença de finos aderidos aos agregados, conduzindo, desta forma, a concretos com melhor aderência, fortalecendo a ligação pasta-agregado, reduzindo-se o aparecimento de fissuras ao redor do agregado.

FONSECA SILVA, RIBAS SILVA e OLIVEIRA (1998) realizaram estudos de resistência à compressão do concreto lavando os agregados. Os autores verificaram que quando se lavou apenas o agregado graúdo, a resistência à compressão aumentou em torno de 10% e quando se lavou apenas o agregado miúdo, não houve um aumento significativo da resistência. Quando a lavagem foi feita em ambos os agregados (graúdo e miúdo), verificou-se um aumento de 12% nos valores da resistência à compressão.

Em consequência dos problemas que os finos causam no desempenho do concreto, quase todas as normas de concreto permitiam apenas pequenas quantidades de finos nos agregados usados para concreto; normalmente os valores não eram maiores que 1% e 2% (ABOU-ZEID e FAKHRY, 2003).

O comitê técnico da RILEM TC 121-DRG (1994) especifica os seguintes limites de finos para agregados reciclados para concreto, conforme a tabela 12.

TABELA 12 – Valores máximos de finos no concreto produzido com agregados reciclados.

Tipo de agregado / Especificações	CARG Tipo I	CARG Tipo II	CARG Tipo III	Método de Ensaio
Quantidade máxima de finos < 0,063 mm (%)	3	2	2	PrEN 933-1
Quantidade máxima de areia < 4 mm (%)*	5	5	5	PrEN 933-2

CARG - Concreto de Agregado Graúdo Reciclado.

As porcentagens constantes da tabela, referem-se a massa/massa.

* Se for excedido limite da fração areia, esta parte do agregado deverá ser considerada como parte da areia total a ser utilizada.

Fonte: RILEM TC 121-DRG (1994)

ABOU-ZEID e FAKHRY (2003) realizaram um estudo com agregados de dolomita de dimensão máxima de 25 mm e taxa de absorção de 1,60%, sendo que estes agregados foram lavados para que as partículas menores que 0,075 mm fossem eliminadas. Depois, os finos excluídos pela lavagem foram adicionados na mistura de concreto com as dosagens requeridas como planejado, ou seja, 5% da massa de agregados graúdos.

O estudo consistiu em avaliar misturas de concreto com e sem aditivos plastificantes, e com diferentes quantidades de plastificantes, avaliar a interferência da relação água/cimento como também a trabalhabilidade do concreto. Os ensaios feitos foram: massa específica, slump-test, teor de ar, absorção de água, resistência à compressão e resistência à flexão.

A tabela 13 mostra alguma das misturas utilizadas por ABOU-ZEID e FAKHRY (2003) em seus estudos, como também alguns resultados dos ensaios realizados.

TABELA 13 – Estudo realizado por ABOU-ZEID e FAKHRY (2003) para misturas de concretos variando o teor de finos, a relação a/c e slump das misturas.

Mistura*	Finos (%)**	a/c	Slump (mm)	Massa Específica (kg/m ³)	Resist. Comp. (MPa)		
					3 dias	7 dias	28 dias
1	0	0,49	80 a 100	2295	13,1	20,5	31,4
4	5	0,49	0	2360	25,1	26,2	33,6
7	5	0,62	80 a 100	2210	-	18,9	22,8

* Misturas sem aditivo plastificantes

** Percentual em massa de agregados graúdos

Fonte: ABOU-ZEID e FAKHRY (2003)

Portanto, do estudo de ABOU-ZEID e FAKHRY (2003) pode-se concluir que:

- À medida que se aumenta o teor de finos no concreto, mantendo a relação a/c constante (misturas 1 e 4), há uma diminuição do valor do slump, causando, desta forma, uma menor trabalhabilidade do concreto. Verificou-se também que a massa específica da mistura aumenta (neste caso 2,8%), provavelmente pela maior retenção de água dos finos na mistura, devida as suas elevadas áreas específicas. A resistência à compressão teve um acréscimo de 7% aos 28 dias.
- Para que fosse possível aumentar o teor de finos (misturas 1 e 7), mantendo o mesmo slump, ou seja, para que as misturas tivessem trabalhabilidades relativamente compatíveis, teve-se que aumentar a relação a/c, desta forma,

houve uma redução da massa específica de 3,7%, e redução da resistência à compressão aos 28 dias de 27,4%.

- Quando o teor de finos foi o mesmo e igual a 5% (misturas 4 e 7), para que se obtivesse misturas mais trabalháveis, ou seja, com slump entre 80 e 100 mm, teve que se aumentar a quantidade de água, aumentando a relação água/cimento da mistura, produzindo concretos menos densos e menos resistentes à compressão.

Os autores concluíram ainda que, mesmo quando se faz uso de aditivos plastificantes com mesma quantidade e mesma marca, para se manter a mesma trabalhabilidade, com o aumento do teor de finos de 0 para 5%, é necessário aumentar a relação água/cimento.

Portanto, conclui-se do trabalho de ABOU-ZEID e FAKHRY (2003) que, quando se aumenta o teor e finos, há um aumento na massa específica da mistura. Misturas com 5% de finos obtêm slump menor do que quando se faz misturas sem finos incorporados. A resistência à compressão aumenta quando o material fino é incorporado à mistura de concreto.

O que se verifica ao se comparar os estudos feitos por FONSECA SILVA, RIBAS SILVA e OLIVEIRA (1998), com os de AİTICIN (1992) e com os de ABOU-ZEID e FAKHRY (2003) é que há uma divergência quanto à resistência à compressão entre os dois primeiros estudos e o de ABOU-ZEID e FAKHRY (2003), no que se refere à incorporação de finos. Como neste último estudo os finos foram incorporados na mistura de concreto, provavelmente eles se comportaram como material filler, contribuindo favoravelmente para o desempenho mecânico do concreto, enquanto que, nos outros dois estudos, eles estavam aderidos no agregado graúdo, prejudicando a aderência da pasta de cimento no agregado.

ZORDAN (1997) concluiu em seus estudos que a grande quantidade de finos existentes nos resíduos de concreto colaboraram para uma maior absorção de água em comparação com os agregados convencionais.

COUTINHO (1997) também observou que o teor de finos nas misturas de concreto pode influenciar bastante na quantidade de água de amassamento necessária, o que pode provocar diminuição da resistência mecânica do concreto produzido.

MIRANDA (2000) observou que, à medida que se aumenta o teor de finos ($< 75 \mu\text{m}$) em argamassas, há um aumento da quantidade de fissuras.

LEITE (2001) realizou o ensaio de composição granulométrica dos agregados miúdos reciclados e observou que o percentual de material fino passante na peneira de malha 0,15 mm é de 11,5%, considerando-o muito elevado.

Segundo o documento publicado pela RILEM TC 121-DRG (1994), a utilização da fração fina do entulho ($< 4 \text{ mm}$) deve ser evitada, devido aos seguintes fatores:

- A fração fina do entulho normalmente contém contaminantes, e pouco se sabe sobre sua ação no concreto;
- O impacto do uso de agregados miúdos reciclados na durabilidade e resistência do concreto não está documentada suficientemente;
- Um método relevante para a determinação da resistência do agregado fino reciclado não está disponível;
- Não há um método confiável para a determinação da reatividade residual do álcali.

3. MÉTODO

Os estudos apresentados a seguir foram realizados em duas universidades da região sul do Brasil: Universidade Estadual de Londrina – UEL e Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

3.1. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

a) Cimento

O cimento utilizado para a pesquisa foi o cimento Portland CP II Z. O cimento CP II foi escolhido em virtude de ser o mais propenso a não interferir nos resultados dos ensaios do concreto no estado fresco pois, cimentos como o CP V ARI, devido a sua maior finura, provavelmente, contribuiria para uma maior retração plástica. Foi escolhido o do tipo Z por ser o único cimento do tipo CP II encontrado na região de Florianópolis.

b) Agregado Miúdo

A areia utilizada como agregado miúdo no concreto é uma areia caracterizada aos limites da zona 3 e classificada como areia média, de acordo a NBR 7211/83 – Agregados para Concreto. A areia tem procedência do município de Nova Londrina no estado do Paraná.

b) Água

A água utilizada na pesquisas é a água ligada à rede de abastecimento público, fornecida pela respectiva concessionária local, ou seja, a Sanepar em Londrina e a Casan em Florianópolis.

c) Brita

A brita utilizada como agregado graúdo, foi classificada segundo a NBR 7211/83 – Agregados para Concreto, como uma brita de graduação 1, ou seja, brita nº1 de origem basáltica da região de Londrina-PR.

d) Resíduo de Construção e Demolição

O RCD utilizado na pesquisa foi obtido da Unidade Recicladora de Materiais - URM, usina responsável pela moagem do RCD gerado na cidade de Campinas no estado de São Paulo, localizada à rua Estrada da Mão Branca s/n°, a qual encontra-se atualmente em funcionamento. As figuras 8 e 9 mostram, respectivamente, a usina de reciclagem de Campinas e o local de coleta do RCD utilizado.



FIGURA 8 – Usina de reciclagem, responsável pelo processo de britagem do RCD.



FIGURA 9 – Local de coleta do RCD.

Ao coletar as amostras na usina, tomou-se o cuidado de coletá-las em diferentes pontos das pilhas de RCD, assim como da base, do meio e do topo das pilhas, para que assim pudesse ser obtida uma maior representatividade do RCD utilizado nesta pesquisa.

O transporte do material foi feito em sacos de rafia laminados, para que se evitasse a contaminação por qualquer tipo de material e por águas de quaisquer naturezas que pudessem alterar a composição da amostra, de forma que

os finos oriundos do processo de britagem ficassem aderidos às superfícies dos agregados reciclados. Esses finos serão objetos de estudo no concreto com agregados reciclados.

As figuras 10 a 13 mostram alguns detalhes dos equipamentos utilizados na usina, dos RCD antes e após a britagem e da maneira como foi realizado o transporte.



FIGURA 10 – Detalhe do local onde é feita a separação manual de componentes que não são considerados como RCD.



FIGURA 11 – RCD antes da etapa de britagem.



FIGURA 12 – RCD após a etapa de britagem.



FIGURA 13 – Maneira como foi realizado o transporte do RCD de Campinas para Londrina.

Na tabela 14 são apresentados, de forma resumida, os ensaios realizados para a caracterização dos materiais utilizados para a produção dos concretos.

TABELA 14 – Ensaio de caracterização dos materiais.

Materiais	Ensaio
Cimento	Ensaio físico e químico, caracterização fornecida pelo fabricante
Areia	Massa Específica Massa Unitária Composição Granulométrica Teor de Material Pulverulento
Brita	Massa Específica Massa Unitária Composição Granulométrica Teor de Material Pulverulento Índice de Forma
RCD	Massa Específica Massa Unitária Composição Granulométrica Teor de Material Pulverulento Índice de Forma Absorção de Água Composição Mineralógica Média do RCD

3.2. ENSAIOS NORMATIZADOS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Os ensaios para a caracterização dos materiais utilizados na produção de concretos com agregados reciclados foram feitos de acordo com as normas vigentes no país.

3.2.1. MASSA ESPECÍFICA

O ensaio de determinação da massa específica para a areia foi realizado de acordo com a norma NBR 9776/87 – Agregados – Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos.

Para se determinar a massa específica do agregado graúdo natural, o ensaio foi realizado de acordo com a NBR 9937/87 – Agregados – Determinação da Absorção e da Massa Específica de Agregado Graúdo.

No entanto, para se determinar a massa específica do agregado graúdo reciclado, não é possível utilizar o mesmo método que foi utilizado para a massa específica do agregado graúdo natural (NBR 9937/87), uma vez que este método é realizado com o auxílio da balança hidrostática e, como os agregados graúdos reciclados têm uma taxa de absorção relativamente alta, isso acarretaria erros nos cálculos da massa específica dos RCD.

Portanto, para esse ensaio, foi utilizado um método proposto por NEVILLE (1995) e adaptado por LEITE (2001), em que está descrito como uma proposta de norma em seus estudos e consiste basicamente dos seguintes procedimentos.

LEITE (2001), propõe o ensaio da seguinte forma:

- Utilizar um recipiente de volume conhecido;
- Preencher o recipiente com água;
- Inserir uma amostra de 800g seca em estufa a 110°C no interior do recipiente;

O cálculo da massa específica é feito através da EQUAÇÃO 1:

$$\delta = \frac{C}{B - A + C} \quad [1]$$

Onde:

δ = massa específica do RCD

A = massa do recipiente + amostra + água

B = massa do recipiente + água

C = massa da amostra seca em estufa

3.2.2. MASSA UNITÁRIA

Os ensaios de determinação da massa unitária para os materiais utilizados foram realizados de acordo com a norma NBR 7251/82 – Agregados – Determinação da Massa Unitária.

3.2.3. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Os ensaios para determinar a composição granulométrica dos materiais utilizados foram realizados de acordo com a norma NBR 7217/87 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica.

3.2.4. TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO

Os ensaios para a determinação do teor de materiais pulverulentos, nos materiais utilizados, foram feitos de acordo com a norma NBR 7219/87 – Agregados – Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos.

3.2.5. ÍNDICE DE FORMA

Para se determinar o índice de forma das britas e do RCD, foi realizado o ensaio de acordo com a NBR 7809/83 – Agregado Graúdo – Determinação do Índice de Forma pelo Método do Paquímetro.

3.2.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio de absorção de água pelos RCD baseou-se no método aplicado por BAZUCO (1999), ou seja, pesou-se duas amostras de 500g de RCD no estado seco ao ar que foram, em seguida, imersas em água por um período de 24 horas, e nesse período de tempo foram feitas leituras em 15, 30, 45, 60, 90, 120 minutos e em 24 horas de imersão.

O procedimento adotado por BAZUCO para se fazer a pesagem foi verter a água presente nas amostras e secar a superfície dos agregados das amostras levemente com papel toalha.

Após a última pesagem, as amostras foram levadas à estufa, onde foram mantidas por 24 horas, a uma temperatura de 110°C. As amostras foram então novamente pesadas para a determinação de suas massas secas, para assim obter-se a capacidade de absorção dos RCD.

3.2.7. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA MÉDIA DO RCD

As amostras utilizadas para a determinação das fases constituintes do RCD foram coletadas de acordo com a NBR 9941/87 – Redução de Amostras de Campo de Agregados para Ensaio de Laboratório.

O método utilizado para se obter a composição média dos RCD foi o mesmo utilizado por ZORDAN (1997) e por ANGULO (2000), ou seja, a determinação dos percentuais de cada constituinte presente no RCD foi feita através da separação manual.

Para proceder ao ensaio de composição mineralógica média do RCD, foram coletadas quatro amostras, seguindo as prescrições da NBR 10007/87 – Amostragem de Resíduos, ou seja, amostras A, B, C e D. Também foi realizado o quarteamento de amostras de campo de agregados para ensaios de laboratório, segundo as prescrições da NBR 7216/87 – Amostragem de Agregados, que consiste em homogeneizar e quarterar sucessivamente o material remanescente, até que a amostra seja formada de acordo com os valores mínimos indicados pela norma.

3.3. DEFINIÇÃO DOS CONCRETOS A SEREM PRODUZIDOS

Foram produzidos concretos para a realização dos ensaios no estado fresco e no endurecido.

Optou-se por produzi-los tendo como partida a relação cimento : agregado, 1 : 5, respectivamente. No entanto, quando foi feito o uso do RCD como agregado graúdo, foi recalculado o traço dos concretos produzidos com RCD, pois há uma diferença nas massas específicas desses dois agregados, sendo conveniente que os agregados dos concretos produzidos com RCD tivessem o mesmo volume dos agregados graúdos naturais, para que não interferissem nos resultados obtidos. O cálculo feito foi:

$$\text{Massa A.G. RCD} = (\text{Massa A.G. Natural} \times \text{M.E. A.G. RCD}) / (\text{M.E. A.G. Natural})$$

Sabendo-se que o teor de argamassa (α) é importante para a obtenção de um concreto com boa trabalhabilidade, optou-se por trabalhar com teores de argamassa de 50%.

A tabela 15 mostra a nomenclatura usada para os concretos produzidos.

TABELA 15 – Nomenclatura usada para os concretos produzidos.

Nomenclaturas	Composição dos Concretos
CR_brita	Concreto de referência produzido com agregado natural
CRcd_3,45%	Concreto de referência produzido com RCD natural, com 3,45% de finos
Crcd_0%	Concreto com RCD, com 0% de finos
Crcd_5,85%	Concreto com RCD, com 5,85% de finos

De acordo com a tabela 15, verifica-se que o CR_brita é um concreto de referência produzido com agregado graúdo natural, ou seja, é um concreto que não há substituição de agregado natural por agregado reciclado.

O CRrcd_3,45%, também é um concreto de referência, produzido com 100% de agregado reciclado, no entanto, é um agregado que não apresentou modificações em suas parcelas de constituintes, ou seja, contém o percentual natural de finos obtido da usina de reciclagem, que é de 3,45% de finos passantes na peneira 0,15 mm.

O Crcd_0% é um concreto produzido com 100% de agregado reciclado e foi produzido com RCD limpo, ou seja, os resíduos foram lavados sobre uma peneira de malha número 100 e excluída toda parcela de finos menores que 0,15 mm e, posteriormente, seco em estufa por 24 horas a uma temperatura de 110°C.

Para o preparo do resíduo com que foi produzido o Crcd_5,85%, foi realizada a moagem, com o uso de uma “maseira moinho”, de uma parcela do RCD proveniente da usina recicladora de Campinas, até que o resíduo se tornasse um material fino; posteriormente, esse material foi peneirado e separadas as frações menores que 0,15 mm. Para que se obtivesse um resíduo com 5,85% de finos, o RCD proveniente da usina recicladora foi colocado em um recipiente, molhado com uma mistura de água com finos e, posteriormente, foram-lhe adicionados mais finos secos, para que se obtivesse o maior teor de finos possível no agregado. Logo após, esse RCD foi colocado em uma estufa, por 24 horas, a uma temperatura de 110°C e, depois de esfriar até a temperatura ambiente, foi submetido a um peneiramento mecânico, para que só ficassem os finos que realmente estavam aderidos aos

agregados de RCD. Portanto, o teor de 5,85% de finos aderido à superfície dos agregados foi o maior que se conseguiu obter.

As figuras 14 e 15 mostram, respectivamente, detalhes da moagem do RCD para a obtenção dos finos e dos finos produzidos na moagem.



FIGURA 14 – Detalhes da moagem do RCD para a produção dos finos, que foram utilizados para a obtenção dos RCD com 5,85% de finos.



FIGURA 15 – Finos utilizados para a obtenção dos agregados de RCD com 5,85% de finos.

A tabela 16 mostra os traços utilizados para cada tipo de concreto produzido, levando em consideração um teor de argamassa igual a 50%.

A relação água/cimento utilizada para todos os traços produzidos foi de 0,50. No entanto, nos concretos produzidos com substituição do agregado natural

por RCD, foi adicionada ao traço, a quantidade de água de absorção do agregado reciclado, conforme definido no ensaio de absorção de água.

TABELA 16 – Traços utilizados para os ensaios realizados.

Concretos	Presença de Finos	% RCD	Traço *
CR_brita	Sim (Natural)	0	1 : 2 : 3
CRrcd_3,45%	Sim (3,45%)	100	1 : 2 : 2,34
Crcd_0%	Não (0%)	100	1 : 2 : 2,29
Crcd_5,85%	Sim (5,85%)	100	1 : 2 : 2,37

* Traço em massa - cimento : areia : agregado graúdo

A produção dos concretos obedeceu às seguintes seqüências: primeiramente foi colocado na betoneira o agregado graúdo, depois a água de absorção para os casos dos concretos com RCD, e aguardou-se um intervalo de 15 minutos para que o agregado reciclado absorvesse a água de absorção, logo após foi adicionado o agregado miúdo, o cimento e, por último, a água de amassamento.

3.3.1. PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para a realização dos ensaios do concreto no estado endurecido foram produzidos corpos de prova cilíndricos, utilizando as recomendações da NBR 5738/84 – Moldagem e Cura de Corpos de prova de Concretos Cilíndricos ou Prismáticos.

3.4. ENSAIOS DOS CONCRETOS

3.4.1. ENSAIOS DOS CONCRETOS NO ESTADO FRESCO

3.4.1.1. ENSAIO DA MASSA ESPECÍFICA

A massa específica foi medida de acordo com a norma NBR 9833/87 – Concreto – Determinação da massa específica e teor de ar pelo método gravimétrico.

O adensamento foi feito manualmente e dividido em 4 camadas com 15 golpes cada.

O molde utilizado para se obter a massa específica dos concretos foi um molde cilíndrico de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura que é o estabelecido pela norma NBR 5738/84 – Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto cilíndricos e prismáticos.

A tabela 17 mostra os tipos de concretos produzidos para a determinação da massa específica.

TABELA 17 – Determinação da massa específica.

Concretos	Presença de Finos	% RCD	Traço *
CR_brita	Sim (Natural)	0	1 : 2 : 3
CRrcd_3,45%	Sim (3,45%)	100	1 : 2 : 2,34
Crcd_0%	Não (0%)	100	1 : 2 : 2,29
Crcd_5,85%	Sim (5,85%)	100	1 : 2 : 2,37

* Traço em massa - cimento : areia : agregado graúdo

3.4.1.2. ENSAIO DA MEDIDA DE CONSISTÊNCIA

O ensaio da medida de consistência, para os quatro concretos produzidos, deu-se imediatamente após a produção da mistura e conforme as prescrições da norma NBR 7223/92 – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone.

3.4.1.3. ENSAIO DE PEGA

O ensaio de pega seguiu o procedimento da norma francesa NF EM 196-3 (1990) – Détermination du temps de prise des ciments – CERIB fiche 34. O ensaio foi realizado com a argamassa do concreto, ou seja, peneirou-se o concreto para serem excluídos os agregados graúdos. A norma francesa prevê uma massa extra de 700g acoplada à parte superior do equipamento. O ensaio foi realizado em sala climatizada.

A norma estabelece que o início de pega acontece quando a agulha

fica a uma distância de 4 ± 1 mm da placa do molde tronco cônico; e o fim de pega ocorre 15 minutos após não ocorrer penetração superior a 0,5 mm.

3.4.1.4. ENSAIO DE RETRAÇÃO PLÁSTICA

A retração plástica é uma característica importante de misturas cimentícias. Ela é também causadora de um número significativo de patologias em concretos. Por isso, foram utilizados aparelhos com maior precisão de leitura, possibilitando uma melhor confiabilidade dos resultados encontrados.

Portanto, para o ensaio de retração plástica, foram adotados os equipamentos e métodos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa de valorização de resíduos – ValoRes – da Universidade Federal de Santa Catarina, em conjunto com o Institut National des Sciences Appliquées – INSA – de Lyon na França, assim como os utilizados na pesquisa de ANDRADE (2004). O ensaio foi realizado num ambiente climatizado, com temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $72 \pm 5\%$, tal umidade é tão elevada por tratar-se de região litorânea;

Foram moldados corpos de prova prismáticos com seção transversal quadrada com dimensões de 7 x 7 centímetros, e dimensão longitudinal de 50 centímetros.

ANDRADE (2004) descreve o aparato de ensaio para a medida de retração da seguinte forma:

- O aparelho consiste de um molde retangular, contendo em sua parte interna (laterais e base) placas de nylon de 5 mm de espessura, e parte externa (laterais) constituída de placas metálicas de 10 mm. O molde foi assentado sobre uma

base retangular metálica com dimensões de 150 x 660 mm e de 20 mm de espessura;

- Após a moldagem, a amostra foi ancorada através de parafusos-âncora, em placas metálicas em ambas as extremidades, sendo uma fixa e outra móvel. A variação que a amostra sofreu foi medida através da movimentação da placa metálica livre, unida a uma das extremidades da amostra; a união amostra-placa deu-se através dos parafusos-âncora;
- A leitura dos dados foi obtida por meio de um multímetro digital – Hewlett-Packard 34401A, e consistiu em ler a variação de uma corrente elétrica, gerada pela passagem de uma haste metálica por um solenóide, a qual é fixada na placa metálica móvel;
- Através da conexão do multímetro com um equipamento digital de aquisição de dados, da marca Hewlett-Packard 34970A, é que os dados foram coletados. Deste aparelho foi feita a conexão a um computador, o qual transformava os dados, que eram variação de voltagens, para milímetros. Essa transformação foi feita através do software Agilent BenchLink Data logger 1.5.

A figura 16 mostra o esquema do aparelho utilizado para a realização do ensaio de retração plástica.

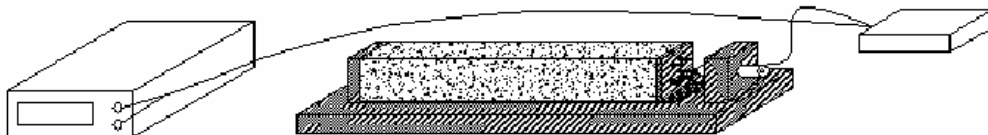


FIGURA 16 – Esquema do aparelho utilizado para a realização do ensaio de retração plástica.

Fonte: ANDRADE (2004)

3.4.1.5. ENSAIO DE EXSUDAÇÃO

O ensaio de exsudação foi executado de acordo com as normas NM 102/96 – Concreto e argamassa – Determinação da Exsudação – e MR 6 – Tendency of water to separate from mortars (bleeding).

A metodologia adotada foi a mesma utilizada por ANDRADE (2004) e consistiu nos seguintes procedimentos:

- Retirou-se uma amostra do concreto, de forma a moldá-lo em um recipiente de vidro prismático com dimensões de 142 x 193 x 100 mm, sendo que a amostra ocupou apenas 75 mm da altura do recipiente;
- Este ensaio foi realizado num ambiente climatizado com temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $72 \pm 5\%$;
- As medidas da massa de água exsudada foram feitas em intervalos de 15 minutos, através da coleta de água da superfície da amostra moldada com uso de uma seringa;
- Um minuto antes de cada coleta de água, a amostra era levemente inclinada ($\pm 30^\circ$) para que a água de exsudação se posicionasse toda em um mesmo local (aresta do retângulo);
- Após a secagem da superfície, caracterizada pela não presença de água exsudada e coletada, o ensaio era interrompido e a amostra, descartada.

Para o estudo dos concretos, em relação à exsudação, foram ensaiados os concretos descritos conforme a tabela 18.

TABELA 18 – Ensaio de exsudação.

Concretos	Presença de Finos	% RCD	Traço *
CR_brita	Sim (Natural)	0	1 : 2 : 3
CRrcd_3,45%	Sim (3,45%)	100	1 : 2 : 2,34
Crcd_0%	Não (0%)	100	1 : 2 : 2,29
Crcd_5,85%	Sim (5,85%)	100	1 : 2 : 2,37

* Traço em massa - cimento : areia : agregado graúdo

3.4.2. ENSAIOS DOS CONCRETOS NO ESTADO ENDURECIDO

3.4.2.1. ENSAIO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

Os ensaios do módulo de deformação foram feitos de acordo com as prescrições da norma NBR 8522/84 – Concreto – Determinação do módulo de deformação estático e diagrama - tensão-deformação.

Para o cálculo do módulo de deformação foi adotado o plano de carga do tipo III. Para este tipo de plano de carga é aplicado um carregamento crescente à velocidade de $(0,50 \pm 0,05)$ MPa/s, efetuando-se pausas de 60 segundos às tensões seguintes, após as quais deve-se obter as correspondentes leituras médias de deformações em tempos máximos de 60 segundos.

O carregamento foi feito com aumentos sucessivos de 10% da carga de ruptura até que se atingisse 80% da carga de ruptura.

Para a determinação do módulo de deformação foram ensaiados corpos de prova nas idades de 7, 28 e 63 dias. Foram moldados um total de 36

corpos de prova, sendo 9 amostras por traço (3 amostras por idade). A tabela 19 mostra a distribuição dos corpos de prova para o ensaio de módulo de deformação.

TABELA 19 – Quantidade de corpos de prova para o ensaio de módulo de deformação.

CONCRETOS	Idade de Ruptura			Total
	7 dias	28 dias	63 dias	
CR_brita	3	3	3	9
CRrcd_3,45%	3	3	3	9
Crcd_0%	3	3	3	9
Crcd_5,85%	3	3	3	9

3.4.2.2. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Para a determinação da resistência do concreto à compressão foram seguidas as prescrições da NBR 5739/80 – Ensaio de Compressão de Corpos de prova Cilíndricos.

Foi determinada a resistência à compressão dos corpos de prova para as idades de 7, 28 e 63 dias.

A tabela 20 mostra os tipos de concretos ensaiados, a quantidade de corpos de prova de cada traço utilizada e também a idade de ruptura dos corpos de prova.

TABELA 20 – Quantidade de corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão.

CONCRETOS	Idade de Ruptura			Total
	7 dias	28 dias	63 dias	
CR_brita	3	3	3	9
CRrcd_3,45%	3	3	3	9
Crcd_0%	3	3	3	9
Crcd_5,85%	3	3	3	9

3.4.2.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Para a determinação da resistência do concreto à tração foram seguidas as prescrições da NBR 7222/94 – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.

Foi determinada a resistência à tração dos corpos de prova para as idades de 7, 28 e 63 dias, assim como para o ensaio de resistência à compressão e de módulo de deformação

A tabela 21 mostra os tipos de concretos ensaiados à tração, a quantidade de corpos de prova de cada traço utilizada, bem como, a idade de ruptura dos corpos de prova.

TABELA 21 – Quantidade de corpos de prova para o ensaio de resistência à tração.

CONCRETOS	Idade de Ruptura			Total
	7 dias	28 dias	63 dias	
CR_brita	3	3	3	9
CRrcd_3,45%	3	3	3	9
Crcd_0%	3	3	3	9
Crcd_5,85%	3	3	3	9

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

4.1.1. ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS DO CIMENTO

Para a produção dos concretos foi utilizado o cimento CP II Z. As características físicas e químicas do cimento foram fornecidas pelo fabricante e estão apresentadas nas tabelas 22 e 23.

TABELA 22 – Características físicas do cimento.

ENSAIOS FÍSICOS					
Item de Controle	Unid.	Média	Desvio	Mínimo	Máximo
Material Retido #200 (mesh)	%	1,75	0,18	1,40	2,10
Material Retido #325 (mesh)	%	11,37	0,80	9,60	12,50
Blaine	cm ² /g	3417	130	3120	3590
Água de Consistência	%	28,54	0,22	28,00	28,90
Início de Pega	horas	05:45	00:20	05:00	06:20
Fim de Pega	horas	06:59	00:22	06:10	07:40
Expansibilidade a Quente	mm	0,05	0,12	0,00	0,50
Resistência R1	MPa	-	-	-	-
Resistência R3	MPa	24,01	0,88	22,60	26,20
Resistência R7	MPa	28,76	0,95	27,80	31,90
Resistência R28	MPa	36,90	0,96	35,40	38,50

Fonte: Laudo Técnico Cimentos Rio Branco / Votorantim. Outubro 2004

TABELA 23 – Características químicas do cimento.

ENSAIOS QUÍMICOS					
Item de Controle	Unid.	Média	Desvio	Mínimo	Máximo
Perda ao Fogo	%	4,97	0,34	4,22	5,61
SiO ₂	%	22,91	0,63	20,40	23,77
Al ₂ O ₃	%	7,25	0,31	6,41	7,86
Fe ₂ O ₃	%	3,18	0,06	3,06	3,33
Cão	%	52,29	0,79	49,52	53,60
MgO	%	5,56	0,19	4,93	5,80
K ₂ O	%	1,04	0,05	0,94	1,16
Na ₂ O	%	0,18	0,01	0,15	0,20
SO ₃	%	2,82	0,06	2,72	2,94
Resíduo Insolúvel	%	12,91	0,85	11,00	14,36
CO ₂	%	4,23	0,37	3,06	4,79

Fonte: Laudo Técnico Cimentos Rio Branco / Votorantim. Outubro 2004

4.1.2. MASSA UNITÁRIA E MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS

Os resultados obtidos, de massa unitária e massa específica, se mostraram bastantes satisfatórios para a produção de concretos.

Os valores médios das três amostras realizadas para cada agregado, no ensaio de massa unitária, não sofreu desvios maiores que 0,1% em relação à media dos valores. Portanto, este dado se comportou de forma uniforme, visto que a norma NBR 7251/82 prescreve que os valores não devem se desviar mais de que 1% da média.

A tabela 24 mostra os resultados médios da massa unitária e massa específica dos agregados miúdo e graúdo.

TABELA 24 – Determinação da massa unitária e massa específica média dos agregados miúdo e graúdo.

Agregado	Massa Unitária (Kg/dm³)	Massa Específica (Kg/dm³)
Agregado miúdo natural	1,61	2,631
Agregado graúdo natural	1,54	2,90
Agreg. Graúdo recicl. c/ 3,45% finos	1,20	2,26
Agreg. Graúdo recicl. c/ 0% finos	1,20	2,21
Agreg. Graúdo recicl. c/ 5,85% finos	1,20	2,29

A tabela 24 mostra que os resultados de massa unitária e massa específica para os agregados graúdos naturais são superiores aos dos agregados graúdos reciclados, estando de acordo com a bibliografia consultada.

Quanto à massa específica, a do agregado miúdo, o valor encontrado está de acordo com os encontrados na bibliografia consultada, os quais estão em torno de 2,630 kg/dm³ e, assim como a massa unitária do agregado miúdo, não excedeu significativamente aos valores encontrados, que foram de 1,42 a 1,54 kg/dm³.

No que se refere à massa específica do agregado graúdo natural, que é de 2,90 kg/dm³, está dentro do intervalo mencionado por NEVILLE (1997), ao comentar que os valores estão compreendidos entre 2,6 e 3,0 kg/dm³. No entanto, o valor de 2,90 kg/dm³ é inferior aos valores dos estudos realizados por LEITE (2001) e ALTHEMAN (2002), e é superior aos valores encontrados por BAZUCO (1999) e ANDRADE (2004). Quanto à massa unitária, o valor encontrado para o agregado graúdo natural (1,54 kg/dm³) está de acordo com os valores compreendidos entre 1,39 e 1,61 kg/dm³, os quais foram encontrados na bibliografia.

Contudo, para a massa específica, a do agregado graúdo reciclado, em que o resultado encontrado foi entre 2,21 e 2,29 kg/dm³, está um pouco abaixo dos valores encontrados na bibliografia, que foram de 2,31 a 2,53 kg/dm³, e talvez

possa ser explicado pelo percentual de composição das fases do RCD. Para a massa unitária dos RCD o valor de $1,20 \text{ kg/dm}^3$ está dentro dos limites esperados.

4.1.3. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A tabela 25 apresenta os valores obtidos do ensaio de composição granulométrica do agregado miúdo utilizado no estudo.

TABELA 25 – Composição granulométrica média do agregado miúdo.

Agregado Miúdo			
Peneira (mm)	% Retido	% Retido acumulado	Método de ensaio
4,8	0	0	NBR 7217/87
2,4	3	3	
1,2	9	12	
0,6	29	42	
0,3	44	85	
0,15	14	99	
0,075	1	100	
Fundo	0	100	
Total	100	-	
<hr/>			
Módulo de finura		2,42	NBR 7217/87
Dimensão máxima característica (mm)		2,4	NBR 7217/87
Gradação		Zona 3 - Areia média	NBR 7211/83

O módulo de finura (soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da Série Normal, dividida por 100) do agregado representa o quão finas são as partículas dos agregados, ou seja, quanto maior o módulo de finura, maiores serão as dimensões dos agregados e,

conseqüentemente, menor será a quantidade de água de amassamento necessária para molhar os agregados.

De acordo com a tabela 25, observa-se que o agregado miúdo, no caso a areia, apresentou um módulo de finura igual a 2,42 e, de acordo com a norma 7211/83 – Agregado para concreto, a areia enquadrou-se na zona 3, ou seja, como areia média. Já a dimensão máxima característica, que corresponde à abertura de malha quadrada que retém 5% da amostra retida acumulada ou imediatamente inferior a este valor, foi de 2,4 mm.

A figura 17 apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo.

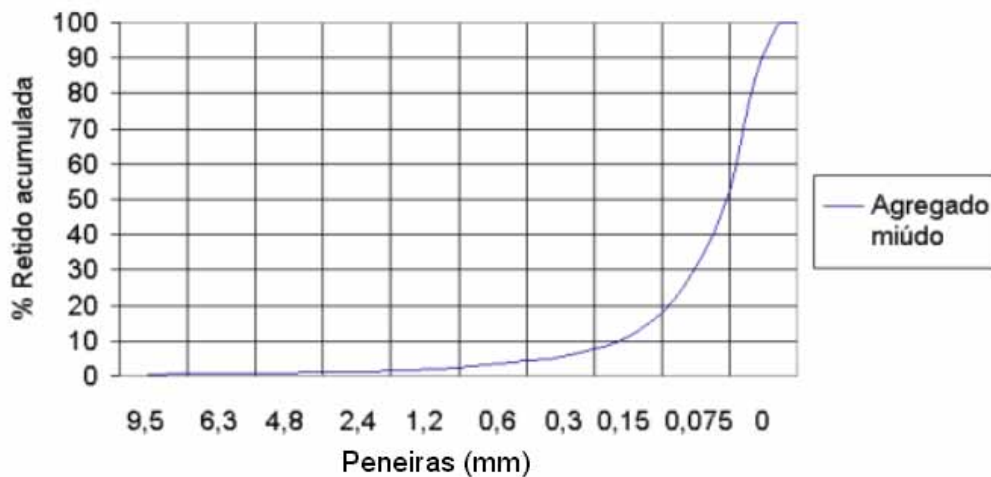


FIGURA 17 – Curva granulométrica do agregado miúdo.

TABELA 26 – Composição granulométrica média do agregado graúdo natural.

Agregado Graúdo Natural			
Peneira (mm)	% Retido	% Retido acumulado	Método de ensaio
19	0	0	NBR 7217/87
9,5	99	99	
4,8	1	100	
Fundo	0	100	
Total	100	-	
Módulo de finura		6,99	NBR 7217/87
Dimensão máxima característica (mm)		19	NBR 7217/87
Graduação		Brita 1	NBR 7211/83

De acordo com a tabela 26, verifica-se para o agregado graúdo natural um módulo de finura de 6,99 e uma dimensão característica máxima de 19 mm, e de acordo com a norma 7211/83 – Agregado para concreto, enquadrou-se como brita 1, como era esperado.

TABELA 27 – Composição granulométrica média do agregado graúdo reciclado.

Agregado Graúdo Reciclado (RCD)			
Peneira (mm)	% Retido	% Retido acumulado	Método de ensaio
19	0	0	NBR 7217/87
9,5	87	87	
4,8	12	100	
Fundo	0	100	
Total	100,00	-	
Módulo de finura		6,87	NBR 7217/87
Dimensão máxima característica (mm)		19	NBR 7217/87
Graduação		Brita 1	NBR 7211/83

De acordo com a tabela 27 verifica-se, através da norma NBR 7211/83 – Agregado para concreto, que o agregado de RCD enquadrou-se como brita 1 e apresentou um módulo de finura de 6,87 e uma dimensão característica máxima de 19 mm.

LEITE (2001) utilizou, em seus estudos, um módulo de finura 2,9% menor para o agregado graúdo reciclado em relação ao agregado graúdo natural. De acordo com as tabelas 26 e 27, verifica-se, para esses agregados reciclados, um percentual 1,7% menor que o módulo de finura do agregado natural, ou seja, apresentou-se próximo nesta relação entre os agregados, além de os valores de módulo de finura serem bastante próximos: 6,99 para o agregado graúdo natural e 6,87 para o agregado graúdo reciclado.

A figura 18 representa a curva granulométrica dos agregados graúdos.

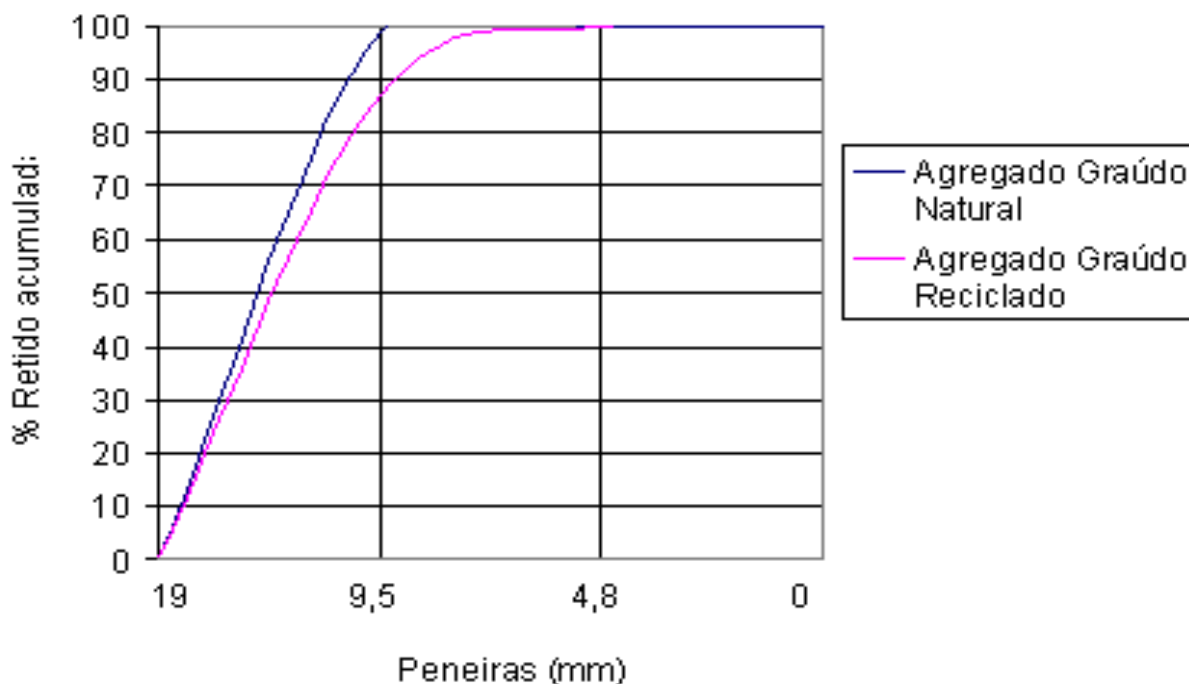


FIGURA 18 – Curva granulométrica dos agregados graúdos.

Segundo NEVILLE (1995), a composição granulométrica dos agregados possui maior influência sobre a trabalhabilidade dos concretos do que sobre a sua resistência mecânica. No entanto, é importante salientar que a resistência do concreto está intimamente relacionada com o adensamento das misturas, o qual, quanto mais denso, mais resistente será o concreto. Se a mistura não apresentar boa trabalhabilidade o adensamento ficará comprometido, afetando a resistência do concreto.

Ainda segundo NEVILLE (1995), a composição granulométrica exerce grande influência sobre a área superficial do agregado, fator determinante à quantidade de água necessária para a molhagem completa dos sólidos da mistura, a qual altera o volume relativo ocupado pelo agregado; a trabalhabilidade da mistura; e a segregação.

4.1.4. TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO

O teor de material pulverulento é de fundamental importância para o presente trabalho, uma vez que eles fazem parte dos finos que são objetos de estudo.

A tabela 28 apresenta os teores de finos encontrados nos agregados utilizados para a produção dos concretos.

TABELA 28 – Teor de material pulverulento dos agregados miúdo e graúdo.

Agregado	Teor de Material Pulverulento (%)		
	Amostra 1	Amostra 2	Média
Agregado miúdo natural	0,25	0,14	0,19
Agregado graúdo natural	1,91	2,23	2,07
Agregado graúdo reciclado	2,88	2,64	2,76

A RILEM RECOMMENDATION (1994) estabelece que, para o emprego de agregados graúdos reciclados de RCD em concretos, o limite máximo do teor de material pulverulento não deve ser superior a 2 ou 3%, dependendo do tipo de emprego do agregado. Portanto, o que se verifica no RCD estudado, é que o teor de material pulverulento está dentro do estabelecido pela RILEM.

A ABNT (1983) estabelece que, para agregados miúdos destinados à produção de concretos, a quantidade de material pulverulento não deve exceder 3% para concretos submetidos ao desgaste superficial e a 5% nos demais concretos.

4.1.5. ÍNDICE DE FORMA

A ABNT (1983) define índice de forma como sendo a média da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do agregado, ponderada pela quantidade de grãos de cada fração granulométrica que o compõem.

A mesma norma ainda comenta que devem ser desprezadas as parcelas de agregados que passem na peneira 9,5 mm, ou seja, o índice de forma é feito apenas para agregados maiores que 9,5 mm.

Os resultados dos ensaios de índice de forma para os agregados graúdos são apresentados na tabela 29.

TABELA 29 – Índice de forma dos agregados graúdos naturais e reciclados.

Agregado	Natural	Reciclado
Índice de forma	2,68	2,19

Pode-se concluir, através do ensaio de índice de forma, que os agregados estão em conformidade com a NBR 7211/83, a qual prescreve que agregados para concreto não devem apresentar um índice de forma superior a 3.

Concluí-se ainda que os agregados caracterizam-se como agregados lamelares, por possuírem índice de forma superior a 2. No entanto, os agregados reciclados são menos lamelares que os agregados naturais, o que relativamente favorece a trabalhabilidade do concreto quando os agregados reciclados são utilizados, visto que a forma dos agregados exerce grande influência na trabalhabilidade do concreto.

De modo geral, os resultados encontrados de índice de forma, tanto do agregado natural como do reciclado, estão dentro do intervalo de valores encontrados na bibliografia consultada, ou seja, o agregado natural tem um índice de forma entre 2,60 e 2,78, e o agregado reciclado tem índice de forma entre 2,01 e 2,30.

4.1.6. ABSORÇÃO

MEHTA e MONTEIRO (1994) definem capacidade de absorção como sendo a quantidade total de água requerida para trazer um agregado da condição seca em estufa para a condição saturada superfície seca. A absorção efetiva, que no Brasil as normas da ABNT apenas chamam de absorção, é definida como sendo a quantidade de água requerida para trazer o agregado da condição seca ao ar para a condição saturada superfície seca.

A absorção nos RCD pode variar em função das fases presentes, assim como do percentual de cada fase presente nos RCD. A absorção dos RCD é relativamente alta, quando comparada aos agregados convencionais, devido à alta porosidade dos RCD. Portanto, a absorção de água é importante para sua dosagem no concreto, pois exerce significativa influência nas suas propriedades, tais como trabalhabilidade, exsudação, retração, porosidade, resistência à compressão, resistência à tração, módulo de deformação, durabilidade e em outras propriedades do concreto.

A tabela 30 apresenta os resultados da taxa de absorção dos RCD utilizados para a produção dos concretos.

TABELA 30 – Absorção de água dos agregados reciclados.

Tempo (min)	Absorção Média (%)		
	RCD_3,45%	RCD_0%	RCD_5,85%
0	-	-	-
15	4,15	4,34	4,07
30	4,43	4,71	4,45
60	4,68	4,91	4,63
90	4,84	4,99	4,72
120	4,95	5,12	4,82
24 horas	5,29	5,53	5,10

A figura 19 mostra o comportamento do RCD quanto à absorção de água nas 2 primeiras horas de absorção.

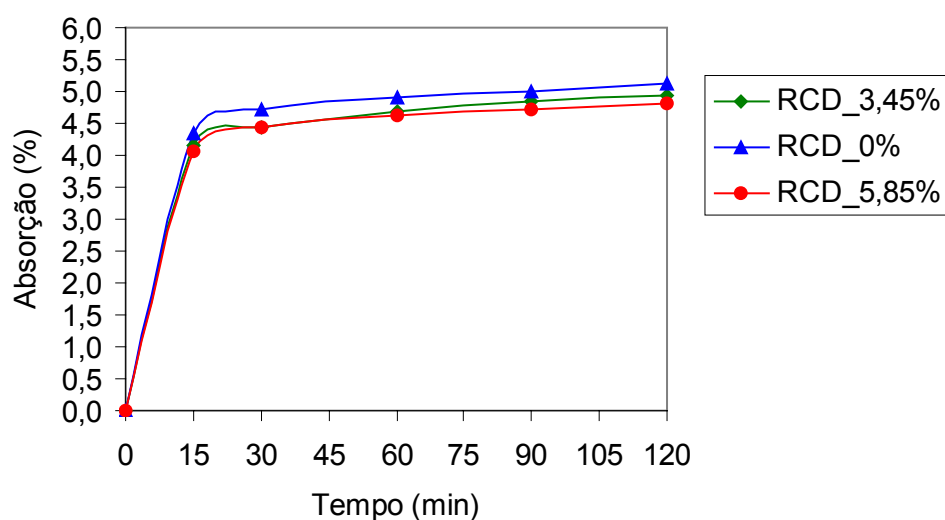


FIGURA 19 – Absorção de água dos agregados reciclados.

A taxa de absorção do RCD alcançada nos 120 primeiros minutos corresponde aos valores entre 92,6% e 94,5% da absorção total de 24 horas. No

entanto, a maior parte da absorção ocorre nos primeiros 15 minutos, instante em que ocorre de 78,5% a 80 % da absorção total.

Para a dosagem dos concretos foi adotada a relação água/cimento igual a 0,50 e acrescido, a esse valor, uma quantidade de água correspondente à taxa de absorção do RCD para 2 horas, ou seja, 4,95% para o RCD com 3,45% de finos, 5,12% para o RCD com 0% de finos e 4,82% para o RCD com 5,85% de finos.

4.1.7. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA MÉDIA DO RCD

Para se determinar a composição mineralógica média do RCD, os agregados foram espalhados sobre um plástico, para se homogeneizar a amostra e coletadas, por quarteamento sucessivos, 4 amostras de resíduos de aproximadamente 2 kg cada. Para melhor identificar os agregados, tais amostras foram submetidas à lavagem em água corrente e secadas posteriormente por 24 horas na estufa a uma temperatura de 110°C.

A partir do material no estado seco, as amostras foram separadas manualmente, seguindo algumas das classificações adotadas por ZORDAN (1997), tais como:

- Concreto: todo material composto pela união de areia, cimento e brita, cuja identificação fosse possível;
- Argamassas: toda parcela constituída por areia e um material aglutinante (cal ou cimento) sem a presença de agregado graúdo ou pedrisco;
- Cerâmica: todo material cerâmico, constituído basicamente por blocos e telhas cerâmicas;

- Pedras: fragmento de rocha ainda sem uso, ou que fizera parte de um concreto podendo, portanto, possuir parcelas de argamassas, que não as uma a outra pedra;
- Outros: materiais como madeira, metais, plásticos, amianto, torrões de argila, etc.

As tabelas 31 e 32 mostram, respectivamente, os resultados encontrados para a composição mineralógica média do RCD, em massa e em porcentagens.

TABELA 31 – Composição mineralógica média do RCD em massa.

Composição	Amostras (g)			
	A	B	C	D
Argamassa	720,6	849,8	833,1	781,4
Concreto	711,4	690,4	631,4	644,2
Pedra	374,7	300,4	401,2	423,0
Cerâmica	178,5	173,5	181,0	174,7
Outros	28,6	17,8	7,2	23,6
Total	2013,8	2031,9	2053,9	2046,9

TABELA 32 – Composição mineralógica média do RCD em porcentagem.

Composição	Amostras (%)				
	A	B	C	D	Média
Argamassa	35,8	41,8	40,6	38,2	39,1
Concreto	35,3	34,0	30,7	31,5	32,9
Pedra	18,6	14,8	19,5	20,7	18,4
Cerâmica	8,9	8,5	8,8	8,5	8,7
Outros	1,4	0,9	0,4	1,2	0,9

A figura 20 apresenta graficamente o percentual de cada constituinte do RCD.

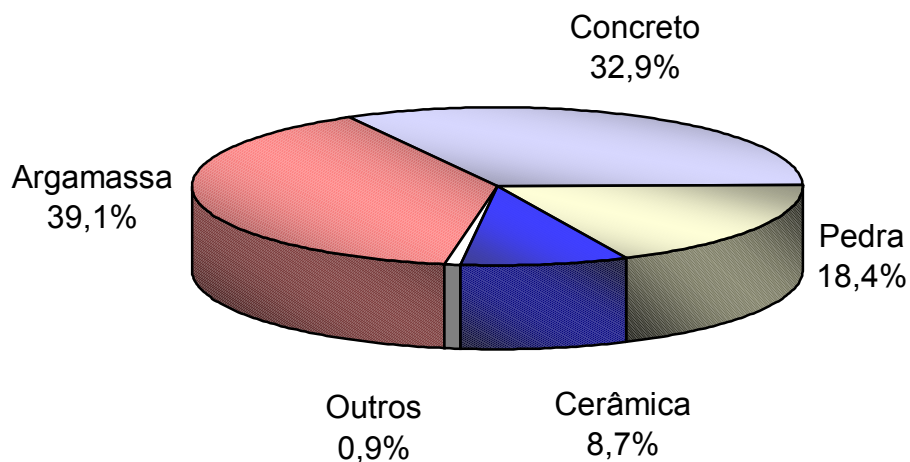


FIGURA 20 – Composição mineralógica média do RCD de Campinas.

Observa-se que os RCD em estudo contêm percentuais significativos de argamassa (39,1%) e de concreto (32,9%), ou seja, de certa forma, estão em conformidade com os resultados dos estudos feitos por outros autores em outras cidades do Brasil, como os citados na revisão bibliográfica deste trabalho, onde se verifica uma predominância de materiais como argamassas e concretos.

Os resultados também demonstraram um baixo percentual da fração cerâmica em relação aos outros estudos feitos por outros autores, fato que deve ser atribuído, provavelmente, ao dia da coleta do RCD, onde possivelmente, a usina recicladora estaria britando RCD provenientes de obras com características de materiais cimentícios.

4.2. RESULTADOS DOS CONCRETOS NO ESTADO FRESCO

4.2.1. MASSA ESPECÍFICA

MEHTA e MONTEIRO (1994) relatam que a massa específica do concreto no estado fresco depende da massa específica do agregado e da sua porosidade, bem como da sua textura, forma e tamanho.

A tabela 33 apresenta os valores de massa específica para os diferentes concretos estudados.

TABELA 33 – Massa específica dos concretos produzidos.

Concretos	Massa Específica (kg/dm³)
CR_brita	2,46
CRrcd_3,45%	2,24
Crcd_0%	2,15
Crcd_5,85%	2,27

O valor obtido de 2,46 kg/dm³, para o concreto convencional (CR_brita), está dentro do intervalo obtido por outros autores, tais como ALTHEMAN (2002), que obteve 2,45 kg/dm³, assim como LEITE (2001), que encontrou valores próximos a 2,48 kg/dm³.

Quanto aos valores obtidos para os concretos produzidos com RCD, verificou-se que o Crcd_0% obteve menor massa específica (2,15 kg/dm³) em relação aos demais concretos, possivelmente pelo fato desse concreto estar isento de material fino e, conseqüentemente, não ter a capacidade de reter a água, o que é uma característica dos finos.

Já os concretos CRrcd_3,45% e Crcd_5,85% seguiram a tendência de, quanto maior o teor de finos presentes nos RCD, maior a absorção por esses finos e, conseqüentemente, maior a massa específica.

No entanto, esses valores encontrados para concretos produzidos com resíduos de construção e demolição estão de acordo a bibliografia consultada, ou seja, ALTHEMAN (2002), obteve massa específica de 2,08 kg/dm³ para o concreto com agregados reciclados e LEITE (2001) encontrou valores próximos a 2,15 kg/dm³.

4.2.2. MEDIDA DE CONSISTÊNCIA

A medida de consistência de um concreto é um parâmetro importante para que se possa ter uma noção da sua trabalhabilidade. A tabela 34 apresenta os resultados.

TABELA 34 – Medida de consistência dos concretos produzidos.

Concretos	Medida de Consistência (mm)
CR_brita	60
CRrcd_3,45%	70
Crcd_0%	30
Crcd_5,85%	80

A tabela 34 mostra que o Crcd_0% apresentou-se como um concreto mais seco que os demais. Isso se explica, provavelmente, pela falta de finos aderidos aos agregados, os quais estavam com superfícies limpas e, conseqüentemente, o agregado reciclado poderia ter absorvido, inicialmente, uma determinada quantidade de água de amassamento, tornando a mistura mais seca.

Também nos demais concretos, que tinham finos aderidos em suas superfícies, esses finos conseguiram reter maior quantidade de água de amassamento, deixando a mistura mais fluida do que a do Crcd_0%. Isso leva à conclusão que, à medida que se aumentou o teor de finos nos agregados graúdos, houve um aumento no abatimento dos concretos, visto que o Crcd_0% apresentou menor abatimento que o CRrcd_3,45% e este apresentou menor abatimento que o CRrcd_5,85%.

4.2.3. ENSAIO DE PEGA

O tempo de início e fim de pega foram diferentes para os diferentes concretos produzidos, porém os intervalos de tempo entre o início e o fim de pega não variaram muito, ficando em torno de 2 horas e 45 minutos.

4.2.4. RETRAÇÃO PLÁSTICA

O ensaio de retração plástica demonstrou-se bastante favorável aos concretos produzidos com agregados de RCD. A tabela 35 mostra o valor de retração plástica máxima alcançada pelos concretos.

TABELA 35 – Retração plástica máxima dos concretos produzidos.

Concreto	Retração plástica máxima (mm/m)
CR_brita	0,0575
CRrcd_3,45%	0,0049
Crcd_0%	0,0009
Crcd_5,85%	0,0126

De acordo com a tabela 35, pode-se verificar que o CR_brita atingiu um valor de retração plástica bem superior ao dos concretos produzidos com agregados de RCD. Quando se compara o CR_brita com o CRrcd_3,45%, verifica-se que a retração deste não atinge 10% do valor da retração daquele. Já para o Crcd_0%, verifica-se valores de retração plástica muito baixos, devido ao fato do agregado graúdo utilizado estar isento de partículas finas. O Crcd_5,85% foi o concreto produzido com agregados de RCD que obteve maior valor de retração plástica (0,0126 mm/m), chegando a 22% do valor total da retração plástica do concreto de referência.

A figura 21 mostra a evolução da retração plástica para o intervalo de tempo entre o início de pega e o fim de pega.

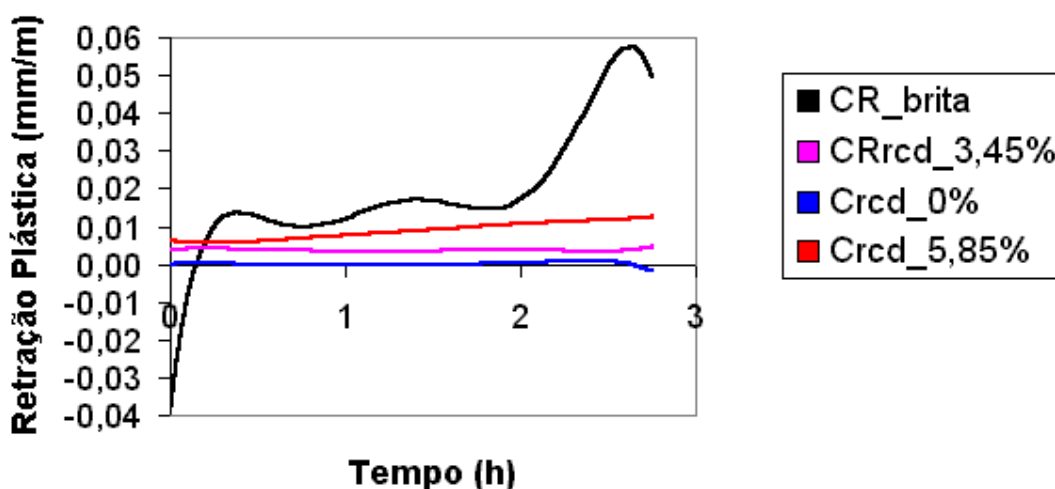


FIGURA 21 – Evolução da retração plástica.

Verifica-se, através da figura 21, a qual é uma figura de linhas de tendências, que a retração plástica não acontece de forma uniforme e crescente, ou seja, há certas variações entre retrações e expansões dos concretos. No entanto, a linha de tendência mostra que, quando se utilizam os agregados de RCD, há uma tendência a aumentar a retração plástica, à medida que se aumenta o teor de finos presentes nos RCD.

Contudo, após o período de retração plástica, ainda se continuou fazendo as leituras de retração dos concretos produzidos. A figura 22 mostra a evolução da retração para as primeiras 14 horas após o início de pega do concreto.

A figura 21 mostra a curva do CR_brita com intervalo de valores negativos que, teoricamente, seria uma certa expansão do concreto. No entanto, isso não deve ser interpretado desta forma, pois se trata de uma acomodação do concreto ao se retirar os moldes metálicos, instantes em que se inicia a pega e começa-se a fazer leituras de retração plástica.

Outra observação é o fato de o CR_brita ter obtido altos valores de retração, quando comparado com os concretos produzidos com agregados de RCD. Isso pode ter ocorrido pelo fato desses possuírem agregados reciclados com maiores taxas de absorção, como é o caso das argamassas, dos materiais cerâmicos e das partículas finas destes resíduos. Esses materiais absorveram, no decorrer do tempo, a água de mistura, não deixando ocorrer elevada exsudação e contribuindo para a diminuição da retração.

O fenômeno da retração plástica para os concretos produzidos com agregados de RCD está relacionado com o fenômeno da exsudação. O Crcd_5,85% que obteve maior exsudação, dentre os concretos produzidos com RCD, foi o concreto que obteve maior retração plástica, ou seja, o concreto com maior teor de

finos obteve maior retração plástica e maior exsudação, assim como o concreto sem a presença de finos (Crcd_0%) obteve a menor retração e a menor exsudação.

Isso pode ser explicado porque as partículas finas dos RCD absorvem, nos primeiros instantes, parte da água que é destinada à absorção dos RCD e, posteriormente, os finos liberam essa água, fazendo com que o concreto também libere essa água, inicialmente, em forma de exsudação e, posteriormente, libera mais água, ocasionando a retração.

4.2.5. EXSUDAÇÃO

A exsudação é uma forma de segregação de uma das fases do concreto, ou seja, a água que é a fase mais leve da mistura, separa-se das outras fases do concreto. Portanto, a água que exsudou, estava em excesso e o concreto não teve potencial de fixação para retê-la.

A tabela 36 apresenta, para os diferentes concretos produzidos, a massa de água exsudada para intervalos de 15 minutos, assim como, a massa de água exsudada acumulada até que a água da mistura não mais exsudasse.

TABELA 36 – Massa de água perdida por exsudação, para cada intervalo de coleta e, massa de água exsudada acumulada, em gramas.

Tempo (min)	CR_brita		CRrcd_3,45%		Crcd_0%		Crcd_5,85%	
	Exs. (g)	Exs. Acum.	Exs. (g)	Exs. Acum.	Exs. (g)	Exs. Acum.	Exs. (g)	Exs. Acum.
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	3,7	3,7	3,3	3,3	2,8	2,8	9,1	9,1
30	6,7	10,4	4,3	7,6	4,0	6,8	9,2	18,3
45	6,8	17,2	5,3	12,9	3,4	10,2	6,8	25,1
60	4,6	21,8	4,5	17,4	3,0	13,2	3,1	28,2
75	1,5	23,3	2,6	20,0	1,4	14,6	1,3	29,5
90	0,4	23,7	0,9	20,9	1,0	15,6	0,6	30,1
105	0,3	24,0	0,8	21,7	0,5	16,1	0,0	30,1
120	0,2	24,2	0,5	22,2	0,0	16,1	0,0	30,1

A tabela 36 mostra que, o Crcd_0% exsudou apenas 16,1g de água, ou seja, exsudou menos que os demais concretos, isso ocorreu porque esse concreto estava isento de material fino, o qual tem a tendência de reter água e liberá-la logo após, durante o processo de exsudação, de secagem do concreto e hidratação do cimento.

Já, o CR_brita e o CRrcd_3,45% obtiveram valores próximos de água exsudada no final do ensaio. Porém, quando a quantidade de finos nos RCD foi de 5,85%, a exsudação aumentou para 30,1g, provavelmente, pelo fato dos finos aderidos nos RCD reterem parte da água da mistura. Porém, a água é liberada posteriormente, causando maior exsudação que nos demais concretos e, também, maior retração.

Nota-se que o Crcd_0% foi o concreto que obteve slump de 30 mm, ou seja, o menor slump dos concretos produzidos, sendo o concreto que exsudou menor quantidade de água (16,1g). O concreto Crcd_5,85%, que obteve slump de 80 mm, ou seja, o maior slump, foi o concreto que exsudou maior quantidade de

água (30,1g).

Portanto, verifica-se que a água que não foi fixada na mistura favorece o aumento do valor do slump e da exsudação e, desta forma, mostra que há uma relação entre a medida de consistência e a exsudação quando se utiliza materiais iguais, ou seja, quanto maior for o slump da mistura, maior será a exsudação no concreto.

Uma maneira de se avaliar a perda de água por exsudação é verificar a perda de água em massa por unidade de área. A tabela 37 apresenta, para cada concreto produzido, a quantidade de massa exsudada acumulada por unidade de área.

TABELA 37 – Massa de água exsudada acumulada nos intervalos de coleta, em kg/m^2 , para os diferentes concretos.

Quantidade de massa de água exsudada acumulada por área (kg/m^2)				
Tempo (min)	CR_brita	CRrcd_3,45%	Crcd_0%	Crcd_5,85%
0	0	0	0	0
15	0,14	0,12	0,10	0,33
30	0,38	0,28	0,25	0,67
45	0,63	0,47	0,37	0,92
60	0,80	0,63	0,48	1,03
75	0,85	0,73	0,53	1,08
90	0,86	0,76	0,57	1,10
105	0,88	0,79	0,59	1,10
120	0,88	0,81	0,59	1,10

A figura 22 representa, graficamente, a quantidade de massa exsudada por unidade de área, para cada intervalo de coleta de água exsudada, para os concretos produzidos com os diferentes agregados e diferentes teores de finos.

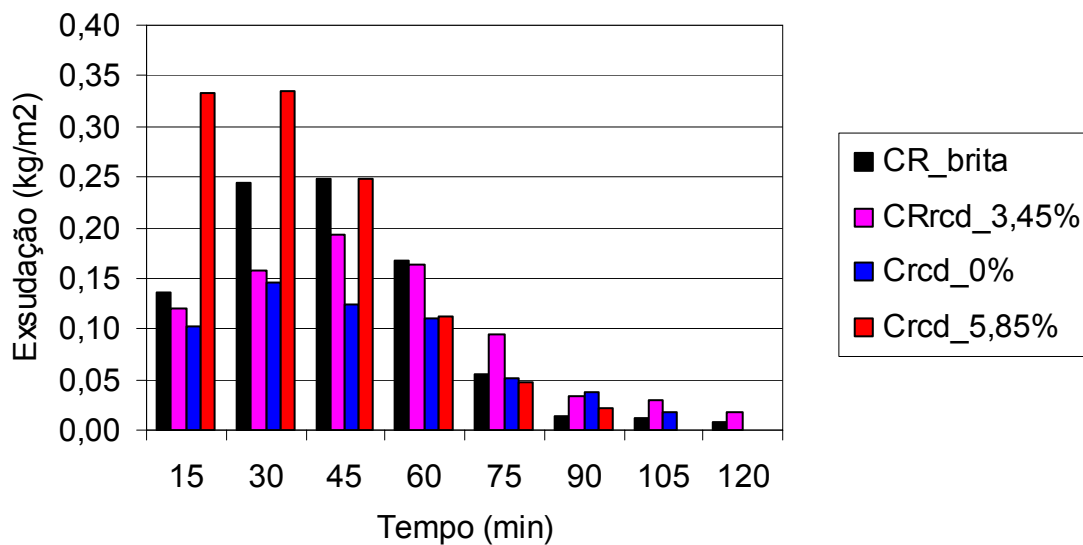


FIGURA 22 – Massa de água exsudada nos intervalos de coleta em kg/m^2 , para os diferentes concretos.

A figura 22 mostra que o CR_brita teve exsudação mais concentrada entre os primeiros 60 minutos, assim como o Crcd_0% e o Crcd_5,85%. Já o CRrcd_3,45%, apesar de ter concentrado sua exsudação nos primeiros 75 minutos, ainda teve exsudação considerável durante os próximos 45 minutos.

A figura 23 representa graficamente a quantidade de água exsudada ao longo do tempo, para cada concreto produzido.

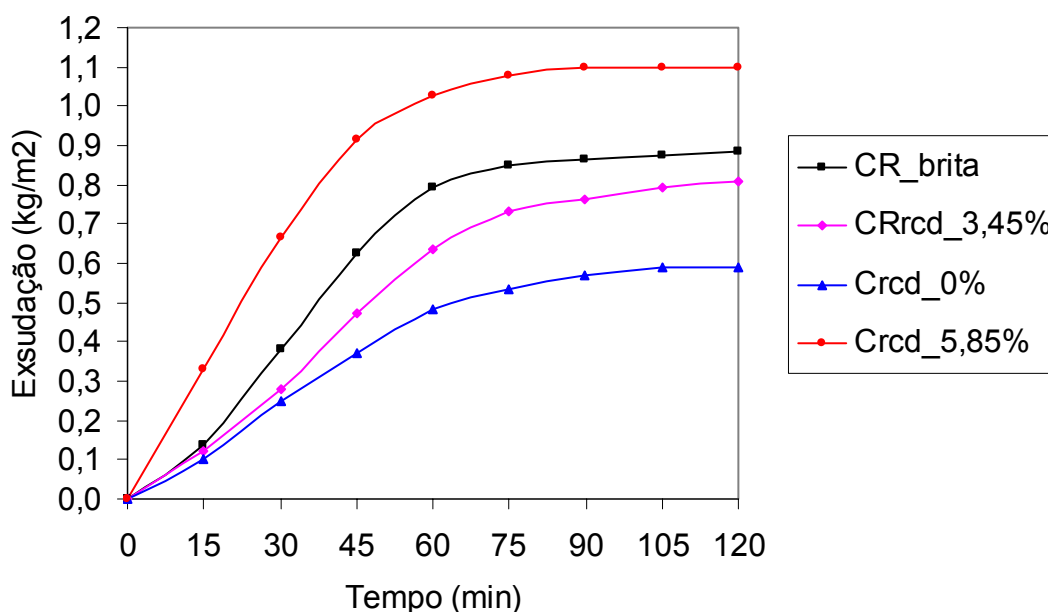


FIGURA 23 – Massa de água exsudada ao longo do tempo, em kg/m^2 , para os diferentes concretos.

A figura 23 mostra, mais claramente, que o concreto com maior teor de finos aderidos nos agregados de RCD, (Crcd_5,85%) exsudou mais do que o concreto produzido com agregados de RCD com 3,45% de finos (CRrcd_3,45%), e este exsudou mais do que o concreto produzido com agregados de RCD sem a presença de finos aderidos na superfície (Crcd_0%).

Verifica-se, portanto, uma relação crescente entre a quantidade de finos presentes nos agregados e o total de água exsudada. Quando o teor de finos foi de 0%, a água exsudada foi de $0,59 \text{ kg/m}^2$, quando o percentual de finos foi de 3,45%, a água exsudada foi de $0,81 \text{ kg/m}^2$ e, quando o teor de finos foi de 5,85%, a água exsudada foi de $1,10 \text{ kg/m}^2$.

4.3. RESULTADOS DOS CONCRETOS NO ESTADO ENDURECIDO

4.3.1. MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

Para o módulo de deformação, encontraram-se valores menores para os concretos produzidos com agregados de RCD em relação aos convencionais, estando em conformidade com a bibliografia consultada.

A tabela 38 apresenta os valores dos ensaios de módulo de deformação para os 7, 28 e 63 dias.

TABELA 38 – Valores dos ensaios de módulo de deformação.

Módulo de Deformação (GPa)			
Concretos	7 dias	28 dias	63 dias
CR_brita	13,0	23,7	26,3
CRrcd_3,45%	7,5	15,8	18,5
Crcd_0%	8,7	18,5	20,9
Crcd_5,85%	9,4	17,2	19,7

De acordo com a tabela 38, verifica-se que os valores de módulo de deformação é estatisticamente insignificante para os diferentes teores de finos presentes nos agregados de RCD.

Entre os concretos produzidos com RCD, para os 28 dias, o Crcd_0% apresentou maior módulo de deformação (18,5 GPa), haja visto que foi o concreto com agregados de RCD que obteve maior resistência à compressão, a qual é uma propriedade diretamente relacionada ao módulo de deformação.

Da mesma forma, o Crcd_5,85% que apresentou resistência à compressão maior que o CRrcd_3,45% obteve módulo de deformação (17,2 GPa) maior que o deste último (15,8 GPa).

A figura 24 representa a evolução do módulo de deformação (GPa) à medida que o tempo evolui.

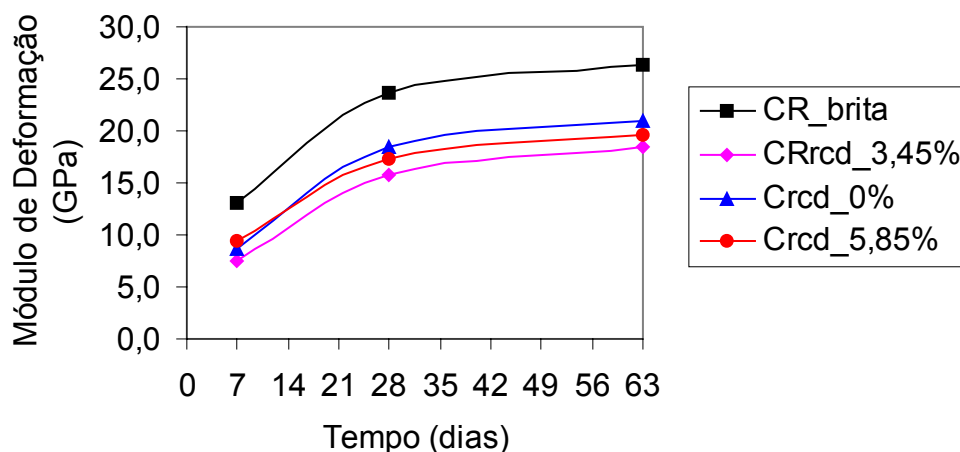


FIGURA 24 – Evolução do módulo de deformação.

A tabela 39 apresenta a redução do módulo de deformação em relação ao CR_brita para os 7, 28 e 63 dias.

TABELA 39 – Redução dos valores de módulo de deformação em relação ao CR_brita para os 7, 28 e 63 dias.

Redução do Módulo de Deformação em relação ao CR_brita (%)			
Concretos	7 dias	28 dias	63 dias
CR_brita	0,0	0,0	0,0
CRrcd_3,45%	42,2	33,0	29,7
Crcd_0%	33,6	21,9	20,5
Crcd_5,85%	28,0	27,2	25,1

De acordo com a tabela 39, verifica-se para o CRrcd_3,45%, que é o concreto produzido com agregados de RCD no estado natural, ou seja, sem a alteração da composição dos finos, um módulo de deformação aos 28 dias de 33,0% menor que o módulo do concreto produzido com agregados convencionais, e vem ao encontro do que foi verificado na bibliografia, ou seja, valores entre 10 a 40%

menores. Já o Crcd_0% foi o concreto que obteve menor redução do módulo de deformação (21,9%), comportando-se, desta forma, como o mais próximo do concreto de referência.

O módulo de deformação não seguiu uma regra geral de que, quanto maior for o teor de finos, maior será o módulo de deformação, mas está de acordo com a resistência à compressão e a resistência à tração, ou seja, essas também são propriedades que estão diretamente relacionadas à porosidade do material, assim como o módulo de deformação.

4.3.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os valores de resistência à compressão simples dos concretos produzidos estão apresentados numericamente e de forma gráfica, para que se possa obter melhor compreensão dos resultados obtidos.

A tabela 40 apresenta os resultados de resistência à compressão simples obtidos para os concretos produzidos.

TABELA 40 – Valores obtidos de resistência à compressão (MPa) ao longo do tempo para os concretos produzidos.

Resistência à Compressão (MPa)			
Concretos	7 dias	28 dias	63 dias
CR_brita	33,9	46,6	51,8
CRrcd_3,45%	22,2	29,8	34,8
Crcd_0%	26,1	34,1	38,6
Crcd_5,85%	26,5	30,9	34,9

A tabela 40 mostra que os valores de resistência à compressão para o CR_brita são superiores aos dos concretos produzidos com agregados de RCD. O Crcd_5,85% apresentou, aos 7 dias, resistência maior que os demais concretos produzidos com RCD, porém, a longo prazo, tanto aos 28 como aos 63 dias, o Crcd_0% apresentou-se mais resistente à compressão.

A figura 25 representa graficamente a tabela 40, mostrando a evolução da resistência à compressão simples para os diferentes concretos produzidos.

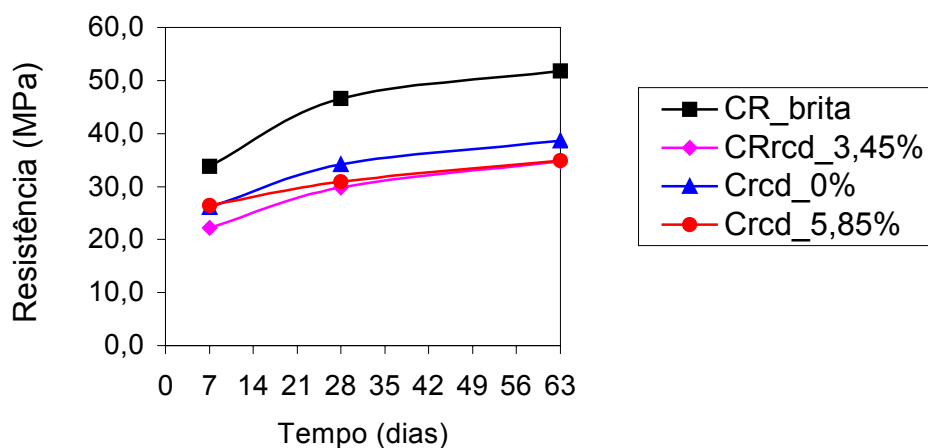


FIGURA 25 – Evolução da resistência à compressão ao longo do tempo para os concretos produzidos.

De acordo com a figura 25, verifica-se com o passar do tempo a perda de resistência do Crcd_5,85% em relação à resistência do Crcd_0% e a do CRrcd_3,45%. A figura também mostra que, a partir dos 7 dias, há uma tendência à convergência dos valores de resistência à compressão entre os CRrcd_3,45% e o Crcd_5,85%, ou seja, quando há a presença de finos no agregado, o seu teor de finos pode interferir nos valores de resistência à compressão nos primeiros dias, se aproximando bastante aos 28 dias e, sendo, praticamente os mesmos nos 63 dias de idade.

Quanto ao Crcd_0%, verifica-se que foi o concreto produzido com RCD que apresentou melhor desempenho, independente da idade. Isso pode ser explicado pela ausência de partículas finas aderidas nos agregados de RCD, possivelmente melhorando a aderência da argamassa com o agregado.

A tabela 41 apresenta o percentual de aumento da resistência à compressão nas idades em que foram rompidos os corpos de prova.

TABELA 41 – Percentual de aumento de resistência à compressão (%) nas diferentes idades de rupturas dos concretos.

Aumento da Resistência à Compressão (%)			
Concretos	7 aos 28 dias	28 aos 63 dias	7 aos 63 dias
CR_brita	37,7	11,0	52,9
CRrcd_3,45%	34,3	16,5	56,5
Crcd_0%	30,7	13,0	47,7
Crcd_5,85%	16,8	12,9	31,9

A tabela 41 mostra que o CR_brita apresentou o maior aumento (%) entre 7 e 28 dias e o menor aumento (%) entre os 28 e 63 dias. No entanto, quando se refere aos concretos produzidos com agregados de RCD, o CRrcd_3,45% apresenta maior ganho de resistência (%), tanto para o primeiro trecho do gráfico como para o segundo. Portanto, verifica-se que dos 7 aos 28 dias o concreto convencional (CR_brita) apresenta um crescimento mais rápido que os concretos produzidos com agregados reciclados e, dos 28 dias aos 63 dias o crescimento dos concreto produzidos com agregados de RCD é, em termos percentuais, maior.

A tabela 42 mostra o percentual de resistência à compressão para as idades em que foram rompidos os corpos de prova, tendo como parâmetro comparativo a resistência à compressão aos 28 dias.

TABELA 42 – Percentual de resistência à compressão em relação à resistência aos 28 dias para os concretos produzidos.

% de Resistência à Compressão em relação à resistência aos 28 dias			
Concretos	7 dias	28 dias	63 dias
CR_brita	72,6	100,0	111,0
CRrcd_3,45%	74,4	100,0	116,5
Crcd_0%	76,5	100,0	113,0
Crcd_5,85%	85,6	100,0	112,9

A tabela 42 evidencia a maior resistência em (%), em relação aos 28 dias, atingida pelo Crcd_5,85% aos 7 dias, essa diferença foi de 13% quando comparado com o CR_brita; e em torno de 10% quando comparada com os CRrcd_3,45% e Crcd_0%. Também se verifica nessa tabela que o CR_brita foi o concreto que obteve menor percentual atingido aos 7 dias (72,6%), em relação aos 28 dias, justificando, desta forma, o maior crescimento entre os 7 e 28 dias e, o menor crescimento entre os 28 e 63 dias, conforme comentado anteriormente. Através da figura 26, tem-se uma melhor visualização do que foi comentado.

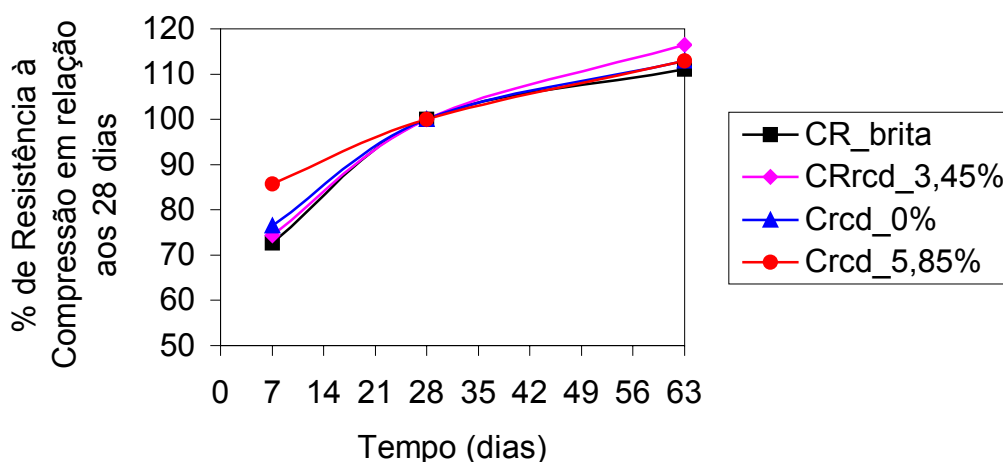


FIGURA 26 – Percentual de resistência à compressão em relação à resistência aos 28 dias para cada concreto produzido.

Uma outra forma de analisar os ensaios de resistência à compressão é verificando o percentual de resistência atingido pelos concretos que foram produzidos com agregados reciclados em relação ao concreto de referência (CR_brita), conforme mostra a tabela 43.

TABELA 43 – Percentual da resistência à compressão em relação à resistência do Concreto de Referência.

% de Resistência à Compressão em relação à % da Resistência do Concreto de Referência			
Concretos	7 dias	28 dias	63 dias
CR_brita	100,0	100,0	100,0
CRrcd_3,45%	65,6	64,0	67,1
Crcd_0%	77,1	73,2	74,5
Crcd_5,85%	78,1	66,2	67,4

A tabela 43 mostra que o melhor desempenho foi atingido pelo Crcd_5,85% aos 7 dias com 78,1% da resistência à compressão do CR_brita e, a partir dos 28 dias, esse desempenho foi melhor para o concreto produzido com agregados de RCD com ausência de finos (Crcd_0%), com 73,2% aos 28 dias e 74,5% aos 63 dias.

A figura 27 representa graficamente a tabela 43.

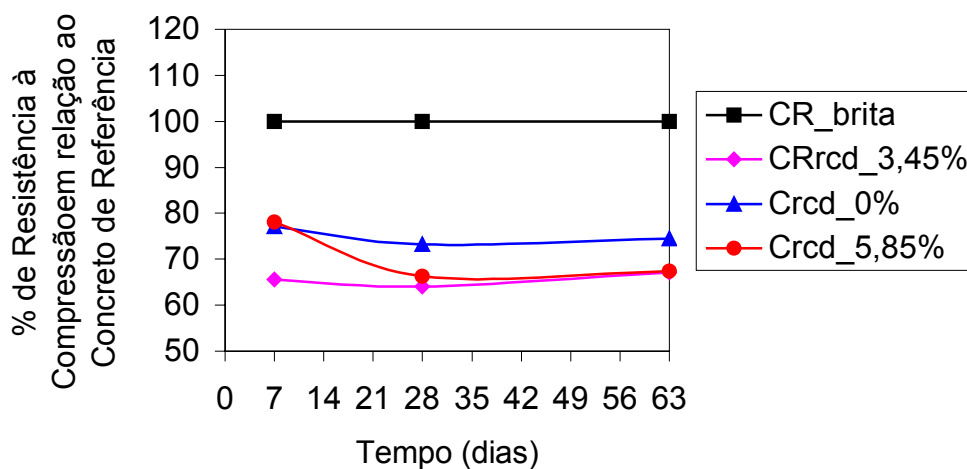


FIGURA 27 – Percentual da resistência à compressão dos concretos produzidos com RCD em relação à resistência à compressão do concreto de referência.

Portanto, verifica-se que os concretos produzidos com agregados de RCD apresentam resistência à compressão, aos 7, 28 e 63 dias, inferior à do concreto produzido com agregado convencional. Quando o RCD está isento de partículas finas, a resistência à compressão aos 28 dias foi de 73,2% da resistência do CR_brita, para o CRrcd_3,45% a resistência à compressão foi de 64% e para o Crcd_5,85% foi de 66,2% do CR_brita.

Quanto aos 63 dias, a resistência à compressão do Crcd_0% foi a que mais se aproximou da resistência à compressão do CR_brita, obtendo 74,5% da resistência à compressão do concreto de referência produzido com agregados convencionais e, em torno de 7% a mais que os concretos produzidos com agregados de RCD com finos.

Porém, as maiores aproximações do CR_brita com o Crcd_0% e com o Crcd_5,85% aconteceram aos 7 dias, atingindo 77,1% e 78,1%, respectivamente.

A figura 27 também mostra que aos 7 dias os finos acarretaram

aumento na resistência à compressão, quando comparado com a resistência aos 28 dias.

4.3.3. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Na tabela 44 estão apresentados os resultados obtidos dos ensaios de resistência à tração dos corpos de prova dos concretos produzidos.

TABELA 44 – Valores obtidos de resistência à tração (MPa) ao longo do tempo para os concretos produzidos.

Resistência à Tração (MPa)			
Concretos	7 dias	28 dias	63 dias
CR_brita	2,0	3,0	4,3
CRrcd_3,45%	1,8	2,1	2,2
Crcd_0%	2,0	2,6	3,0
Crcd_5,85%	2,0	2,7	3,5

Conforme a tabela 44, verifica-se que a resistência à tração aos 7 dias não tem muita interferência em função do tipo de agregado utilizado, porém, nota-se valores menores para o CRrcd_3,45%, o que acontece para todas as idades.

O tipo de agregado utilizado, assim como o teor de finos, passa a ter influência a partir dos 28 dias de idade. O concreto produzido com agregados de RCD sem alteração tem valores de resistência à tração menores que os outros dois concretos produzidos também com agregados reciclados, portanto, o aumento do teor de finos nos agregados de RCD aumentou a resistência à tração em relação ao CRrcd_3,45% e ao Crcd_0%.

A partir dos dados obtidos aos 28 dias, os finos presentes nos agregados do RCD começam a influenciar nos resultados de tração, porém, é aos 63 dias que há as maiores diferenças. Aos 63 dias de idade o CR_brita tem valores de resistência à tração maiores que os demais concretos produzidos com agregados de RCD. Para essa idade, a resistência à tração do CR_brita é 20,9% maior que a resistência à tração do Crcd_5,85%, 43,3% maior que a do Crcd_0% e 95,5% maior que a do CRrcd_3,45%.

A figura 28 representa graficamente a tabela 44, mostrando a evolução da resistência à tração para os diferentes concretos produzidos.

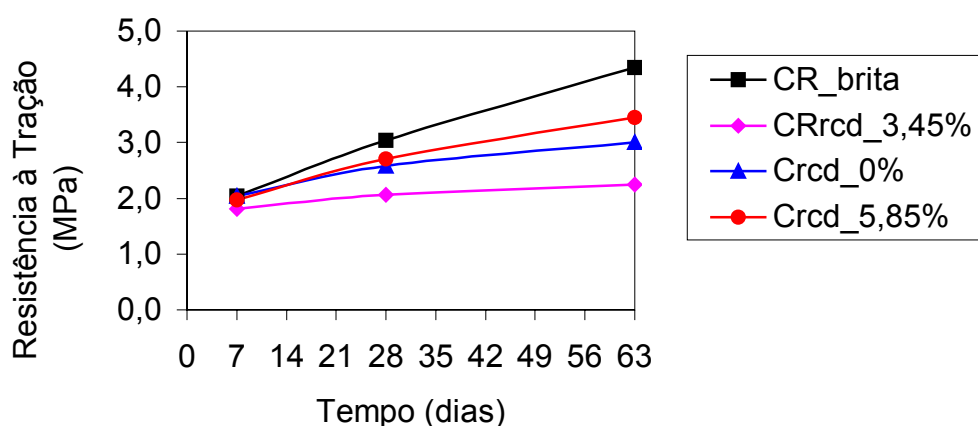


FIGURA 28 – Evolução da resistência à tração ao longo do tempo para os concretos produzidos.

Através da figura 28, verifica-se uma divergência dos valores de resistência à tração dos concretos produzidos a partir dos 7 dias de idade. Entre os concretos que foram produzidos com agregados de RCD, o que contém agregados com maior teor de finos apresentou-se como o concreto com maior resistência à tração aos 28 dias e aos 63 dias, idades em que começa a existir diferença significativa em função do teor de finos presentes nos agregados.

O Crcd_0% apresentou resistência à tração superior ao CRrcd_3,45%. Provavelmente, o teor de finos presentes nos agregados tem influência na resistência à tração dos concretos, porém, quanto menor for o teor de finos, menor será a resistência à tração. Provavelmente isto ocorra até um certo limite, a partir do qual, a diminuição no teor de finos passa a ter efeito oposto, ou seja, aumenta a resistência à tração. Deve existir um concreto produzido com agregados com um determinado teor de finos que tenha comportamento parecido com o concreto produzido com agregados limpos.

A tabela 45 mostra o ganho de resistência à tração (%) dos concretos produzidos entre as idades de leituras.

TABELA 45 – Percentual de aumento de resistência à compressão (%) nas diferentes idades de rupturas dos concretos.

Aumento da Resistência à Tração (%)			
Concretos	7 aos 28 dias	28 aos 63 dias	7 aos 63 dias
CR_brita	49,0	43,2	113,3
CRrcd_3,45%	13,8	8,9	24,0
Crcd_0%	26,5	16,7	47,7
Crcd_5,85%	36,8	27,9	75,0

A tabela 45 mostra que o CR_brita apresentou crescimento de resistência à tração (em %) bastante superior aos concretos produzidos com agregados de RCD. Porém, quanto à análise da interferência do teor de finos nesses concretos, verifica-se que o Crcd_5,85% apresentou-se como o concreto que obteve maior ganho de resistência à tração, em termos percentuais, nos dois trechos do gráfico, conforme mostra a figura 31. Já o CRrcd_3,45% apresentou-se como o que obteve menor ganho de resistência nos dois trechos do gráfico.

A figura 29 apresenta detalhes dos corpos de prova rompidos à tração.



FIGURA 29 – Detalhes dos corpos de prova rompidos à tração.

A figura 29 mostra que a ruptura dos corpos de prova produzidos com agregados convencionais deu-se, na maior parte da superfície de ruptura, na argamassa e, em alguns pontos, nos agregados, os quais são bastante resistentes. Porém, quando se analisa a superfície de ruptura dos concretos produzidos com agregados de RCD, verifica-se a ruptura na argamassa ou nos agregados de RCD, obtendo, desta forma, concretos menos resistentes à tração, visto que os agregados de RCD são menos resistentes que os agregados de basalto.

Uma outra área de ruptura dos concretos produzidos é a zona de transição. A presença de finos nos agregados de RCD não é o único fator responsável pela ruptura à tração dos concretos nessa zona de transição, já que houve ruptura na zona de transição, tanto para os concretos produzidos com agregados limpos, como para os produzidos com finos presentes. No entanto, o teor de finos pode influenciar, já que nos concretos nos quais havia a presença dos finos de RCD houve uma maior região que sofreu rupturas na zona de transição.

A tabela 46 mostra o percentual de resistência à tração para as idades em que foram rompidos os corpos de prova, tendo como parâmetro

comparativo, a resistência à tração aos 28 dias.

TABELA 46 – Percentual de resistência à tração em relação à resistência aos 28 dias para os concretos produzidos.

% de Resistência à Tração em relação aos 28 dias			
Concretos	7 dias	28 dias	63 dias
CR_brita	67,1	100,0	143,2
CRrcd_3,45%	87,9	100,0	108,9
Crcd_0%	79,0	100,0	116,7
Crcd_5,85%	73,1	100,0	127,9

De acordo com a tabela 46, verifica-se que os concretos produzidos com agregados de RCD obtiveram, aos 7 dias, em termos percentuais, resistências à tração mais próximas das atingidas aos 28 dias, justificando, desta forma, menores ganhos de resistência à tração no período entre 7 e 28 dias. O Crcd_5,85% apresentou-se como o concreto com RCD que atingiu menor percentual da resistência à tração aos 28 dias. Porém, ao chegar aos 63 dias apresentou-se como o que obteve maior aumento de resistência à tração, provavelmente, pelo comportamento dos finos como filler, que favorece a resistência à tração e que ocorre em períodos mais tardios.

A figura 30 representa graficamente a tabela 46, permitindo melhor visualização do que foi comentado.

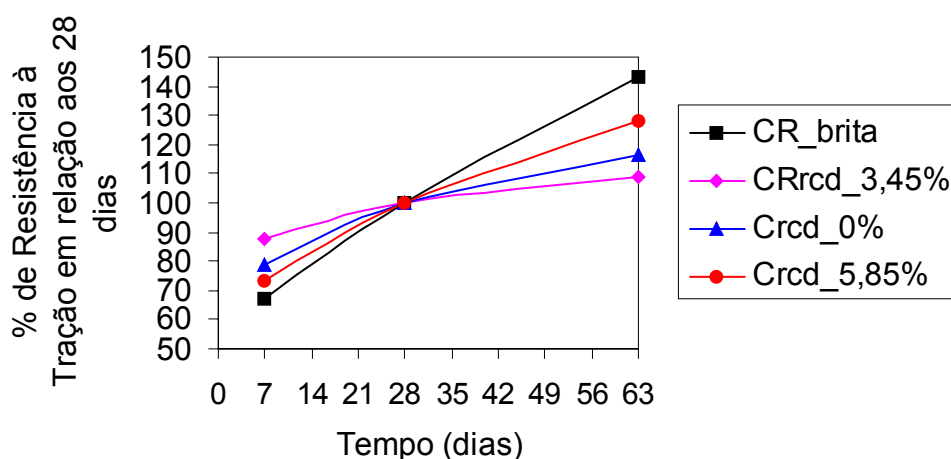


FIGURA 30 – Percentual de resistência à tração em relação à resistência aos 28 dias para cada concreto produzido.

A tabela 47 apresenta os valores de resistência à tração (em %) atingidos pelos concretos que foram produzidos com agregados reciclados em relação ao concreto de referência (CR_brita).

TABELA 47 – Percentual da resistência à compressão em relação à resistência do Concreto de Referência.

% de Resistência à Tração em relação ao Concreto de Referência			
Concretos	7 dias	28 dias	63 dias
CR_brita	100,0	100,0	100,0
CRrcd_3,45%	88,8	67,8	51,6
Crcd_0%	100,0	84,9	69,2
Crcd_5,85%	96,9	89,0	79,5

A tabela 47 mostra em termos percentuais que, aos 7 dias, o concreto Crcd_0% apresentou resistência à tração igual à do CR_brita; já o Crcd_5,85% apresentou resistência à tração (96,9%) muito próxima à do concreto convencional e o CRrcd_3,45% apresentou 88,8% da resistência à tração do

CR_brita. No entanto, os dados começam a divergir a partir dos 28 dias e as diferenças aumentam com a evolução do tempo.

A figura 31 representa graficamente a tabela 47 e permite uma melhor visualização do comportamento desses concretos, quanto à resistência à tração.

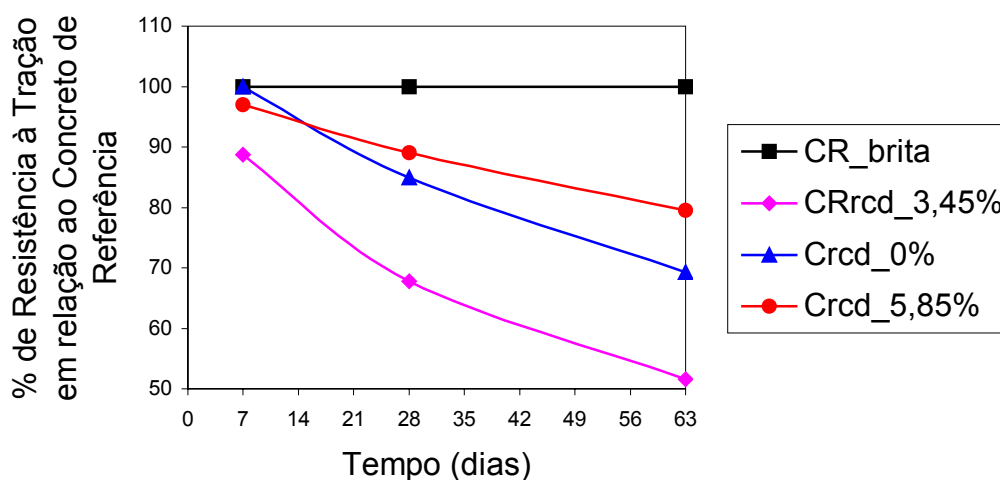


FIGURA 31 – Percentual da resistência à tração dos concretos produzidos com RCD em relação à resistência à tração do concreto de referência.

Para o ensaio de tração, verifica-se que o Crzd_5,85% apresentou comportamento melhor que os demais concretos produzidos com agregados de RCD; já o Crzd_0% apresentou comportamento, quanto à resistência à tração, intermediário entre os concretos com 3,45% e 5,85% de teor de finos presentes, podendo, desta forma, acreditar que deve existir um teor de finos entre 3,45% e 5,85% presentes em agregados, e que concretos produzidos com estes agregados apresentam comportamento mais parecido com o Crzd_0%.

No entanto, verifica-se que aos 28 dias o concreto com melhor resistência à tração apresentou 89% da resistência à tração do concreto convencional e, aos 63 dias, apenas 79,5%. Portanto, verifica-se aos 28 dias uma

redução de 10 a 35% aproximadamente e, aos 63, dias de 20 a 50% de redução.

A tabela 48 apresenta a relação entre a resistência à tração e a resistência à compressão para os concretos produzidos.

TABELA 48 – Relação entre a resistência à tração e a resistência à compressão.

Relação entre a Resistência à Tração e a Resistência à Compressão (%)			
Concretos	7 dias	28 dias	63 dias
CR_brita	6,0	6,5	8,4
CRrcd_3,45%	8,1	6,9	6,5
Crcd_0%	7,8	7,6	7,8
Crcd_5,85%	7,5	8,8	9,9

Verifica-se através da tabela 48 que houve, apenas para os concretos CR_brita e para o Crcd_5,85%, um ganho significativo nesta relação. Para o Crcd_0%, praticamente manteve-se com o mesmo intervalo de valores, já o CRrcd_3,45% obteve redução desta relação, o que pode ser atribuído ao menor crescimento da resistência à tração e ao maior ganho de resistência à compressão ao longo do tempo, em relação aos demais concretos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Responsável pela maior geração de resíduos sólidos urbanos, a construção civil também é a indústria que mais extraí recursos naturais. A reciclagem dos resíduos de construção e demolição tem se tornando essencial para se atingir a sustentabilidade do setor da construção civil. Nesse contexto as usinas de reciclagem aparecem como alternativa viável para a gestão dos resíduos gerados em construções, reformas e demolições.

A intenção de disposição de aprimorar-se é válida e as nações que sabem investir em novas tecnologias candidatam-se ao desenvolvimento, porém, toda nova tecnologia está passível a adaptações e correções, e na construção civil isso não é diferente.

Existe, ainda, uma idéia na cultura brasileira de que o entulho é tido como sinônimo de material sem valor. Porém algumas administrações municipais já atentaram para o problema que o entulho causa ao meio ambiente e vêm fazendo uso das instalações de usinas de reciclagem. No entanto, a maioria das administrações públicas ainda não se atentou para esse fato.

Tal descaso dos governantes é fácil de ser percebido quando se observa que até o setor privado já faz uso das usinas de reciclagem de entulho como um negócio rentável.

Portanto, o grande desafio para esse começo de século continua sendo, para a construção civil, o de atingir o seu desenvolvimento sustentável. Para isso cabe ao governo dar incentivo à reciclagem dos RCD de forma a reduzir o impacto ambiental, preservar os recursos naturais e economizar energia.

Diante da necessidade de se fazer uso da reciclagem dos RCD e de

aperfeiçoamento dessa nova técnica, procurou-se verificar a influência que os finos gerados no processo de britagem dos RCD causam no desempenho de concretos produzidos com RCD.

Observou-se, para os agregados de RCD utilizados nessa pesquisa uma composição mineralógica média, em massa, de 39,1% de argamassa, 32,9% de concreto, 18,4 % de pedras, 8,7% de cerâmicas e 0,8% de outros constituintes, indo ao encontro das constituições feitas por outros estudos realizados em outras regiões.

Os agregados de RCD naturais (3,45% de finos) obtiveram taxas de absorção de 4,15% para os primeiros 15 minutos, 4,95% para as 2 horas e 5,29% para as primeiras 24 horas. Portanto, verificou-se que a absorção maior (78,5%) ocorre nos primeiros 15 minutos e 93,6% da absorção de 24 horas ocorre nas 2 primeiras horas. Os RCD com 0% de finos e com 5,85% apresentaram valores de absorção diferentes, porém, próximos.

Quanto à consistência, o ensaio mostrou que existe uma tendência ao aumento na fluidez dos concretos em função do aumento do teor de finos presentes nos agregados de RCD, ou seja, à medida que se aumentou o teor de finos, aumentou-se o abatimento, o que pode ter ocorrido, provavelmente, porque concretos com maior teor de finos presentes têm maior facilidade de reter água, deixando a mistura mais fluida.

O tempo de início e fim de pega da argamassa dos concretos foi praticamente o mesmo para todos os concretos produzidos, indiferente do tipo de agregados e do teor de finos presentes nos agregados de RCD. Esse tempo foi em média de 2 horas e 45 minutos.

O teor de finos também foi determinante nos resultados de retração

plástica, sendo que, quanto maior o teor de finos, maior foi a retração plástica nos concretos produzidos com agregados de RCD, porém, a retração plástica dos concretos produzidos com agregados de RCD foi bem inferior à retração máxima atingida pelo concreto produzido com agregados convencionais. Para o CR_rcd_3,45%, a retração máxima foi de 8,6% da retração máxima do CR_{brita}, para o Cr_{cd}_0% foi de 1,6% e para o Cr_{cd}_5,85 foi de 21,9%.

A consistência pode estar relacionada com a retração plástica, uma vez que concretos mais plásticos tendem a liberar maiores quantidades de água, levando o concreto a uma maior retração plástica. Isso pode ter ocorrido em consequência do teor de finos presentes nos agregados de RCD que retiveram parte da água da mistura, tornando a mistura mais plástica e, ao liberar essa água, posteriormente, ocasionando a retração plástica.

Da mesma maneira, o aumento do teor de finos presentes nos agregados de RCD determinou maior exsudação nos concretos produzidos com agregados de RCD. O CR_{brita} exsudou 0,88 kg/m², o CR_rcd_3,45% exsudou 0,81 kg/m², o Cr_{cd}_0% exsudou 0,59 kg/m² e o Cr_{cd}_5,85% exsudou 1,10 kg/m².

Verifica-se, portanto, uma relação entre os valores dos ensaios de consistência, retração plástica e exsudação, pois todos esses ensaios apresentaram interferência do teor de finos presentes nos agregados. Provavelmente, o concreto que contém maior teor de finos nos agregados de RCD tem a tendência, de acordo com os resultados obtidos, a ter um maior abatimento, ou seja, uma mistura mais fluida devido aos finos que retêm parte da água de absorção ou de amassamento. Parte dessa água retida é liberada na exsudação, fazendo que esta seja maior nesses concretos; e uma outra parte da água é liberada posteriormente, quando a mistura já tem uma certa rigidez, levando a uma maior retração plástica.

Concretos produzidos com agregados de RCD limpos, ou seja, sem a presença de finos na superfície, apresentaram menores valores de slump, provavelmente, porque estavam isentos de partículas finas e pelo maior potencial de retenção de água. Desta forma, apresentaram menores exsudações e, portanto menores valores de retração plástica.

A mistura que não tem potencial de fixação de água tende a exsudar e o fato de o CR_brita e o CRrcd_3,45% obterem valores de slump, assim como, de exsudação bastante próximos, leva a acreditar que essas duas propriedades estão intimamente relacionadas, indiferente do tipo de agregado utilizado.

Para a retração plástica, o tipo de agregado interferiu bastante, uma vez que agregados reciclados absorvem, comparativamente, altas quantidades de água em tempos relativamente curtos.

Os concretos produzidos com agregados naturais apresentaram altos valores de retração plástica, quando comparados com os concretos produzidos com agregados reciclados. Provavelmente, isso ocorreu porque os RCD apresentaram maiores taxas de absorção. Esses materiais absorvem no decorrer do tempo a água da mistura, não deixando ocorrer elevada exsudação e contribuindo para a diminuição da retração.

Observou-se, para o módulo de deformação, valores entre 20% e 42,2% inferiores ao concreto de referência. As maiores reduções acontecem nas primeiras idades, quando o concreto vai atingindo maiores idades essas diferenças tendem a diminuir percentualmente.

Quanto aos concretos produzidos com agregados de RCD, de um modo geral, o Crcd_0% obteve o maior módulo de deformação. Aos 28 dias, o módulo de deformação do Crcd_0% foi 16,7% maior que o CRrcd_3,45% e 7,3%

maior que o Crcd_5,85%. Para os 63 dias, esse percentual foi de 13,0% e 6,1%, respectivamente.

Foi verificado que, quanto maior a resistência à compressão, maior é o módulo de deformação, ou seja, os concretos seguiram as curvas de resistência à compressão, inclusive para os 7 dias, período em que a resistência à compressão do CRrcd_5,85% foi maior que a resistência à compressão do Crcd_0%.

Para concretos produzidos com agregados de RCD, verificou-se redução de 20% a 35% em relação à resistência à compressão do CR_brita.

Verificou-se que a idade pouco interfere, ao comparar o percentual de redução de resistência à compressão dos concretos com agregados de RCD, em relação ao concreto convencional. Para o CRrcd_3,45%, a redução foi em torno de 35%, para o Crcd_0%, foi em torno de 25% e para o Crcd_5,85%, foi de em torno de 33%. Este último, com exceção aos 7 dias, apresentou melhor comportamento, ou seja, 21,9% de redução na resistência à compressão.

Conclui-se, portanto, que a resistência à compressão de concretos produzidos com agregados de RCD limpos é maior para as idades mais avançadas, como 28 e 63 dias, sendo aos 7 dias, praticamente a mesma que o Crcd_5,85%.

Para as idades de 28 e 63 dias o teor de finos presentes nos agregados determinou-se pequenas variações percentuais de resistência à compressão, porém, não muito significativas quando comparadas às do concreto produzido com agregado convencional ou às do concreto produzido com agregados sem a presença de finos; este último obteve resistência à compressão em torno de 7% maior que os outros concretos produzidos com agregados de RCD.

Na resistência à tração, praticamente não houve diferenças nos valores obtidos aos 7 dias. O que houve foi uma tendência aos dados divergirem a

partir dessa idade, sendo que as maiores resistências à tração foram alcançadas pelo Crcd_5,85%.

A relação entre a resistência à tração e a resistência à compressão foi entre 6% e 10%. O Crcd_5,85% apresentou as maiores relações. Na maioria dos casos as relações aumentaram com a evolução do tempo.

Portanto, de uma forma geral, o teor de finos influenciou nos resultados de tração, no entanto, de forma conjunta com a zona de transição.

A ruptura dos corpos de prova do CR_brita deu-se, na maior parte dos casos, na argamassa e na zona de transição. Já para os concretos produzidos com agregados de RCD, a ruptura aconteceu, na maior parte dos casos, nos agregados e na zona de transição e, por vezes, na argamassa, podendo, desta forma, concluir que, dependendo do traço utilizado para a produção do concreto com agregados de RCD, a parte mais frágil do concreto é o agregado.

Ainda quanto à resistência à tração, os finos presentes nos agregados de RCD têm dupla função. Primeiramente, eles contribuem para o aumento da resistência à compressão, através do aumento no fator de empacotamento, ou seja, o efeito de preenchimento dos vazios, o chamado efeito *Filler* e, conseqüentemente, aumentando a resistência à tração; posteriormente, o aumento no teor de finos faz com que a zona de transição se torne mais frágil, contribuindo para a diminuição da resistência à tração. Portanto, um estudo mais aprofundado entre os finos e a zona de transição traria conclusões mais precisas sobre o funcionamento desse mecanismo.

Por conseguinte, conclui-se que os finos presentes nos agregados de RCD interferem no desempenho dos concretos produzidos com agregados recicláveis. Tal interferência é por hora favorável e, por hora, desfavorável. No

entanto a utilização dos agregados de RCD, como alternativa para a reciclagem dos resíduos da construção civil, ainda é a melhor maneira de fechar o ciclo de vida desses materiais, e uma forma de se fazer valer o conceito de desenvolvimento sustentável dentro da cadeia da construção civil.

Mesmo após tantos estudos sobre a influência da reciclagem de resíduos na saúde das pessoas, na preservação do meio ambiente e no desenvolvimento tecnológico e apesar da alta relevância do assunto, o governo persiste na acomodação e permanece estático, sem aplicar novas alternativas no sentido resolver a questão.

A verdade é que o processo que deveria compor um ciclo, acaba não fechando, causando a instabilidade ambiental e prejuízos inimagináveis aos seres humanos. Os órgãos de fomento investem em pesquisas e na estrutura necessária para as universidades realizarem tais pesquisas. As universidades, por sua vez, procuram fazer a parte que lhes cabe, apresentando resultados e sugestões do que deve ser feito, sem, no entanto, obterem alguma garantia de que as proposições serão efetivamente inseridas na sociedade.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar um estudo de viabilidade técnico-econômica do uso de RCD;
- Realizar um estudo de método de dosagem para concretos produzidos com RCD;
- Estudo de concretos produzidos com RCD com teores de finos,

diferentes dos abordados nessa pesquisa;

- Estudo aprofundado de como é o mecanismo entre os finos e a zona de transição;

- Estudo de diferentes dosagens do concreto, considerando o percentual de finos presentes;

- Análise do comportamento desses concretos, quanto aos aspectos hídricos de permeabilidade e absorção capilar;

- Avaliar a fluência para os concretos produzidos neste estudo;

- Análise por microscopia dos finos.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738** – Moldagem e cura de corpos de prova de concretos cilíndricos ou prismáticos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 5739** – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 7211** – Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7216** – Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7217** – Amostragem de Agregados – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7219** – Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos – Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7222** – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7223** – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7251** – Agregados. Determinação da massa unitária – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 7809** – Agregado graúdo. Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8522** – Concreto – Determinação do módulo de deformação estático e diagrama tensão deformação. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 9776** – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9937** – Agregados – Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9941** – Redução de amostras de campo de agregados para ensaios de laboratório – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9833** – Concreto – Determinação da massa específica e teor de ar pelo método gravimétrico – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 10007** – Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro, 1987.

ABOU-ZEID, M. N.; FAKHRY, M.M. Short-Term Impact of High-Aggregate Fines content on Concrete Incorporating Water-Reducing Admixtures. **ACI Materials and Journal**. Title n°. 100-M33, p. 280-285, July-August 2003.

AÏTCIN, P. C. L'emploi des fluidifiants dans les béton à hautes performances. In: Les bétons à hautes performances; caractérisation, durabilité, applications. Paris: Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 1992. Cap. 2, p. 45-59.

AÏTCIN, P. C. P.; NEVILLE, A. M.; ACKER, P. Integrated view of shrinkage deformation. *Concrete International*, v. 19, n. 9, p. 35-41, september, 1997.

AMERICAN SOCIETY for TESTING and MATERIALS. **Standard Test Method for Bleeding of Concrete**. ASTM C-232. In:_. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1993.

ANDRADE, L. B. **Metodologia de Avaliação para Uso de Cinzas Pesadas de Termelétricas como Agregado Natural para Concreto**. Florianópolis, 2004. 245p. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados**. São Paulo, 2000. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ALTHEMAN, D. **Avaliação da Durabilidade de Concretos Confeccionados com Entulho de Construção Civil**. Campinas, 2002. Relatório final das atividades de iniciação científica, apresentado ao Fundo de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas.

BASTOS, P. K. X. et al. **Retração e Desenvolvimento de Propriedades Mecânicas em Argamassas de Revestimento**. In: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 57-70, abr./jun. 2002.

BAIRAGI, N. K. et al. Behaviour of Concrete with Different Proportions of Natural and Recycled Aggregates. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 9, p. 109 –126, 1993.

BAZUCO, R. S. **Utilização de Agregados Reciclados de Concreto para Produção de Novos Concretos**. Florianópolis, 2004. 112p. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

BERGSTROM, S. G. **Conclusions from the Symposium on Concrete at Early Ages**. RILEM Bulletin, Paris, apr. 1982.

BIOCYCLE. **Opportunities for Recycled C & D debris**. v. 31, n. 7, jul. p. 56-58, 1990.

BROWN, T. et al. Performance of Concrete Made with Commercially Product Coarse Recycled Concrete Aggregate. **Cement and Concrete Research**, ed. 31, p. 707-712, Australia, 2001.

COHEN, M. D.; OLEK, J.; DOLCH, W. L. Mechanism of plastic shrinkage cracking in Portland cement and Portland cement silica-fume paste and mortar. **Cement and concrete research**. V. 20, pp. 103-19, 1990.

CONCRETE. Concrete recycled. **Crushed Concrete as Aggregate**. London, v. 27, n. 3, p. 12-13, ago. 1993.

CANÊDO, V. S. et al. Concreto Fabricado com Agregado Miúdo Proveniente da Reciclagem de Entulho de Concreto. **43º Congresso Brasileiro do Concreto**. Foz do Iguaçu, 2001.

CONSTRUÇÃO. **Do caos à solução**. São Paulo: Cine. n. 2505, p. 4-7, fev.1996.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão**. 3. ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997. 3v. v.1. 401p.

FONSECA SILVA, E.; RIBAS SILVA, M.; OLIVEIRA, M. O. **Influência da Lavagem dos Agregados na Qualidade de Concretos de Alto Desempenho**. Florianópolis. ENTAC, 1998.

HANSEN, T. C. **Recycling of Demolished Concrete and Masonry**. RILEM Report 6. Ed Chapman & Hall, London, 1992. 326p.

JOHN, V. M. J. **Panorama Sobre Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. In: Seminário desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil, 2., São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, Ibracon, 1999. p.44-55.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil – Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

KELLY, K., WILLIAMS, P. Snig Waste into Gold Construction. **ENR – Engineering News – Record**, v. 234, n. 16, p. E.32-E34, E.37, 1995.

KRONLOF, A.; LEIVO, M.; SIPARI, P. Experimental Study on the Basic Phenomena of Shrinkage and Cracking of Fresh Mortar. **Cement and Concrete Research**, V. 25, 1995. p. 1747-1754

LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Porto Alegre. UFRS.

LEVY, S. M. **Reciclagem do Entulho de Construção Civil, para Utilização como Agregado de Argamassa e Concretos**. São Paulo, 1997. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PCC/USP.

LEVY, S. M. **Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos, Produzidos com Resíduos de Concreto e Alvenaria**. São Paulo, 2001. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PCC.USP.

LIDDLE, B. T. Construction for sustainability and the sustainability of the construction industry. In: **CIB TG 16 Sustainable Construction**. Proceedings. Tampa, Florida, nov. 6-9, p. 47-56, 1994.

MACHADO JR. E. F.; LATTERZA, L.M.; MENDES, C. L. Influência do Agregado Graúdo, Proveniente da Reciclagem de Rejeitos de Construção e Demolição (entulho), na Perda do Abatimento do Concreto Fresco e nas Propriedades Mecânicas do Concreto Endurecido. **Anais da Reunião do IBRACON**, Rio de Janeiro, 1998.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. PINI, 1ª edição, São Paulo, 1994.

MIRANDA, L. F. R. **Estudo de Fatores que Influenciam na Fissuração de Revestimentos de Argamassa com Entulho Reciclado**. São Paulo, 2000. 172p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PCC/USP.

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. 4ª ed. London: Longman, 1995. 844p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2ª edição. São Paulo, PINI 1997. 828p.

PERA, J. State of the art report – Use of Waste Materials in Construction in Western Europe. In: **Seminário sobre Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção**, 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: PCC – USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. p. 1-20, 1996.

PINTO, T. P. **Utilização de Resíduos de Construção – Estudo do Uso em Argamassas**. São Carlos, 1986. 189p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura e Planejamento, Universidade de São Paulo.

PINTO, T. P. **Resultados da gestão diferenciada**. *Téchne*, v.5, n.31, p.31-34, nov./dez., 1997.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. São Carlos, 1999. 189p. Tese(Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

RAVINA, D. Early Longitudinal Dimensional Changes of Fresh Fly Ash Mortar Exposed to Drying Conditions. **Cement and Concrete Research**. v. 16, 1986, p. 902-910.

RAVINA, D. Properties of Fresh Concrete Incorporating a High Volume of Fly Ash as Partial Fine Sand Replacement. **Materials and Structures**. v. 30, oct. 1997, p. 473-479.

RILEM - Réunion Internationale des Laboratoires d'essais et de rechercher Matériaux et les Construction. RILEM - TC RECOMENDATION 121-DRG.

GUIDANCE FOR DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY
RILEM RECOMMENDATION Specifications for Concrete with Recycled Aggregates.
Revista Materials and Structures, V.27, 1994. p.557-559.

SAEED, A. et al. **Production and Use of By-Product Fines in the USA**. Section 3,
International Center for Aggregates Research, the University of Texas at Austin,
1997, p.1-10.

SELMO, S.M.S. **Revestimentos de Argamassas de Paredes e Tetos de Edifícios:
Projeto, Execução e Manutenção**. São Paulo, ABCP, 1996 (Apostilas e Anexos de
laboratórios do Curso Intensivo de Argamassas de Assentamento e Revestimento –
CIARE).

SJÖNSTRÖM, C. **Durability and Sustainable Use of Building Materials**. In:
LLEWELLYN, J. W.; DAVIES, H. (Ed.) Sustainable use of materials. London:
BRE/RILEM, 1992.

TAKIZAKI, M. et al. Strength and Elastic Modulus of Recycled Aggregate Concrete.
**In: International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and
Masonry**. 2^o Reuse of Demolition Waste v.2 – Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan
1988. proceedings. Y. Kassai – London, Chapman & Hall nov.-1988 p. 557-564.

TAVAKOLI, M.; SOROUSHIAN, P. Strengths of Recycled Aggregate Concrete Made
Using Field-Demolished Concrete as Aggregate. **ACI Materials Journal**, v. 93, n. 2,
1996, p. 182-190.

TOPÇU, I. B.; ELGÜN, V. B. Influence of Concrete Properties on Bleeding and
Evaporation. **Cement and Concrete Research**. Article in Press. Uncorrected Proof.
2003.

UNESCO (1992) – **AGENDA 21** – Conferência das Nações Unidas sobre Meio
Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, 1992 (re-edição IPARDES-PR)

WITTMAN, F. H. On the action of Capillary Pressure in Fresh Concrete. **Cement and
Concrete Research**, v.6, n.1, p.49-56, jan.,1976.

ZORDAN, S. E. **A Utilização do Entulho como Agregado, na Confecção do
Concreto**. Campinas, 1997. 140p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de
Engenharia Civil, UNICAMP.

YANNAS, F. S.; Waste Concrete as Aggregate for New Concrete. **ACI Journal**.
1977. p. 373-376.