



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

NATHALIE LUNDGREN DE QUEIROGA CAVALCANTI

**AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE
CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADOS GRAÚDOS
RECICLADOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Recife, PE
2014



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

NATHALIE LUNDGREN DE QUEIROGA CAVALCANTI

**AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE
CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADOS GRAÚDOS
RECICLADOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Pesquisa apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadores:

Prof.^aDr.^a. Stela Fucale Sukar

Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva

Recife, PE
2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco – Recife

C376a Cavalcanti, Nathalie Lundgren de Q.
Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com agregados reciclado da construção civil / Nathalie Lundgren de Q. Cavalcanti – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2014.
108 f.

Orientador: Dra. Stela Fucale Sukar
Co-Orientador: Dr. Angelo Just da Costa e Silva
Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2014.

1. Concreto 2. Agregado reciclado 3. Resíduo da construção civil I. Engenharia Civil - Dissertação II. Sukar, Stela Fucale (orient.) III. Costa e Silva, Angelo Just da IV. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. V. Título.


CDD 690.0286

NATHALIE LUNDGREN DE QUEIROGA CAVALCANTI

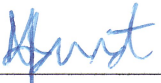
**AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE
CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADOS GRAÚDOS
RECICLADOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

BANCA EXAMINADORA:

Orientadores:

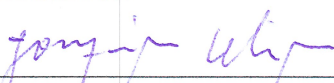


Prof.^a Dr.^a Stela Fucale Sukar
Universidade de Pernambuco

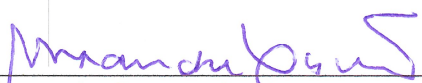


Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva
Universidade de Pernambuco

Examinadores:



Prof. Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira
Universidade Católica de Pernambuco



Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Universidade de Pernambuco

Recife, PE
2014

DEDICATÓRIA

Ao meu marido Fábio, que me apoiou, confiou em meu potencial, compreendeu a importância deste estudo e a quem muito amo.

A minha mãe Elisabeth, que me transmitiu valores e educação na busca diária do correto e justo e por seu constante exemplo de mulher guerreira e batalhadora.

Ao meu pai Luiz Antônio, pelo carinho constante e gestos consoladores.

Aos meus irmãos, Nicole e Eric que dividem comigo mais do que laços de sangue.

A Zelda, fiel companheira, que sempre demonstra seu amor incondicional da forma mais entusiasmada.

AGRADECIMENTOS

A Prof^ª. Dr^ª. Stela Fucale, a quem passei a admirar ainda mais pelo seu trabalho como professora e orientadora. Pela incrível oportunidade de aprendizado que me foi dada e pela amizade, compreensão, atenção e voto de confiança transmitidos.

Ao Prof. Dr. Ângelo Just, pela colaboração e orientação nas dosagens de concreto e por viabilizar a realização dos ensaios mecânicos de concreto na TECOMAT – Tecnologia da Construção e Materiais.

A Fábio Ferreira pela grande ajuda e paciência nos ensaios laboratoriais.

À meus pais, Elisabeth e Luiz Antônio, e a meus irmãos, que sempre acreditaram em meu potencial e me apoiaram incondicionalmente.

A Fábio Correia, pelo estímulo e apoio constantes.

À aluna de graduação Amanda Peixoto, pelo acompanhamento em diversas fases da pesquisa. Ajudas sem os quais, não haveria finalizado da melhor maneira esta pesquisa.

Aos funcionários da TECOMAT pelo auxílio nos procedimentos realizados no local.

A Dona Lúcia, por todo o suporte ao longo da realização do mestrado.

Aos funcionários da Ciclo Ambiental, pela ajuda no momento de coleta, pelas informações passadas e pela disponibilidade em atender prontamente.

Aos órgãos de fomento à pesquisa, CNPQ, pela bolsa financiada.

À aluna de graduação Emília Barros, pela grande ajuda quanto à pesquisa e pela gentileza por permitir acompanhar o processo ao repassar as informações.

A Manuela Matos, pelo estímulo diário e por acreditar em mim.

A meus amigos que sempre me apoiaram e à todos que contribuíram de forma direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa.

CAVALCANTI, Nathalie Lundgren de Queiroga. **Avaliação de propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de resíduos da construção civil**. Recife: UPE, 2014. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Recife.

RESUMO

O grande volume de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) gerado pelas atividades construtivas tem provocado preocupação ambiental, social e econômica, devido a exploração de recursos naturais, descartes clandestinos e pelo gasto com a deposição dos mesmos em aterros legalizados. Diante deste cenário, estudos têm sido desenvolvidos a fim de solucionar ou minimizar esta problemática. Esta pesquisa apresenta os resultados de uma investigação laboratorial em concretos confeccionados com agregados graúdos reciclados de Resíduos da Construção Civil (RCC), com o intuito de analisar a influência da utilização deste material no comportamento mecânico do concreto. Para tanto, foi realizada a coleta de resíduos em uma usina de beneficiamento em Camaragibe-PE, especificamente a parcela cinza de brita 19mm, com predominância de concreto. Ensaios de caracterização foram realizados nos agregados natural e reciclado, tais como: análise de composição gravimétrica, granulometria, massa específica e unitária, teor de material pulverulento, teor de absorção e abrasão, a fim de se conhecer e comparar as propriedades físicas destes materiais. Para a produção dos concretos (convencional e reciclado), inicialmente fixou-se o teor de argamassa (α) em 0,5, a relação água-materiais secos (A%) no valor de 10% - para estimar-se um valor semelhante de trabalhabilidade - e a relação água-cimento (a/c), que foi mantida entre as substituições de um mesmo traço. Foram dosados três traços, com as seguintes relações água-cimento (a/c): 0,5, 0,6 e 0,7. Cada traço foi submetido a três substituições de agregado graúdo; o de referência (0%), 50% e 100% de substituição de agregado graúdo natural por reciclado. Foram analisadas as características dos concretos produzidos em seu estado fresco (trabalhabilidade) e endurecido (resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral, módulo elasticidade dinâmico e esclerometria). De posse dos resultados finais, verificou-se o crescimento de resistência à compressão simples, em todas as famílias, desde 3 até 120 dias de idade. Pode-se observar que os maiores valores da resistência estiveram mais associados a relação a/c do que com as substituições. Os resultados indicaram que resíduos reciclados de concreto influenciaram positivamente na resistência do concreto com $a/c=0,7$, obtendo resistência, em média 7%, maior para os concretos com substituição do que o concreto de referência (26,1MPa). Na relação $a/c=0,6$ não houve perda significativa, atingindo 1% apenas de redução na resistência do concreto reciclado em relação ao de referência (37,4MPa), enquanto que para $a/c=0,5$ a perda da resistência do concreto reciclado atingiu uma média de 8% em relação ao de referência (38,9MPa). Estes fatores podem estar relacionados com as propriedades da pasta original do resíduo utilizado como agregado graúdo reciclado. Foi possível relacionar as propriedades do concreto e a influência da substituição, mantendo um reduzido número de variáveis de dosagem. Concluiu-se que o agregado graúdo reciclado de resíduos da construção civil, especificamente a parcela cinza, pode ser utilizado para produção de concreto sem grandes perdas às propriedades mecânicas avaliadas.

Palavras-chave: Resíduos da construção civil. Agregado graúdo reciclado. Concreto Reciclado. Comportamento mecânico.

CAVALCANTI, Nathalie Lundgren de Queiroga., **Evaluation of physical and mechanical behavior of concrete made with recycled coarse aggregates for construction waste**. Recife: UPE, 2013. Thesis (Master). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Recife.

ABSTRACT

The large volume of construction and demolition (C&D) waste, generated by the construction activity, has caused environmental, social and economic concern, due to the exploration of natural resources, clandestine disposal and the expensive deposition in legal landfills. Facing this situation, studies have been developed in order to solve or minimize this problem. This research denotes the results of a laboratory investigation of concrete made with recycled coarse aggregates from constructions waste, in order to analyse the influence of the use of this material in the mechanical behavior of the concrete itself. Therefore, the construction waste collection was collected at a processing plant located in the city of Camaragibe - PE, specifically the 19mm gray portion gravel, predominantly made of concrete. Characterization tests were performed on the natural and recycled aggregates, which included gravimetric composition, particle size, bulk density and unit, powdery material levels and absorption/abrasion levels, in order to know and compare the physical properties and differences of these materials. For the production of concrete (conventional and recycled), with the initial set up of the grout content (α) of 0.5, was compared to dry water-materials (A%) in the amount of 10% - for better estimating a similar value workability - and the water-cement (w/c), which was maintained between replacements of one trace ratio. Three traits were measured with the following ratios water-cement ratio (w / c): 0.5, 0.6 and 0.7. Each trait was subjected to three replacement of coarse aggregate; the reference (0%), 50% and 100% replacement for natural recycled coarse aggregate. The characteristics of the concrete produced in its fresh state (workability) and hardened (compressive strength and tensile strength by diametrical compression, dynamic modulus elasticity and rebound hammer) were analyzed. With the final results, it was found growth resistance in all families, from 3 to 120 days of age .It was also identified a higher resistance compared with the ratio a/c than between replacements of the same trace to increase it, as expected; there were distinct results from each increase or decrease values of resistance behavior, indicating the efficacy of this recycled material to a similar use of reference. The highest ratios a/c resulted in lower levels of resistance. The results indicated that recycled concrete waste positively influenced the strength of concrete with w / c = 0.7, obtaining resistance on average 7% higher for concrete with replacement of the reference concrete (26,1MPa). In the w / c ratio = 0.6 there was no significant loss, reaching only 1% reduction in strength of the recycled concrete in relation to the reference (37,4MPa), whereas for a / c = 0.5 to loss of strength of the concrete has achieved a recycled average 8% compared to the reference (38,9MPa). These factors may be related to the properties of the original folder residue used as recycled coarse aggregate. It was possible to relate the properties of the concrete and the influence of the substitution, while maintaining a reduced number of variables dosage. It was concluded that the recycled coarse aggregate construction waste, specifically the gray portion, can be used to produce concrete without great losses to mechanical properties.

Keywords: Construction waste. Recycled coarse aggregate. Recycled concrete. Mechanical behavior

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição gravimétrica de amostra de RCC proveniente de Unidade de Beneficiamento em Camaragibe-PE (MACEDO, 2013).....	20
Figura 2 - Microestruturas do concreto e do concreto reciclado.....	28
Figura 3 - Massa específica kN/m ³ . VERAS (2012).....	31
Figura 4 - Valores de resistência à compressão simples aos 28 dias, Rodrigues (2011).	33
Figura 5 - Valores de resistência (MPa) obtidos em Veras (2012)	33
Figura 6 - Módulo Elasticidade (GPa) aos 28 dias (VERAS, 2012).....	35
Figura 7 - Etapas do Programa Experimental.	38
Figura 8 - (a) Principal origem do material processado; b) Obras na Avenida Caxangá.....	39
Figura 9 - Concreto utilizado para a britagem, empilhados no pátio de triagem.	40
Figura 10 - Transporte (a) e despejo (b) do material no britador realizado por meio de trator.....	40
Figura 11 - (a) e (b) - Pilha da Brita 19 mm, material cinza processado.	41
Figura 12 - Coleta do agregado graúdo de RCC realizada no cume (a), no centro (b) e na base (c) da pilha processada e, em seguida, acondicionado em sacos plásticos (d).	41
Figura 13 - Material ensacado e amarrado.....	42
Figura 14 - Agregados naturais graúdo e miúdo usados na pesquisa.....	43
Figura 15 - Processo de quarteamento das amostras.....	45
Figura 16 - Material coletado da amostra pré-britagem, oriundo das placas da Avenida Caxangá, Recife-PE.	45
Figura 17 - Separação tátil-visual de material pós-beneficiado	46
Figura 18 - Ensaio de granulometria.....	48
Figura 19 - Ensaio para determinar teor de material pulverulento.....	49
Figura 20 - Ensaio de massa unitária.	50
Figura 21 - Frasco de Chapman	51
Figura 22 - Ensaio de absorção de água e massa específica do agregado graúdo.....	52
Figura 23 - Ensaio de abrasão “Los Angeles”	53
Figura 24 - Betoneira com materiais inseridos para mistura do concreto.	56
Figura 25 - Corpos de Prova moldados e identificados.	57
Figura 26 - Ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.	58
Figura 27 - Retificação dos corpos de prova.....	59
Figura 28 - Rompimento de corpo de prova	60
Figura 29 - Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	61
Figura 30 - Tiras de madeira com mesmo comprimento do Corpo-de-Prova.....	62
Figura 31 - Ensaio de módulo elasticidade.	63
Figura 32 - Equipamentos necessários para o ensaio de esclerometria.....	64
Figura 33 - Dano ocasionado no corpo de prova durante a realização do ensaio de esclerometria.	64
Figura 34 - Composição Gravimétrica do Agregado Reciclado Graúdo.	65

Figura 35 -	Curva Granulométrica agregado miúdo natural.	66
Figura 36 -	Curva Granulométrica - Agregados Graúdo Natural e Reciclado.	68
Figura 37 -	Abatimento das famílias de concreto produzidas.	73
Figura 38 -	Aspecto visual geral do concreto de referência e do reciclado com 100% de substituição.	73
Figura 39 -	Resistência à compressão simples vs. Família, aos 3 dias.	75
Figura 40 -	Resistência à compressão simples vs. Família, aos 7 dias.	76
Figura 41 -	Resistência à compressão simples vs. Família, aos 14 dias.	76
Figura 42 -	Resistência à compressão simples vs. Família, aos 28 dias.	77
Figura 43 -	Resistência à compressão simples vs. Família, aos 120 dias.	77
Figura 44 -	Resistência à compressão simples vs. idade.	78
Figura 45 -	Resistências à compressão simples vs. Famílias, ao longo das idades.	79
Figura 46 -	Resistência à tração por compressão diametral vs. Família, aos 3 dias.	81
Figura 47 -	Resistência à tração por compressão diametral vs. Família, aos 7 dias.	82
Figura 48 -	Resistência à tração por compressão diametral vs. Família, aos 14 dias.	82
Figura 49 -	Resistência à tração por compressão diametral vs. Família, aos 28 dias.	83
Figura 50 -	Resistência à tração por compressão diametral vs. Família, aos 120 dias.	83
Figura 51 -	Resistência à tração por compressão diametral vs. Famílias, ao longo das idades.	84
Figura 52 -	Módulo Elasticidade dinâmico aos 28 dias.	85
Figura 53 -	Índice Esclerométrico médio (IEM).	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade total de RCC coletado no Brasil em 2012 e 2013.....	19
Tabela 2 - Resumo de dados de composição gravimétrica de resíduos gerados em diferentes cidades.	21
Tabela 3 - Dados de ensaio de Granulometria encontradas em pesquisas de RCC de concreto.	23
Tabela 4 - Teor de material pulverulento encontrado em pesquisas.	24
Tabela 5 - Massa específica seca e/ou saturada obtida em pesquisas de RCC de concreto.	25
Tabela 6 - Absorção a água obtida em pesquisas de RCC de concreto.....	26
Tabela 7 - Abrasão encontrada em pesquisas de RCC de concreto	27
Tabela 8 - Abatimento obtido em algumas pesquisas	30
Tabela 9 - Massa específica obtidas em algumas pesquisas.....	30
Tabela 10 - Absorção à água obtida em outras pesquisas de literatura	32
Tabela 11 - Análise qualitativa da esclerometria	36
Tabela 12 - Ensaios realizados nos agregados natural e reciclado	47
Tabela 13 - Cálculo de dosagem do concreto.....	55
Tabela 14 - Material utilizado em cada traço (kg/m ³)	55
Tabela 15 - Valores dos traços de dosagem dos concretos	56
Tabela 16 - Ensaios realizados no concreto.	58
Tabela 17 - Granulometria Agregado Miúdo Natural (AMN).	67
Tabela 18 - Granulometria agregado Graúdo Natural e Reciclado.	68
Tabela 19 - Teor de material Pulverulento.....	69
Tabela 20 - Massa Específica.....	70
Tabela 21 - Massa unitária.	70
Tabela 22 - Absorção de água dos agregados.	71
Tabela 23 - Abrasão Los Angeles.	72
Tabela 24 - Valores de resistência à compressão simples (Mpa) dos concretos estudados.	74
Tabela 25 - Valores de resistência à tração por compressão diametral (Mpa) dos concretos estudados.	80
Tabela 26 - Relação entre as resistência à compressão diametral e simples e média geral.....	85
Tabela 27 - Quadro de referências de Legenda das famílias.....	100
Tabela 28 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à compressão simples aos 3 dias.	100
Tabela 29 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à compressão simples aos 7 dias.	101
Tabela 30 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à compressão simples aos 14 dias.	101
Tabela 31 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à compressão simples e Ultrassom aos 28 dias.	102
Tabela 32 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à compressão simples e Índice Esclerométrico (IE) aos 120 dias.	103
Tabela 33 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à tração por compressão diametral aos 3 dias.	103

Tabela 34 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias.	104
Tabela 35 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à tração por compressão diametral aos 14 dias.	105
Tabela 36 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.	105
Tabela 37 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à tração por compressão diametral aos 120 dias.	106

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Considerações Iniciais	13
1.2	Justificativa.....	15
1.3	Objetivos	15
1.3.1	Objetivo geral	15
1.3.2	Objetivos específicos	15
1.4	Metodologia	15
1.5	Estrutura da pesquisa.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Resíduos da Construção Civil – Geração e Composição.....	18
2.2	Propriedades do Agregado Reciclado	21
2.2.1	Composição granulométrica	22
2.2.2	Teor de material pulverulento.....	23
2.2.3	Massa específica	24
2.2.4	Absorção à água.....	25
2.2.5	Abrasão Los Angeles	26
2.3	Propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com agregado reciclado.....	28
2.3.1	Concreto Fresco	29
2.3.1.1	<i>Trabalhabilidade e relação água-cimento</i>	29
2.3.1.2	<i>Massa específica</i>	30
2.3.2	Concreto Endurecido	31
2.3.2.1	<i>Absorção à água</i>	31
2.3.2.2	<i>Resistência à Compressão Axial e diametral</i>	32
2.3.2.3	<i>Módulo de elasticidade</i>	34
2.3.2.4	<i>Esclerometria</i>	35
2.4	Parâmetros de Dosagem	36
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	Introdução	38

3.2	Coleta dos Materiais	39
3.2.1	Agregado Reciclado	39
3.2.2	Agregados Naturais	43
3.2.3	Aglomerante	44
3.3	Preparação das amostras	44
3.3.1	Composição Gravimétrica do RCC	45
3.4	Ensaio de caracterização dos materiais utilizados na pesquisa	46
3.4.1	Análise Granulométrica	47
3.4.2	Teor de material Pulverulento	48
3.4.3	Massa unitária.....	49
3.4.4	Massa Específica	51
3.4.5	Absorção à água.....	51
3.4.6	Abrasão Los Angeles.....	52
3.5	Dosagem experimental	53
3.6	Preparo, moldagem e cura dos corpos de provas	55
3.7	Ensaio no Concreto	57
3.7.1	Ensaio de abatimento de tronco – Slump Test.....	58
3.7.2	Ensaio do concreto no estado endurecido	59
3.7.2.1	<i>Resistência à compressão simples.....</i>	<i>60</i>
3.7.2.2	<i>Resistência à tração por compressão diametral</i>	<i>61</i>
3.7.2.3	<i>Ensaio de módulo elasticidade dinâmico.....</i>	<i>62</i>
3.7.2.4	<i>Ensaio de resistência à dureza superficial; esclerometria</i>	<i>63</i>
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	65
4.1	Composição Gravimétrica do Resíduo	65
4.2	Caracterização dos Agregados	66
4.2.1	Análise Granulométrica	66
4.2.1.1	<i>Agregado Miúdo Natural</i>	<i>66</i>
4.2.1.2	<i>Agregado Graúdo.....</i>	<i>67</i>
4.2.2	Teor de Material Pulverulento	69
4.2.3	Massa específica e massa unitária	69
4.2.4	Absorção de água dos agregados.....	71
4.2.5	Abrasão Los Angeles.....	71
4.3	Ensaio do concreto	72
4.3.1	Ensaio do concreto no estado fresco	72

4.3.2	Ensaio do concreto no estado endurecido	74
4.3.2.1	<i>Resistência à compressão simples</i>	74
4.3.2.2	<i>Resistência à tração por compressão diametral</i>	80
4.3.2.3	<i>Módulo Elasticidade Dinâmico</i>	85
4.3.2.4	<i>Esclerometria</i>	86
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
5.1	Principais Conclusões	88
5.2	Sugestões para futuras pesquisas	90
	REFERÊNCIAS	92
	APÊNDICE- Tabelas dos Resultados Gerais	99

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A cadeia produtiva da construção civil está entre os setores industriais que mais tem proporcionado o desenvolvimento e crescimento das sociedades. De acordo com o Departamento Intersindical de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos - DIEESE (2013), apesar da desaceleração na economia Brasileira, reflexo de uma crise mundial, no ano de 2011, o setor da construção civil obteve uma expansão superior à média geral de todas as atividades econômicas brasileira desenvolvidas. No ano de 2012, enquanto o Brasil apresentou taxas de 0,9% de crescimento, a construção civil apresentou 1,4 % de crescimento no Produto Interno Bruto (PIB). Já em Pernambuco, a Federação das Indústrias do Estado de Pernambuco (FIEPE) apontou que a indústria da construção apresenta um nível de atividade de 52,7 pontos, que foi superior à média nacional de 44,3 pontos em junho de 2013 (FIEPE, 2013).

Apesar do desenvolvimento gerado, a construção civil também provoca impactos ambientais negativos, por exemplo, por consumir uma ordem de 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade (JOHN e AGOPYAN, 2005). No caso do material concreto, estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que avalia-se um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água (PEDROSO, 2009). A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2013) estima ainda que este consumo cresceu 180% no Brasil, entre os anos de 2005 e 2012.

Os reflexos destes consumos também podem ser observados segundo dados da FIEPE (2013), que já lista o alto custo com a matéria prima entre os cinco principais problemas da construção, além de apontar a falta de matéria prima como mais um dos problemas citados pela indústria no estado.

Outros indicativos importantes de problemas que são gerados pelo setor da construção civil, trata-se da grande quantidade de resíduos produzidos e dos custos provenientes da coleta, transporte e destinação final dos mesmos. Conforme Gusmão (2008), somente no Recife, capital do Estado de Pernambuco, o custo anual era da ordem de R\$ 4,5 milhões com coleta de resíduos volumosos e entulhos dispostos de modo irregular em locais públicos, e estima-se que 1/3 desses resíduos sejam Resíduos da Construção Civil (RCC).

Estes fatores demonstram a importância de se adotar soluções que reduzam o impacto e o consumo da indústria da construção, e neste contexto, os resíduos da construção civil têm maior destaque, pois são considerados a principal fonte de impactos ambientais das obras. Neste caso, a reciclagem destes materiais se apresenta como uma possível solução para minimizar a agressão ao meio ambiente além de gerar uma redução com os custos de coleta, transporte e destinação final, gerando assim benefícios econômicos e sociais. Destaca-se a reciclagem para geração de agregados reciclados para se utilizar, como por exemplo, na produção de concreto, por ser o material mais consumido nesta indústria, diminuindo assim a extração da brita como matéria prima natural.

Em Pernambuco, devido à falta de política ambiental consistente, o sindicato da indústria da construção civil no estado de Pernambuco- Sinduscon/PE criou um fórum em 2003, com o intuito de discutir estratégias e a adequação do setor para um crescimento sustentável, denominado “Projeto Entulho Limpo”. As atividades do projeto giraram em torno do levantamento da legislação vigente sobre os RCC, diagnósticos do conhecimento dos profissionais da área e visita em outras cidades para troca de experiências. Houve ações de sensibilização no setor construtivo com divulgação dos resultados alcançados. Atualmente, o Fórum Pernambucano de Construção Sustentável realiza reuniões mensais em parceria com a Comissão de Meio Ambiente da (CBIC) e o Sinduscon/PE, cujos assuntos discutidos são disponibilizados à sociedade. Em 2013, foi realizado o Seminário Pernambucano de construção sustentável, que em sua 6ª edição foi acolhido na primeira feira de sustentabilidade do nordeste, a SUSTENCONS.

Em decorrência destas ações, a política de gestão de resíduos da construção civil tem se desenvolvido e usinas de reciclagem de resíduos da construção foram instaladas no Grande Recife. Em Recife, desde 2005, já é exigida a implantação de um plano de gestão de resíduos da construção civil, com a apresentação de uma estimativa de geração de resíduos no canteiro de obras, bem como a comprovação da destinação final correta. Estes são indicativos que a região está passando por um processo de mudanças onde são necessários levantamentos técnicos e estudos mais detalhados que permitam levantar dados para um uso correto e mais abrangente do material.

1.2 Justificativa

Os resíduos da construção civil possuem potencial para ser reutilizado como matéria prima e apesar dos avanços obtidos no exterior (Alemanha, E.U.A, Holanda e Japão), o Brasil necessita ainda de pesquisas que sirvam como ferramenta para utilização desse material.

O concreto produzido com material reciclado vem demonstrando, por meio de pesquisas da literatura (LEITE, 2001; PRADO, 2006; BUTTLER, 2007; RODRIGUES, 2012; SAMPAIO, 2013) apresentar parâmetros de resistência muito próximos aos concretos de referência, porém ainda se faz necessária a criação de normas e metodologias de padronização dos métodos de dosagem e ensaios para agregados e concretos reciclados, a fim de que haja uma padronização da avaliação das propriedades deste material, cuja utilização traz benefícios econômicos sociais e ambientais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar a utilização de resíduos da construção civil como agregado graúdo reciclado, com substituição total ou parcial do agregado natural, para a produção de concretos.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral da pesquisa, faz-se necessário os seguintes objetivos específicos:

- Analisar as propriedades físicas do agregado graúdo reciclado de RCC e compará-las com as propriedades do agregado graúdo natural;
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de RCC e compará-las com as propriedades dos concretos produzidos com agregados naturais;
- Analisar a influência do teor de substituição dos agregados naturais por reciclados nas propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido.

1.4 Metodologia

A metodologia adotada para a consecução dos objetivos consta de forma resumida dos seguintes itens:

- Coleta de agregado graúdo reciclado de resíduos de construção civil, em uma usina de beneficiamento localizada em Camaragibe-PE e obtenção dos agregados naturais através de empresa certificada do mercado local;
- Realização de ensaios de caracterização física dos agregados natural e reciclado, tais como granulometria, massa específica, massa unitária, teor de absorção de água, teor de material pulverulento e abrasão Los Angeles;
- Estudo de dosagem experimental dos concretos convencional e reciclado, com teores de substituição de 50 e 100% de agregado graúdo reciclado de RCC a partir da fixação da relação água cimento e da trabalhabilidade, utilizando-se três traços, um rico, um intermediário e um pobre;
- Realização de ensaios nos concretos no estado fresco, tais como consistência pelo abatimento do tronco de cone;
- Execução de ensaios nos concretos no estado endurecido, massa específica, resistência à compressão simples e resistência à tração por compressão diametral;
- Realização de ensaios não destrutivos nos concretos produzidos, tais como esclerometria e módulo de elasticidade dinâmico.

1.5 Estrutura da pesquisa

A pesquisa apresenta uma estrutura dividida em cinco capítulos.

No capítulo 1 é apresentada uma introdução juntamente com os objetivos, metodologia e estrutura da pesquisa.

Em seguida, apresenta-se no segundo capítulo uma revisão bibliográfica sobre os resíduos da construção civil, sua geração e composição, e pesquisas relacionadas com o uso de RCC, focando na utilização de agregados reciclados de RCC para a produção de concreto.

Já no capítulo 3 é descrito o programa experimental da pesquisa e apresentados os critérios e métodos utilizados para a realização do estudo.

No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir dos ensaios de caracterização dos agregados natural e reciclado e sobre as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, comparando com resultados de outras pesquisas.

No final, as principais conclusões são expostas no quinto capítulo, juntamente com as sugestões para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos da Construção Civil – Geração e Composição

Os resíduos da construção civil são classificados de acordo com a Resolução nº 307, de 05 de Julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como:

“Materiais provenientes de construções, reformas, reparos, e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha” (CONAMA, 2002).

A ABNT NBR-10004/2004 classifica os Resíduos de Construção Civil (RCC) como inertes, no entanto existem exceções. O gesso devido a sua solubilidade é classificado como não inerte e os resíduos de tintas, solventes e óleos são considerados perigosos. O CONAMA através da resolução Nº 307/2002 define 04 (quatro) grupos de RCC, que são:

Classe A- resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados para a construção civil como: restos de concreto, argamassas, tijolos, dentre outros;

Classe B – resíduos recicláveis para outra destinação, como: plástico, papel, papelão, metais, vidros madeira e gesso (alteração CONAMA Nº 431/2011);

Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação;

Classe D – resíduos perigosos, contaminados ou prejudiciais à saúde provenientes do processo de demolição ou construção como o amianto (alterações da resolução nº 348 do CONAMA de 2004).

A geração de resíduos da construção civil no Brasil continua com crescimento expressivo. O aumento da geração entre os anos de 2012 e 2013, segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014) é de 4,6%, Tabela 1. O que preocupa ainda mais é que os valores reais são ainda superiores, pois a pesquisa contabiliza apenas os resíduos sob coordenação das municipalidades.

Tabela 1 - Quantidade total de RCC coletado no Brasil em 2012 e 2013.

Região	2012	2013		
	RCC Coletado (t/dia) / Índice (kg/hab/dia)	População Urbana (hab)	RCC coletado (t/dia)	Índice (kg/hab/dia)
Norte	4.095 / 0,250	17.013.559	4.280	0,252
Nordeste	20.930 / 0,388	55.794.707	22.162	0,397
Centro-Oeste	12.829 / 0,889	14.993.191	13.439	0,896
Sudeste	59.100 / 0,725	84.465.570	61.487	0,728
Sul	15.292 / 0,551	28.795.762	16.067	0,558
Brasil	112.248 / 0,579	201.062.789	117.435	0,584

Fonte: ABRELPE (2014)

Nas diversas fases de uma obra de construção civil são produzidos resíduos, mas observa-se que as fases com a maior geração é a demolição e escavação, correspondendo a aproximadamente 66% do RCC, ocorrendo em pequeno espaço de tempo, aproximadamente 30 dias. Os RCC destas etapas são predominantemente de classe A (concreto, argamassa, cerâmica, solo) e de Classe B (gesso), GUSMÃO (2008).

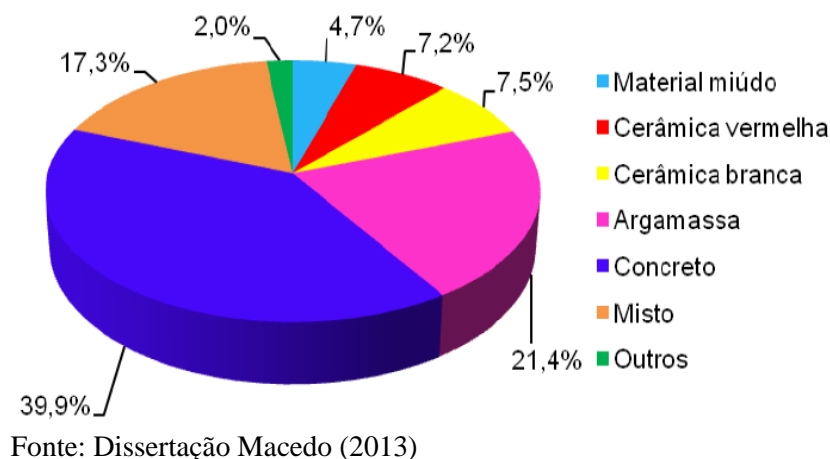
Já nas etapas de construção, o baixo nível tecnológico e elevado nível de perdas evidenciados em obras brasileiras fazem o setor sofrer pressão para garantir um uso mais racional de seus materiais, para que não se gere uma alta produção de resíduos e diminua-se o consumo da matéria prima. Existem dois tipos de perda nas obras, a perda incorporada (excesso do consumo dos materiais na obra) e a perda não incorporada (parcela do material que se transforma em resíduo).

Existem fatores que influenciam na composição, quantidade e características dos RCC em uma determinada região, como o nível de desenvolvimento da indústria, qualidade da mão-de-obra, técnicas de construção e demolição empregadas, programa de qualidade e redução de perdas, adoção de processos de reciclagem, materiais predominantes na região desenvolvimento de obras especiais, crescimento econômico e demanda por novas construções.

É muito importante conhecer a natureza dos resíduos investigados, que servirão como agregados de maneira geral. De acordo com a Figura 1, observa-se resultados de composição gravimétrica obtidos em pesquisa realizada com material coletado em uma usina de beneficiamento de RCC, localizada em Camaragibe – PE (MACEDO, 2013). Ressalta-se que

grande parte dos resíduos que são destinados nesta usina são provenientes de obras da Região Metropolitana do Recife (RMR).

Figura 1 - Composição gravimétrica de amostra de RCC proveniente de Unidade de Beneficiamento em Camaragibe-PE (MACEDO, 2013)



Observa-se pelos dados da Figura 1 que a usina procura receber um material livre da contaminação do gesso, inclusive mantendo-se abaixo dos 10% para o índice de materiais plásticos ou metálicos, conforme especificado pela norma ABNT NBR 15.116/2004. Verifica-se também que mais de 90% dos constituintes podem ser reutilizados ou recicláveis como agregados. Tal resultado também foi identificado em pesquisa realizada por Carneiro (2005), em resíduos gerados em diferentes canteiros de obras da RMR, cujo valor foi cerca 91%.

A Tabela 2 ilustra um resumo com dados de composição gravimétrica de resíduos gerados em diferentes cidades brasileiras, onde pode-se verificar a grande variabilidade de materiais presentes nos resíduos da construção civil.

Tabela 2 - Resumo de dados de composição gravimétrica de resíduos gerados em diferentes cidades.

Material (%)	Ribeirão Preto SP	Porto Alegre RS	Maceió AL	Recife PE	Uberlândia MG	Ituiutaba MG	Petrolina PE
Argamassa	36	28	28	24	22	53,7	21
Cerâmica polida	3	-	3	-	-	-	-
Cerâmica	21	26	48	19	24	41,4	46
Concreto	21	15	19	14	38	-	10
Pedras	18	31	-	9	13	4,5	-
Areia			-	4			9
Solo	-	-	-	23			-
Gesso	-	-	-	4			6
Madeira	-	-	-	2			4
Metal	-	-	-	1			-
Fibrocimento	-	-	-	-	1		-
Outros	1	-	2	-	2	0,4	4
Autores	Zordan (1997)	Leite (2001)	Vieira e Molin (2004)	Carneiro (2005)	Morais (2006)	Nunes (2007)	Sampaio (2013)

Fonte: Zordan (1997); Leite (2001); Vieira e Molin (2004); Carneiro (2005); Moraes (2006); Nunes, (2007); Sampaio (2013).

Os dados da Tabela 2 indicam que há uma predominância de matérias cerâmicos e argamassas nas pesquisas apresentadas. Os dados demonstram também que existem semelhanças de composição entre as regiões e estados, demonstrando que as técnicas construtivas empregadas na região influenciam na composição do resíduo, como afirmado também por Gusmão (2008).

2.2 Propriedades do Agregado Reciclado

O concreto de cimento Portland, comumente utilizado em obras de construção brasileira, deve conter cimento, água e agregados. A proporção entre seus componentes é procurada pela tecnologia do concreto, para atender as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade requeridas para o mesmo. De acordo com Isaia (2005), os agregados ocupam de 70% a 80% do volume total do concreto, e costumavam ser abundantes e baratos, porém este cenário mudou devido à vasta exploração das jazidas.

As propriedades do concreto são influenciadas pelas propriedades dos agregados, tais como, composição granulométrica, absorção à água, porosidade, massa específica, estabilidade, forma e textura superficial dos grãos, módulo elasticidade, resistência mecânica e substâncias insalubres presentes.

A possibilidade de se pré-umedecer o agregado deve levar em consideração o risco de saturação do agregado, dificultando misturas homogêneas (ZORDAN, 1997).

No caso dos agregados reciclados, as pesquisas desenvolvidas apontam que devido à forma mais angulosa e maior absorção há um aumento da demanda de água, o que afeta diretamente a trabalhabilidade do concreto (ANGULO, 2000).

2.2.1 Composição granulométrica

A granulometria dos agregados exerce importante influência nas características do concreto, como o consumo de aglomerante, a trabalhabilidade, compactidade, absorção à água, permeabilidade, resistência mecânica, entre outras (HELENE & TERZIAN, 1993; BARRA, 1996; LIMA, 1999).

No caso dos agregados reciclados, a granulometria pode variar de acordo com diferentes fatores, tais como o seu processo produtivo, as características granulométricas do resíduo antes do processado da britagem, a origem do material, o tipo de beneficiamento entre outros. Assim, a curva granulométrica é característica específica de cada tipo especial de resíduo reciclado (BARRA, 1996; LIMA, 1999). E ainda, segundo Oliveira et.al (2003), a fluidez da pasta constituída de cimento e água, dependerá essencialmente da distribuição granulométrica dos agregados utilizados no concreto.

Angulo (2005) avaliou amostras provenientes de duas usinas de reciclagem localizadas na cidade de São Paulo. Ressaltou que nas amostras provenientes da usina de Itaquera as frações maiores que # 25,4 mm representam quase 20% em massa, já para as amostras coletadas na usina de Vinhedo essa malha representa 45% em massa. A fração miúda dos materiais coletados (ambas usinas) representa cerca de 40% da massa dos agregados reciclados.

Veras (2012) avaliou resíduos de construção, provenientes de obras na etapa de estrutura, na cidade do Recife e encontrou diâmetros máximos de 25mm. Sampaio (2013) e avaliou os resíduos da cidade de Petrolina, e identificou diâmetro máximo de # 2,36, para o agregado miúdo reciclado.

Sendo a composição granulométrica uma propriedade de extrema importância nas características do concreto, torna-se fundamental a sua análise em novos materiais. Na Tabela 3, pode-se observar os resultados de diâmetro máximo e módulo de finura de pesquisas que utilizaram agregado graúdo reciclado para uso em concreto.

Tabela 3 - Dados de ensaio de Granulometria encontradas em pesquisas de RCC de concreto.

Diâmetro Máx. (mm)	Módulo de Finura	Origem	Cidade	Referência
12,5	6,19	Corpos de Prova de Concreto	São Carlos- SP	Gonçalves (2001)
19	6,40 - 6,48	Corpos de Prova de Concreto	São Carlos- SP	Buttler (2003)
9,5	5,37 – 5,83	Diversos usos de concreto	São Carlos- SP	Prado (2006)
25	4,14 – 4,36	Corpos de Prova de Concreto	São Leopoldo -RS	Werle (2010)
2,36	2,56	Obra –etapa de estrutura	Recife- PE	Rodrigues (2011)
25	7,19	Obra-etapa estrutura	Recife - PE	Veras (2012)
2,36	1,90	Usina de beneficiamento	Petrolina -PE	Sampaio (2013)

Com base nos dados obtidos na Tabela 3 observa-se que existe uma variação nas pesquisas quanto a origem do material e suas propriedades granulométricas. Os materiais variam quanto a seu diâmetro máximo, de 2,36mm a 25mm e o módulo de finura varia de 1,90 a 7,19. Observa-se também que o material proveniente de usina de beneficiamento foi o que obteve menor modulo de finura na relação com o diâmetro máximo.

2.2.2 Teor de material pulverulento

Por definição o material pulverulento é todo aquele que passa na peneira de 75 μ m, que são partículas consideradas nocivas ao concreto, pois afetam diretamente o consumo da relação água cimento a/c, alterando assim a resistência do concreto. Normalmente os agregados graúdos de RCC possuem um percentual de material pulverulento inferior ao agregado miúdo reciclado.

A norma NBR 7211/2009 estipula para este parâmetro o limite máximo para o agregado graúdo de 1% enquanto que para o miúdo o limite máximo é de 3% para o concreto submetidos a desgaste superficial e de 5% para concretos protegidos do desgaste superficial

Segundo Rodrigues (2011), os agregados reciclados de resíduos da construção civil, no geral apresentam valor de teor de material pulverulento superior aos agregados natural. Além disso, existe uma grande variabilidade no teor de material pulverulento encontrado na literatura. Este parâmetro deve ser rigorosamente controlado, pois taxas elevadas podem ocasionar a fissuração de argamassas, aumento do fator água-cimento (a/c), diminuição da resistência à compressão e consequentemente queda da durabilidade.

Observa-se, também, que existe grande variabilidade nos valores encontrados em pesquisas brasileiras (Tabela 04) para este parâmetro, podendo ser consequência dos diferentes métodos utilizados para a medição, natureza do resíduo e ainda o britador utilizado para beneficiamento dos agregados.

Tabela 4 - Teor de material pulverulento encontrado em pesquisas.

Teor de material Pulverulento (%)	Granulometria	Origem	Cidade	Referência
14,23	≤ 9,6 mm	RCC	Brasília-DF	Sousa (2001)
13,17	≤ 12,5mm	RCC	Santo André -SP	Oliveira (2002)
6	≤ 9,5mm	RCC	Recife-PE	Carneiro (2005)
0,75	19mm	RCC*	Maceió -AL	Tenório (2007)
0,45	19mm	RCC+ concreto	Maceió -AL	Tenório (2007)
7,89	≤ 12,5mm	Corpos de prova de concreto	Campinas-SP	Barbosa Jr (2008)
10,4	Graúdo	RCC	Feira de Santana – BA	Leite e Lima (2009)
8,7	Miúdo	RCC	Recife- PE	Rodrigues (2011)
7,67	25mm	RCC	Recife - PE	Veras (2012)
12,8	2,40mm	RCC- Usina beneficiamento	Petrolina -PE	Sampaio (2013)

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2011)

2.2.3 Massa específica

Segundo Gonçalves (2011), os agregados reciclados geralmente possuem massa específica menor que a dos agregados naturais. Esses valores demonstram, que a origem do material utilizado como agregado reciclado interfere no valor da massa específica, devido aos materiais antigos aderidos às partículas do agregado reciclado, como restos de argamassa (HANSEN, 1992; LEITE, 2001).

Buttler (2007) em seus estudos conclui que a porosidade (ou massa específica aparente) dos agregados de resíduos da construção e demolição (RCD) reciclados controla o comportamento mecânico dos concretos produzidos com relação água e cimento constante, assim como a soma dos teores de aglomerantes e de cerâmica vermelha – frações mais porosas.

Na Tabela 5, observa-se resultados de massa específica seca e saturada encontrados em pesquisas que utilizaram agregados de resíduos de concreto.

Tabela 5 - Massa específica seca e/ou saturada obtida em pesquisas de RCC de concreto.

Massa específica seca (kg/m³)	Massa específica saturada (kg/m³)	Índice de vazios	Origem	Cidade	Referência
2,480	2,610	12,30%	Corpos de Prova de Concreto	São Carlos	Gonçalves (2001)
2,426	2,575	14,93%	Corpos de Prova de Concreto	São Carlos	Buttler (2003)
2,332 a 2,684	2,364 a 2,748	-	Diversos usos de concreto	São Carlos	Prado (2006)
-	2,470 a 2,500	-	Corpos de Prova de Concreto	São Leopoldo	Werle (2010)
2,540	-	-	Obra - etapa estrutura	Recife- PE	Rodrigues (2011)
2,040	-	-	Obra-etapa estrutura	Recife - PE	Veras (2012)
2,500	-	-	Usina de beneficiamento	Petrolina -PE	Sampaio (2013)

2.2.4 Absorção à água

As taxas de absorção à água dos agregados também podem variar em função da origem do material utilizado, sendo os materiais cerâmicos os que apresentam os maiores valores. Segundo Benetti (2012), o teor de absorção de água nos agregados reciclados é maior devido a maior presença de finos.

Segundo Buttler (2007), o grau de hidratação do material utilizado para a produção do agregado reciclado é outro fator que exerce influência na sua taxa de absorção. O autor enfatiza que quanto maior o grau de hidratação, maior é a taxa de absorção do agregado. Ao avaliar agregados reciclados provenientes de concretos, encontrou taxas de absorção para os agregados graúdos reciclados até três vezes superiores aos valores dos agregados naturais, e concluiu que a maior absorção, cerca de 90 %, ocorre nos primeiros dez minutos da realização do ensaio, enquanto que neste mesmo período o agregado natural pode apresentar 63 % de sua capacidade de absorção de água.

A Tabela 6 apresenta um resumo de valores de teor de absorção obtidos em diferentes pesquisas sobre RCC de concreto. Em geral o agregado miúdo apresenta maior absorção a água comparado ao agregado graúdo.

Tabela 6 - Absorção a água obtida em pesquisas de RCC de concreto

Absorção (%)	Granulm.	Origem	Cidade	Referência
4,4 - 4,9	Graúdo	Corpos de Prova de Concreto	São Carlos-SP	Gonçalves (2001)
5,68 - 6,16	Graúdo	Corpos de Prova de Concreto	São Carlos-SP	Buttler (2003)
7,49	Graúdo	Usina de Beneficiamento	São Paulo -SP	Carrijo (2005)
3,48 - 4,45	Graúdo	Diversos usos de concreto	São Carlos-SP	Prado (2006)
4,5 a 6,5	Graúdo	Corpos de Prova de Concreto	São Leopoldo-RS	Werle (2010)
10,28	Miúdo	Obra - etapa estrutura	Recife- PE	Rodrigues (2011)
7,29	Graúdo	Obra-etapa estrutura	Recife - PE	Veras (2012)
10,5	Miúdo	Usina de beneficiamento	Petrolina -PE	Sampaio (2013)

Outro fator que também exerce influência na taxa de absorção dos agregados é a sua densidade real, que é inversamente proporcional a este parâmetro, ou seja, quanto maior é a densidade real dos grãos menor é a sua taxa de absorção. Carrijo (2005) avaliou a absorção dos agregados graúdos reciclados por faixas de densidade. O autor observou que a absorção foi maior para os agregados de menor densidade e que não possuía relação em função de sua natureza mineral.

2.2.5 Abrasão Los Angeles

A abrasão determina a resistência à fragmentação por choque e atrito do agregado graúdo, oferecendo assim um indicativo de qualidade do material. A norma Brasileira NBR 7211:2009 não recomenda o uso de agregados para concretos que apresentem índices de perda por abrasão superior a 50% em massa.

Pesquisas indicam resultados que variam de 20% a 60% de perda para o agregado graúdo reciclado, Bazzuco (1999).

De acordo com Prado (2006), pesquisas em agregados reciclados apresentam valores entre 20 e 60% maiores que a abrasão em agregados naturais e a maioria delas satisfazem às recomendações da norma.

Buttler (2003) conclui em estudos realizados com RCC que a quanto maior a idade dos agregados, menor foi a perda por abrasão, que variou de 28 a 41,7% e associou este fato ao concreto de baixa idade possuir uma maior quantidade de partículas de cimento não hidratada aderida a superfície.

Na Tabela 7 estão dispostos alguns resultados da literatura que demonstram que os RCC provenientes de concreto se mantêm dentro das recomendações da norma NR 7211:2009 para agregado natural.

Tabela 7 - Abrasão encontrada em pesquisas de RCC de concreto

Abrasão (%)	Origem	Cidade	Referência
28,76	Corpos de Prova de Concreto	São Carlos	Buttler (2003)
19,2 - 43,6	Diversos usos de concreto	São Carlos	Prado (2006)
-52,27	Construção predial	Goiana	Nunes (2007)

Diante do exposto sobre algumas propriedades físicas e mecânicas de agregados reciclados de RCC, pode-se concluir na comparação com o agregador natural que:

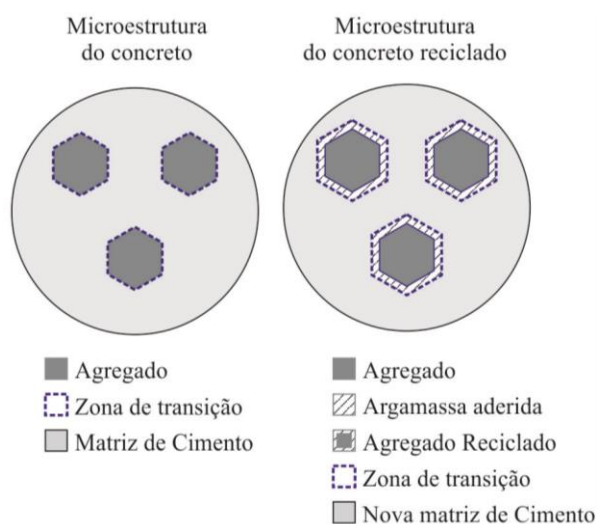
- *Composição* – Material Heterogêneo
- *Granulometria* – modulo de finura um pouco menor (influenciado pelo tipo de britagem)
- *Teor de material pulverulento* – maior e contribui no aumento de consumo de água
- *Massa específica / massa unitária* – a origem interfere no valor, porém geralmente são menores
- *Teor de absorção de água* – maior devido à maior presença de finos
- *Abrasão “Los-Angeles”* – perda por abrasão maior que o agregado natural, porém geralmente se enquadram na norma

2.3 Propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com agregado reciclado

Gonçalves (2001) analisa o concreto como um material trifásico, composto de agregado, matriz de cimento e zona de transição, sendo esta última a mais fraca, que representa a região interfacial entre as outras duas partículas e exerce uma influência maior nas propriedades do material.

Sobre a microestrutura de concreto produzido com agregados reciclados, as propriedades do material dependem principalmente das características da argamassa aderida ao agregado reciclado e pela nova matriz de cimento em contato com o agregado reciclado. De acordo com Buttler (2003), na Figura 2 observa-se a diferença entre as duas microestruturas.

Figura 2 - Microestruturas do concreto e do concreto reciclado.



Fonte: Adaptado de Buttler (2003)

Hansen e Narud (1983) pesquisaram a influência de argamassa aderida nas propriedades mecânicas do concreto, através da produção de três padrões de resistência; alto, médio e baixo, onde concluíram que a resistência foi mais alta nos materiais que foram mantidos os seus consumos, com o uso do concreto reciclado como agregado.

A porcentagem de argamassa aderida no agregado reciclado é que corresponde a parte mais frágil do novo agregado (ZORDAN, 1997). O autor conclui também que diminuindo-se o consumo do cimento, foi possível aproximar a resistência à compressão do concreto reciclado dos valores do concreto de referência.

O agregado reciclado de RCC apresenta características que dependem dos seus materiais constituintes (composição gravimétrica) e do tipo de processo empregado na sua produção, ou seja, beneficiamento, conforme SCOTT HOOD (2006).

Os resíduos de concreto originários de atividades da construção civil e demolições, desde que corretamente separados, e os oriundos de fábricas e usinas de concreto são caracterizados geralmente pela sua homogeneidade e pela possibilidade do conhecimento das propriedades mecânicas do resíduo (BUTTLER, 2007)

LIMA (1999) e RODRIGUES (2011) constataram que em grande parte das pesquisas realizadas no Brasil há a ocorrência de material cerâmico e argamassa na composição do resíduo. “A composição do reciclado determina muitas de suas características” (LIMA, 1999).

2.3.1 Concreto Fresco

2.3.1.1 *Trabalhabilidade e relação água-cimento*

“Uma das principais características do concreto que determina a sua aptidão para ser manuseado é a sua consistência, que, na tecnologia do concreto, pode ser definida como a maior ou menor capacidade do concreto se deformar sob a ação da sua própria massa” (HELENE & ANDRADE, 2007, p.939).

Os agregados podem influenciar não só na trabalhabilidade do concreto, como também nas propriedades físicas, mecânicas e na sua durabilidade, de acordo com Leite (2001). Devido a isto, deve-se estudar suas características, como absorção à água, granulometria, resistência à tração dentre outros, para a sua utilização em concretos, principalmente no caso do agregado reciclado.

Tenório (2007), observa que nos agregados reciclados a maior presença de grãos finos, a forma dos grãos e sua porosidade devido a pasta aderida podem prejudicar a consistência do concreto. Ainda destaca também que o uso do agregado numa condição intermediária de umidade, tende a minimizar os efeitos negativos da alta absorção.

Em seu estudo, Veras (2012) destaca que o aumento da proporção de agregados reciclados na mistura produziu uma maior dificuldade para atingir o abatimento pretendido, porém observou também que na condição do agregado saturado superfície seca houve um aumento no

abatimento a medida em que se aumentou o percentual de agregado reciclado a mistura, devido a presença de umidade no grão, o que reduz sua absorção.

Na Tabela 8 pode-se observar resultados de abatimento encontrados em algumas pesquisas.

Tabela 8 - Abatimento obtido em algumas pesquisas

Abatimento (mm)	a/c	Origem do agregado graúdo	Referência
50	0,45	Corpos de prova - 28 dias	Buttler (2003)
55-175	0,50	Depósitos ilegais	Tenório (2007)
200 ± 20	0,42-0,62	Concreto de pré-fabricados	Gonçalves (2011)
98 ± 10	0,55	Obra – fase de estrutura	Veras (2012)

Deve-se também observar o tipo de beneficiamento ou britagem do agregado, já que os diferentes equipamentos apresentam formas diferentes, o que influencia a área de superfície do agregado reciclado e sua porosidade. O tamanho máximo do agregado também influencia, quanto maior o tamanho máximo, menor é a absorção de água e melhor será a trabalhabilidade.

2.3.1.2 Massa específica

A massa específica do concreto no estado fresco depende da massa específica do agregado e da sua porosidade, bem como sua textura, forma e tamanho das partículas (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

No caso do concreto reciclado as pesquisas vêm demonstrando valores de massa específica menores do que os de concreto de referência. Tabela 9

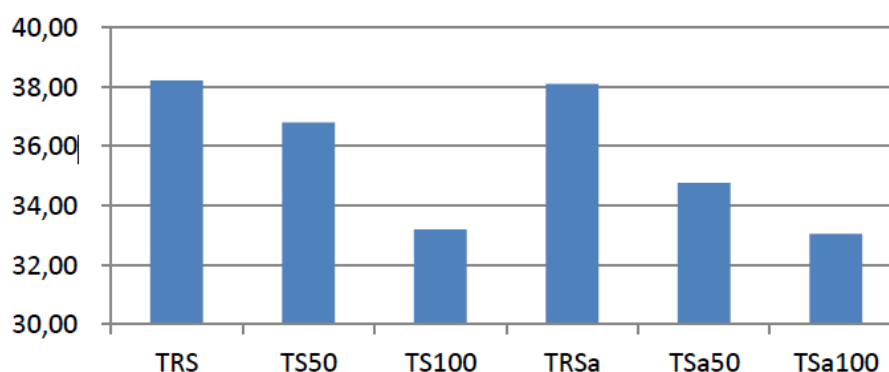
Tabela 9 - Massa específica obtidas em algumas pesquisas

Massa específica (kg/dm ³)	a/c	Origem do agregado graúdo	Referência
2,241	0,45	Corpos de prova 28 dias	Buttler (2003)
2,377-2,426	-	Concreto diversos usos	Prado (2006)
2,332-2,684	0,42-0,62	Concreto de pré-fabricados	Gonçalves (2011)
3,25-3,80	0,55	Obra – fase de estrutura	Veras (2012)

Rodrigues (2011) constata uma diminuição média de 3% dentro de um mesmo traço na medida que houve o aumento do teor de agregado reciclado na mistura.

Segundo Veras (2012), há uma diminuição deste parâmetro com o aumento da substituição percentual de agregados reciclados na mistura, atingindo 3,70% para substituição de 50% de agregado reciclado 13,24% para substituição total por agregado reciclado (Figura 03).

Figura 3 - Massa específica kN/m³. VERAS (2012)



Fonte: Veras, 2012 Obs: TRS – Traço Referência Seco, TRSa- Traço Referência Saturado

Diante disto estudos indicam que a massa específica do concreto no estado fresco é fortemente ligada à massa específica do agregado, sendo influenciada por sua porosidade, formato dos grãos e natureza do material utilizado, o que comumente promove um aumento da relação água/cimento e logo a diminuição da massa específica.

2.3.2 Concreto Endurecido

2.3.2.1 Absorção à água

Os concretos produzidos com agregados reciclados apresentam maior absorção e índices de vazios se comparados com os agregados convencionais. Esta característica ocorre em função do aumento da relação a/c, redução da densidade, permeabilidade e composição dos agregados reciclados (CARRIJO, 2005; FONSECA, 2006; LOVATO, 2007; TENÓRIO, 2007).

Veras (2012) observa ainda que há um aumento na absorção do concreto confeccionado com agregados reciclados saturados em comparação aos traços com agregado reciclado seco.

Na Tabela 10 pode se observar os resultados de absorção obtidos em algumas pesquisas com agregado graúdo reciclado.

Tabela 10 - Absorção à água obtida em outras pesquisas de literatura

Absorção (%)	a/c	Origem do agregado graúdo	Referência
6,50	0,45	Concreto reciclado 28 dias	Buttler (2003)
5,91-7,37	-	Concreto diversos usos	Prado (2006)
9,49-14,64	0,50	Depósitos ilegais	Tenório (2007)
3,48-4,45	0,42-0,62	Concreto de pré-fabricados	Gonçalves (2011)
8,9 e 13,45	0,55	Obra – fase de estrutura	Veras (2012)

Helene (1983) com base em critérios de durabilidade, propõe uma classificação para concretos convencionais em função da porosidade e da absorção de água, definindo que a absorção <4,2% são para concretos duráveis, 4,2 a 6,3% para concretos normais e absorção à água >6,3% são concretos deficientes.

Carrijo (2005) encontra teores de absorção até mesmo para o de referência que foram classificados como concretos deficientes e associa este fato a permeabilidade e porosidade do concreto reciclado.

2.3.2.2 Resistência à Compressão Axial e diametral

Para o concreto, a composição de todos os seus materiais influenciam diretamente na sua resistência e seu desempenho final. Por isso a análise do agregado é de extrema importância, principalmente observando-se que eles podem corresponder a até 80% de toda a mistura do concreto.

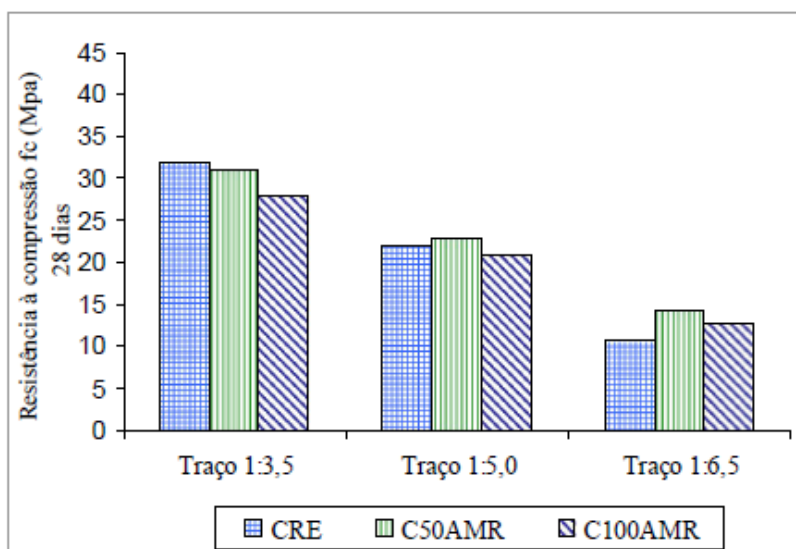
Segundo Hansen e Narud (1983), a resistência à compressão do concreto reciclado é amplamente controlada pela relação água cimento (a/c) do concreto original quando os outros fatores não são constantes. Diz-se então que se a relação água cimento do concreto original for a mesma ou maior que o concreto reciclado, então a resistência será tão boa ou melhor que o concreto confeccionado e vice-versa.

Segundo Gonçalves (2011) a quantidade de cimento e argamassa aderidas às partículas de agregado reciclado também influenciam na resistência à compressão simples. Quanto maior o quantidade de massa aderida, menor a resistência à compressão.

Concretos produzidos com agregados reciclados possuem pelo menos dois terços da resistência à compressão do concreto confeccionado com o agregado natural (MEHTA & MONTEIRO,

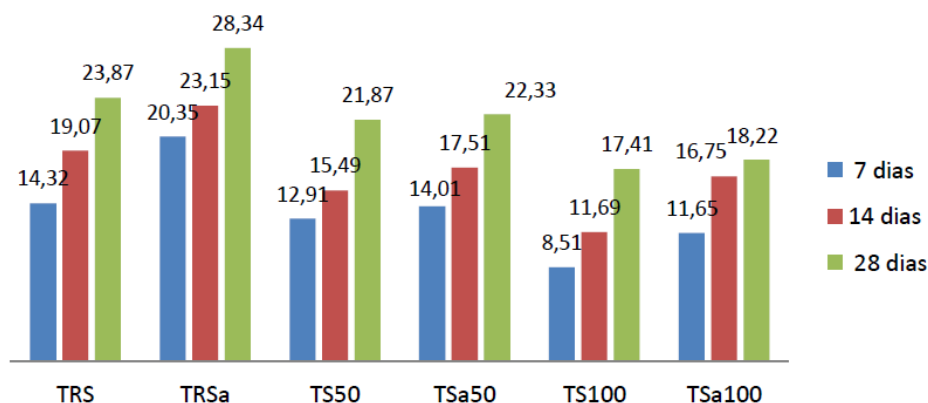
2008). Rodrigues (2011), encontra valores próximos de resistência à compressão simples dos concretos de referência e o reciclado, não chegando a ultrapassar 2% de redução, Figura 4.

Figura 4 - Valores de resistência à compressão simples aos 28 dias, Rodrigues (2011).



Já Veras (2012) observou que os concretos confeccionados com agregados na condição saturados de superfície seca apresentaram ganho de resistência à compressão quando comparados aos concretos produzidos com agregados secos e concretos com agregados saturados, Figura 5.

Figura 5 - Valores de resistência (MPa) obtidos em Veras (2012)



Fonte: Dissertação Veras (2012)

Os dados da relação entre ganho e perda de resistência à compressão simples entre concreto de referência e reciclado variam muito na literatura. Estudo como o de Machado Jr et al (2000)

verifica ganho de 14% na resistência da substituição parcial de 50%, e de 19% para substituição total.

Avaliando-se a quantidade de cimento aderido, tipo de beneficiamento, origem do material e predominância de frações minerais é que pode-se observar a influência de cada um na resistência do concreto. Os diversos estudos apontam usos, fases e origens distintas do agregado e esses elementos são decisivos para avaliação da resistência do concreto, por estes motivos encontram-se tantos resultados distintos na literatura.

Avaliando-se a influência do agregado reciclado quanto a relação a/c do concreto a ser produzido, conclui-se que ao se empregar uma relação água/cimento elevada ($>0,55$), a resistência à compressão será pouco afetada, pois a baixa resistência da zona de transição será menor que a do agregado reciclado. Por outro lado, quando se utiliza uma relação água/cimento baixa ($<0,40$), as características do agregado reciclado influenciam significativamente na resistência à compressão, pois o material menos resistente passa a ser o agregado (PRADO 2006).

2.3.2.3 *Módulo de elasticidade*

Fatores como relação a/c, teor e densidade dos agregados reciclados são variáveis que influenciam nos valores do módulo de elasticidade, de forma que quanto maior a relação a/c e o teor de agregado graúdo reciclado utilizado na mistura do concreto, menor será o valor do módulo de elasticidade (LEITE, 2001).

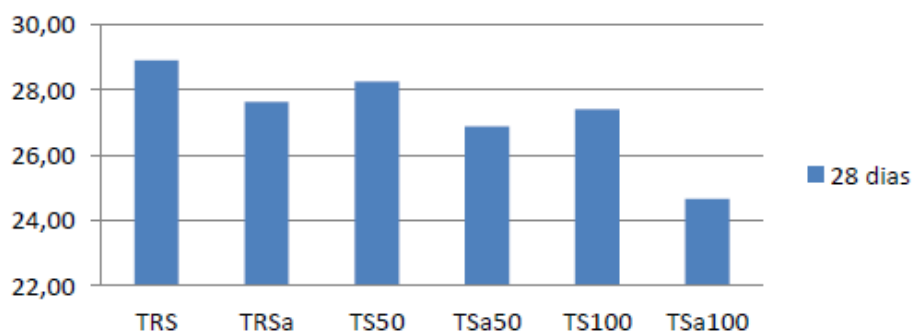
Segundo Isaia (2005), os teores de substituição do agregado influenciam no módulo elasticidade, identificando que quanto maior a substituição, menor o módulo elasticidade.

A porosidade é uma das propriedades que mais afetam o módulo de elasticidade do concreto. Isso se deve ao fato de que a porosidade do agregado determina sua rigidez, o que por sua vez, controla a capacidade do agregado resistir à deformação da matriz (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Estas influencias também foram observadas por Benetti (2012), que utilizou o método de ensaio do módulo de elasticidade dinâmico em concretos produzidos com agregados reciclados de concreto. Ainda afirma também que a influência da substituição é maior neste propriedade do que nos valores de resistência.

Veras (2012), verificou que o do módulo de elasticidade decresce à medida que se incrementa agregado reciclado na mistura (Figura 6). Esta redução ficou em torno de 2,18% para os concretos com 50% de substituição de agregados secos e 5,19% para os concretos com substituição total de agregados secos reciclados. Já para os concretos com agregados saturados, a redução ficou de 4,88% e 10,0% para concretos com agregados saturados com substituição parcial (50%) e total (100%), respectivamente. Este comportamento pode ser atribuído à menor massa específica do agregado reciclado.

Figura 6 - Módulo Elasticidade (GPa) aos 28 dias (VERAS, 2012)



Fonte: Veras, 2012

2.3.2.4 Esclerometria

De acordo com Mendes et al. apud Piton (2013) são recomendados na investigação de anomalias nas estruturas de concreto com os ensaios não destrutivos, sendo vários desses processos utilizados durante a inspeção em todo o mundo. O ensaio de esclerometria avalia a dureza superficial do concreto por meio do esclerômetro de reflexão, que se baseia no princípio do ricochete. Essa avaliação possibilita a verificação de homogeneidade da estrutura avaliando a qualidade do concreto. O mesmo também possibilita uma redução de moldagem de corpos de prova por se tratar de um método não destrutivo. Na Tabela 11 observa-se uma classificação qualitativa quanto ao índice de esclerometria (ie).

Tabela 11 - Análise qualitativa da esclerometria

Média (ie)	Qualidade da cobertura do concreto
> 40	Boa, superfície dura
30-40	satisfatória
20-30	Ruim
< 20	Fissuras/ concreto solto junto a superfície

Fonte: Chefdeville apud Pitan (2013)

Sampaio (2013) realizou ensaios de esclerometria a fim de avaliar a resistência superficial dos corpos de prova dos concretos convencional e reciclado. A autora obteve índices de esclerometria de 29 para os traços de referência e de 100% de substituição e o menor índice de esclerometria foi o de 27, encontrado na substituição de 50%.

2.4 Parâmetros de Dosagem

“Antes da realização de uma mistura de concreto, a seleção dos materiais componentes apropriados e das suas proporções é o primeiro passo para a obtenção de um produto que deverá atender à resistência especificada” (MEHTA & MONTEIRO, 2008). A heterogeneidade dos materiais que compõe os concretos e a complexidade de seu comportamento, tanto no estado fresco, quanto no endurecido requerem cuidados no proporcionamento dos seus materiais constituintes, para se obter misturas econômicas e que apresentem as características de mecânicas e de durabilidade desejadas (HELENE & TERZIAN, 1993).

Processo para determinar as proporções adequadas dos componentes de um concreto (água, cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e/ou aditivos). Essas proporções é o que se chama de dosagem ou traço. O traço diverge de acordo com a finalidade de uso e com as condições de aplicação, com o objetivo de obter características de trabalhabilidade adequada, enquanto fresco, e de resistência e durabilidade com o passar do tempo.

A trabalhabilidade do concreto é avaliada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test), enquanto a resistência em ensaios de ruptura à compressão.

O traço do concreto é representado através do T.U.M (traço unitário de massa), da de acordo com a Equação [1]:

$$1: a: b: a/c \quad \text{Equação [1]}$$

Onde:

1-Cimento;
a-areia;
b-brita;
a/c-relação água/cimento;

A relação água/cimento é um parâmetro utilizado na dosagem que influencia diretamente a resistência do concreto. Toma-se como exemplo para o cimento CII Z-32 a pasta atinge no mínimo 32 MPa de resistência após 28 dias usando como base uma relação água/cimento igual a 0,48 e um traço de 1:3 (1:m). Quando aumentada essa relação diminui-se sua resistência mínima, que não será mais de 32 MPa como estimado. Já a relação água/materiais secos influencia o abatimento do concreto.

Rela água-materiais secos (A%), Equação [2]:

$$A(\%) = \frac{100.(a/c)}{1+m} \quad \text{Equação [2]}$$

Onde:

m=a+b;
e A(%) -varia de 7,5 a 12%;

Teor de argamassa (α) é definido pela Equação [3]:

$$\alpha = \frac{1+a}{1+m} \quad \text{Equação [3]}$$

Onde:

α - varia entre 0,4 e 0,6;

Define-se o consumo de cimento (C_{cim}) por m³ de acordo com a Equação [4]:

$$C_{cim} = \frac{1000 - \text{teor de ar incorporado}}{0,32 + \left(\frac{m}{2,65}\right) + a/c} \quad \text{Equação [4]}$$

Onde:

0,32- Traço de cimento/ densidade;
2,65- Densidade do agregado;

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Introdução

O programa experimental da pesquisa foi desenvolvido com o intuito de utilizar o resíduo da construção civil como agregado graúdo reciclado para produção de concreto, avaliando-se possíveis mudanças nas propriedades do mesmo.

No que tange à execução dos procedimentos utilizados durante a pesquisa experimental, foram definidas 03 (três) etapas principais. A etapa inicial consiste na coleta dos materiais estudados e preparação das amostras que serão utilizadas nos ensaios. A segunda etapa corresponde à caracterização física e mecânica dos agregados, sejam natural ou reciclado, cujas propriedades influenciaram na dosagem adequada do concreto convencional e reciclado, com os correspondentes teores de substituição. Levando, portanto, à terceira e última etapa, cujos ensaios mecânicos envolvem a produção de corpos de prova e o estudo das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. A Figura 7 apresenta um resumo do programa experimental adotado na pesquisa.

Figura 7 - Etapas do Programa Experimental.

1ª ETAPA

- COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS
- QUARTEAMENTO E PENEIRAMENTO

2ª ETAPA

- ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO:
- GRANULOMETRIA; TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO; MASSA ESPECÍFICA E UNITÁRIA; TEOR DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E ABRASÃO LOS ANGELES.

3ª ETAPA

- ENSAIOS MECÂNICOS
- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL; MÓDULO ELASTICIDADE DINÂMICO E ESCLEROMETRIA

3.2 Coleta dos Materiais

3.2.1 Agregado Reciclado

A coleta dos resíduos investigados nesta pesquisa foi realizada em uma Usina de Reciclagem, localizada em Camaragibe – PE, onde o tratamento do RCC se dá por meio de beneficiamento e separações balísticas, por meio de um equipamento elétrico com capacidade de processar de 60 a 70 toneladas/hora de resíduos. A usina foi instalada em 2011 e recebe resíduo da Região Metropolitana do Recife (RMR), principalmente da cidade do Recife.

Para a realização do estudo experimental, buscou-se utilizar agregado graúdo reciclado compatível com os agregados naturais comumente empregados nas obras da região, neste caso a brita nº 19 mm. O resíduo coletado foi do tipo cinza, que se refere ao material selecionado oriundos de concreto, onde a parcela de alvenaria cerâmica é mais reduzida.

O material processado, utilizado na pesquisa, foi proveniente de demolições de blocos de concreto e corpos de prova de concreto. Segundo levantamento realizado junto à administração da usina, a principal origem do material era de obras de revitalização da Avenida Caxangá, Recife-PE, onde pôde ser registrado e constatado o uso de concreto (Figura 8).

Figura 8 - (a) Principal origem do material processado; b) Obras na Avenida Caxangá.



Todo o material passou por um processo de triagem, redução do tamanho dos blocos, para adequá-los melhor ao britador, e estocados na pilha de RCC cinza apresentada na Figura 9.

Após estas etapas, o resíduo foi transportado para o britador por meio de tratores, como mostra a Figura 10.

Figura 9 - Concreto utilizado para a britagem, empilhados no pátio de triagem.



Figura 10 - Transporte (a) e despejo (b) do material no britador realizado por meio de trator.



Quando processado, o resíduo é dividido em material de bica corrida, que corre por uma esteira separada, e material que segue em outra esteira para peneiramento. Neste peneiramento, o material é levado em esteiras que separam as frações de diferentes tamanhos, despejando-as em pilhas distintas. Foi selecionado o material disposto na pilha processada de 19 mm do material cinza, ilustrada na Figura 11.

Figura 11 - (a) e (b) - Pilha da Brita 19 mm, material cinza processado.



Durante a coleta do agregado graúdo reciclado (brita 19 mm), o material foi obtido no cume, no centro e na base da pilha, buscando coletar as diversas dimensões de grãos que se depositam ao longo dela, conforme registrado na Figura 12.

Figura 12 - Coleta do agregado graúdo de RCC realizada no cume (a), no centro (b) e na base (c) da pilha processada e, em seguida, acondicionado em sacos plásticos (d).



Para o auxílio da coleta, foram utilizadas duas camadas de sacos plásticos para suportar o peso de 30 kg por saco. A quantidade calculada seguiu como estimativa a quantidade em litros de concreto presente no corpo de prova utilizado na pesquisa, ou seja, 10 cm x 20 cm. Estimando-se que seriam moldados 250 corpos de prova, obteve-se um total de 400 litros de concreto. Como aproximadamente 70% da massa do concreto é constituída de agregados, seriam necessários aproximadamente 560kg de agregado total, porém para manter-se uma margem de segurança o valor considerado foi de 600kg de material.

Desta forma, coletou-se 21 sacos, sendo um saco considerado reserva técnica. Para o auxílio desta coleta foi utilizada uma balança doméstica (Figura 13a, b,c) com capacidade de 150 kg.

Após a coleta e pesagem, o material foi lacrado (Figura 13d) e encaminhado para o Laboratório Avançado da Construção Civil (LACC) da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (UPE), onde foram executados os ensaios de caracterização do agregado.

Figura 13 - Material ensacado e amarrado.



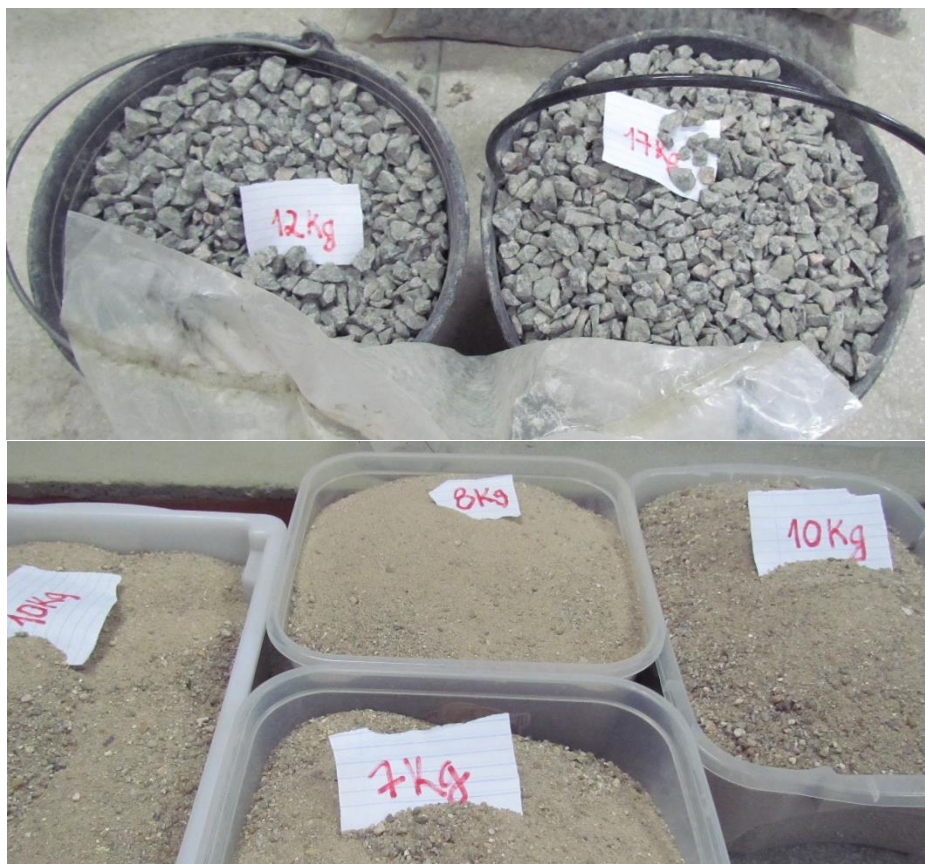
3.2.2 Agregados Naturais

Os agregados naturais, tanto gráúdo como miúdo, foram obtidos em uma empresa da região, que comercializa agregados ensacados, buscando-se estabelecer qualidade e homogeneidade destes materiais.

O material necessário para os ensaios de caracterização dos agregados naturais e moldagem dos corpos de prova para os ensaios em concreto também seguiu a base de cálculo utilizada para a coleta do agregado gráúdo reciclado, gerando uma estimativa total de 600 kg de material.

A empresa comercializa os agregados naturais em sacos de 20kg (Figura 14), desta forma foram necessários 15 sacos para cada tipo de agregado, miúdo e gráúdo natural.

Figura 14 - Agregados naturais gráúdo e miúdo usados na pesquisa.



O agregado miúdo selecionado foi a areia grossa lavada, cuja principal lavra de extração localiza-se as margens do Rio Sirinhaém, no município de Sirinhaém- PE. Já o agregado gráúdo

selecionado foi a brita 19mm, que é mais utilizada pelo mercado da construção civil no estado de Pernambuco.

A empresa forneceu ainda dados de caracterização dos agregados, porém estes estavam desatualizados, contudo também serviram de parâmetro na análise dos resultados obtidos em laboratório.

3.2.3 Aglomerante

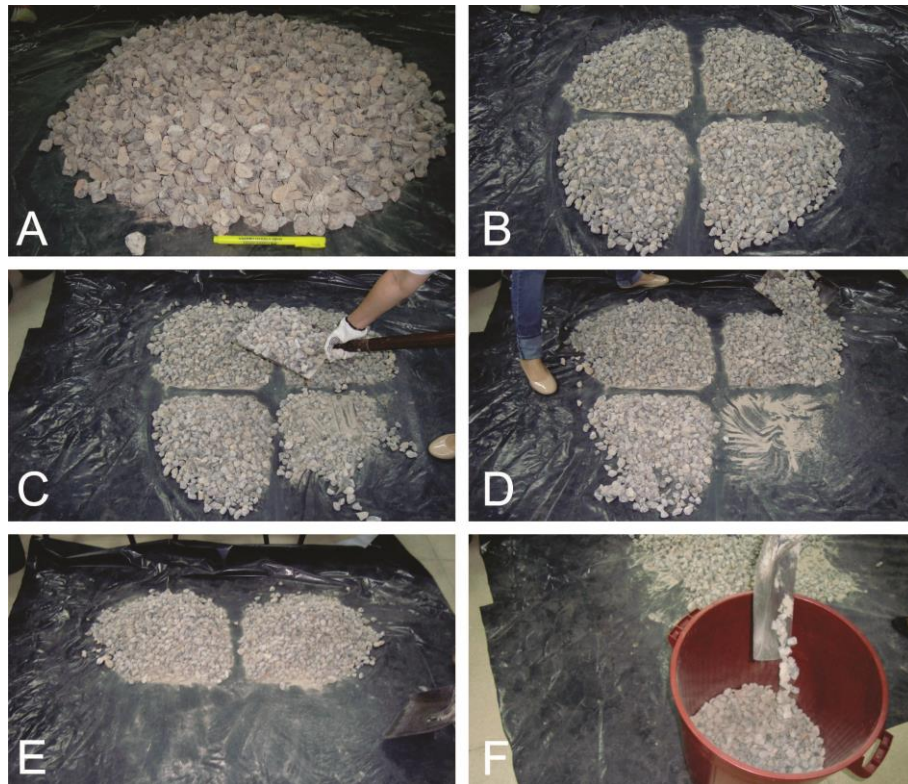
Para a produção de concreto, utilizou-se nesta pesquisa o cimento Portland Composto com Pozolana (CPII Z -32), mais comumente usado na região e também utilizado em outras pesquisas do grupo AMBITEC da UPE. Os dados de caracterização foram fornecidos pelo fabricante, atendendo a normalização específica.

Foram necessários 05 sacos de cimento com 50kg cada, onde aproximadamente 250kg foram utilizados na pesquisa.

3.3 Preparação das amostras

Antes do início dos ensaios, foi realizado o quarteamento, dos agregados natural e reciclado, representado nas etapas da Figura 15. O procedimento foi realizado em todas as amostras de agregados, com o intuito de homogeneizá-las, juntando as partículas de diferentes dimensões e, em seguida, o material foi acondicionado em um recipiente fechado. Este procedimento era repetido com a quantidade necessária para realização de cada ensaio.

Figura 15 - Processo de quarteamento das amostras.



3.3.1 Composição Gravimétrica do RCC

Foram coletadas amostras pré-britadas do RCC para realização da composição gravimétrica, por ser de fundamental importância para análise do resíduo estudado (Figura 16). Estas amostras permitiram identificar que a composição do material britado são predominantemente de placas de concreto de diferentes usos.

Figura 16 - Material coletado da amostra pré-britagem, oriundo das placas da Avenida Caxangá, Recife-PE.



Entretanto, a fim de estabelecer uma caracterização do agregado, de forma mais precisa, também foi realizada uma separação tátil-visual do material pós-beneficiamento (Figura 17) já que os blocos maciços do concreto pré-britagem possuem granulometria muito superior ao produto final destinado, que é o agregado graúdo reciclado, para se identificar as proporções entre brita e brita mais argamassa. O material cerâmico apresentou valores inferior a 1%, sendo então descartado.

Figura 17 - Separação tátil-visual de material pós-beneficiado



3.4 Ensaios de caracterização dos materiais utilizados na pesquisa

Os ensaios de caracterização dos agregados natural e reciclado foram realizados no Laboratório Avançado da Construção Civil (LACC) da Universidade de Pernambuco (UPE) e em uma empresa privada da região, especialista em ensaios com materiais de construção civil, que trabalha em parceria com pesquisas da universidade.

A Tabela 12 indica um resumo dos ensaios de caracterização dos agregados realizados nos agregados graúdos, tanto o natural como o reciclado e também no agregado miúdo natural, seguindo as normas técnicas da ABNT.

Tabela 12 - Ensaio realizados nos agregados natural e reciclado.

Ensaio	Agregados		
	Miúdo	Graúdo	
		Natural	Reciclado
Granulometria (NM 248:2003)	X	X	X
Teor de material Pulverulento (NM 46:2003)	X	X	X
Massa unitária (NM 45:2006)	X	X	X
Massa específica e absorção de água (NM 53: 2009)		X	X
Massa específica (NM 52:2009)	X		
Absorção de água (NM 30:2001)	X		
Abrusão Los Angeles (NM 51:2001)		X	X

3.4.1 Análise Granulométrica

A granulometria das amostras dos agregados foi realizada de acordo com a norma NBR NM 248/2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica).

Para o Agregado Miúdo Natural (AMN), foram separadas amostras para realização de 03 repetições do ensaio, a fim de se obter uma média, aproximadamente 3,0 kg, que permaneceram em estufa a uma temperatura de 112°C por 24h. Após este período, as amostras foram retiradas da estufa e esfriaram a temperatura ambiente. Pesou-se 1,0 kg para cada amostra em uma balança com resolução de 0,1% da amostra e foi então realizado o peneiramento. Para o resultado foi utilizado a média destas 3 repetições.

As peneiras da Série Normal de aberturas 2,36mm; 1,18mm; 600µm; 300µm e 150µm foram acopladas em ordem decrescente, da maior abertura para a menor abertura, em um único conjunto de peneiras. No final foi colocado um fundo de peneira. Em seguida, foi colocada a primeira amostra na peneira superior e uma tampa de peneira, para iniciar o peneiramento. À medida que foi se peneirando, a quantidade de material retido em cada peneira foi anotado. Quando todos os materiais retidos foram anotados, pesou-se o material que foi peneirado e estava presente no fundo de peneira. Para todas as amostras seguintes foi repetido o mesmo procedimento. A Figura 18 mostra as peneiras acopladas para o ensaio e os demais instrumentos utilizados.

Figura 18 - Ensaio de granulometria.



Da mesma maneira foi realizado o peneiramento do agregado gráúdo natural e reciclado, sendo utilizadas a média de três repetições de 5,0 kg de amostra, além das peneiras utilizadas no ensaio do miúdo também foram utilizadas as da série normal e intermediária de abertura 33mm; 25mm; 19mm; 12,5mm; 6,3 mm, 4,8mm.

3.4.2 Teor de material Pulverulento

O ensaio de determinação do teor de materiais pulverulentos nas amostras foi executado de acordo com a norma da ABNT – NBR NM 46/2003 (Determinação do material fino que passa através da peneira de 75 μ m, por lavagem) e tem por finalidade determinar o módulo de finura da amostra, ou seja, a quantidade de materiais finos que a amostra possui.

Utilizou-se a quantidade de amostra segundo a norma para cada agregado natural e reciclado, após a secagem na estufa e resfriada à temperatura ambiente, e em seguida, colocou-se em um recipiente de modo que a água que fosse colocada nele não transbordasse quando fosse agitado. Nesse caso, usou-se um recipiente de capacidade de 10 litros. Posteriormente, adicionou-se água, Figura 19a, e lavou-se o material até que a água despejada dele ficasse transparente, Figura 19b. Cada vez que se despejou essa água passou-se pelas peneiras de abertura 1,19 mm e de 75 μ m, nesta ordem, a fim de conhecer o material que passa pela peneira de abertura 75 μ m, que é o material fino. Utilizou-se a peneira de abertura 1,19 mm, para proteger o material passante.

Quando a água da lavagem do material atinge a coloração que se quer (observa-se isso colocando a água em um béquer de vidro, Figura 19d, e coloca-se todo o material que não passou na peneira de abertura 75 μ m em um fundo de peneira, Figura 19c. Lavou-se

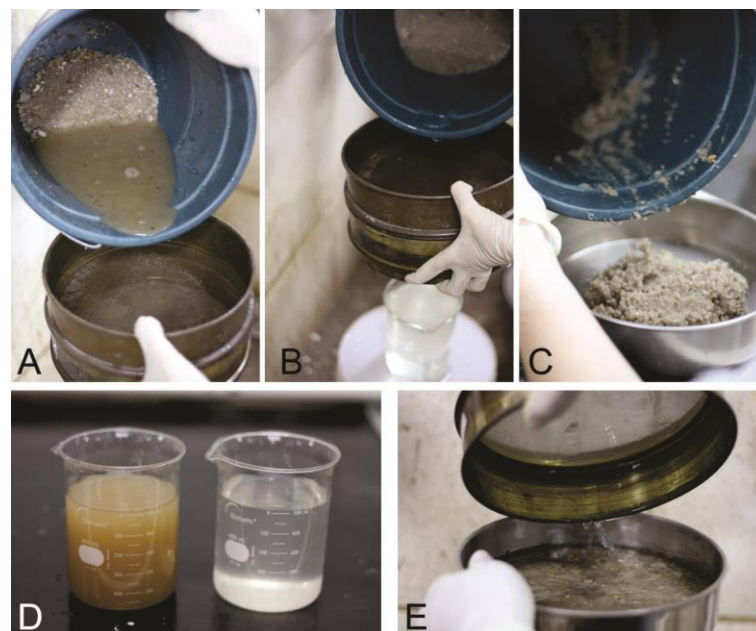
cuidadosamente todas as peneiras para não haver nenhuma perda de material, Figura 19e, e juntou este material ao do recipiente de 10 litros, que também não passou na peneira de 75 μ m.

Antes de colocar o material na estufa em temperatura de 105°C por 24h para secagem, retirou-se o máximo de água possível do fundo da peneira em que ele foi colocado.

Após 24h, retirou-se o material da estufa, pesando-o em balança. Com o valor encontrado da massa final e massa inicial, calculou-se o teor de materiais pulverulentos na amostra.

Este procedimento foi repetido em uma segunda amostra dos materiais para determinar o resultado do módulo de finura, que é a média aritmética das duas medições encontradas.

Figura 19 - Ensaio para determinar teor de material pulverulento.



Fonte: Autora.

3.4.3 Massa unitária

O ensaio de determinação da massa unitária dos agregados natural (miúdo e graúdo) e reciclado graúdo foi realizado de acordo com a norma da ABNT – NBR NM 45/2006 (Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios). A amostra necessária para a realização desse ensaio deve ser constituída com aproximadamente 150% a mais da quantidade do material necessário para encher o recipiente que será utilizado nesse ensaio, de forma que haja material suficiente para o seu transbordamento.

Primeiramente, determina-se a massa do recipiente vazio, pesando-o em uma balança com resolução de 50g (Figura 20a). Em seguida, realizou-se a execução do procedimento de determinação da massa unitária de acordo com o Método “C” determinado e descrito na norma da ABNT utilizada. Enche o recipiente com o agregado com o auxílio de uma pá até que a amostra transborde (Figura 20b). Lembrando que, de acordo com a norma, deve-se encher o recipiente evitando ao máximo a segregação dos agregados constituintes da amostra e, deve-se despejar o agregado no recipiente de uma altura que não supere 50 mm acima da borda superior do mesmo. Nivelar-se a camada superficial do agregado e registra-se a massa do recipiente mais o seu conteúdo como indicado na Figura 20c (a massa do agregado contida no recipiente). Este procedimento foi executado cinco vezes consecutivas em cada agregado natural e reciclado e depois tirou-se a média de cada um, tanto no gráudo como miúdo.

Figura 20 - Ensaio de massa unitária.



Fonte: Autora.

Para realizar os cálculos necessários para a determinação da massa unitária é necessária a determinação do volume do recipiente utilizado, que foi obtido calibrando o recipiente. A calibração do recipiente segue os seguintes passos: enche-se o recipiente de água, de forma que fique na iminência de transbordar. Pesa-se em balança, o recipiente mais o seu conteúdo, neste caso a água, para descobrir a sua massa. Para determinar o volume do recipiente, que é a massa que a água preencheu no recipiente, diminui-se a massa do recipiente da massa do recipiente contido com água.

3.4.4 Massa Específica

O ensaio foi realizado no agregado miúdo natural de acordo com a norma da ABNT – NBR 52/2003 (Determinação da massa específica e da massa específica aparente), que tem por finalidade determinar a relação entre a massa do agregado seco e o seu volume.

No procedimento, coloca-se água no frasco de Chapman, Figura 21, com o auxílio de um funil até a marca de 200 cm³, evitando-se que a água escorra nas faces internas do frasco.

Adiciona-se 500g do agregado e induz-se uma leve agitação para retirada de partículas de ar. Após a sedimentação do material, é realizada a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco. A medida indica o volume ocupado pela água mais o agregado.

Figura 21 - Frasco de Chapman



Fonte: Autora.

Já no agregado graúdo reciclado e natural, os ensaios de massa específica foram realizados de acordo com a norma da ABNT – NBR 53/2009 (Agregado Graúdo- Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção), descritos no item 3.4.5.

3.4.5 Absorção à água

O ensaio para a determinação da absorção de água para o agregado miúdo natural foi realizado de acordo com a norma da ABNT – NBR NM 30/2001, que estabelece o método para tal

determinação nos agregados miúdos na condição de saturado superfície seca, para o uso em concretos.

O ensaio caracteriza-se pela imersão em água por 24h de uma amostra previamente seca em estufa e após este período é realizado uma secagem com circulador de ar até que a sua superfície não contenha mais gotículas de água. Após este processo, coloca-se parte da amostra em um molde tronco cônico, efetuando-se 25 golpes com uma haste de compactação. Esta ação é repetida até que o agregado não se conserve mais na forma do molde, desmoronando. Assim o agregado terá atingido condição de saturado superfície seca (sss).

Já para o agregado graúdo, utiliza-se a norma NBR NM 53/2009, onde são obtidos os valores de massa específica, massa específica aparente e absorção.

Para este ensaio é necessário um cesto de arame com abertura de malha de 3,35mm e uma balança com suporte hidrostático. Primeiro submerge-se o agregado em um recipiente com água dentro da cesta, então se pesa o agregado em água utilizando-se uma balança hidrostática como indicado na Figura 22a. Em seguida, o agregado deverá descansar por um período de 24h imerso na água e só depois é retirada a amostra, que será envolvida em um pano absorvente até que o brilho da água seja eliminado da superfície (Figura 22b). Pesa-se a amostra na sua condição de saturada superfície seca (sss). Posteriormente, o agregado deverá passar 24h na estufa com temperatura entre 100°C a 110 °C para determinação da massa do agregado seco.

Figura 22 - Ensaio de absorção de água e massa específica do agregado graúdo



Fonte: Autora.

3.4.6 Abrasão Los Angeles

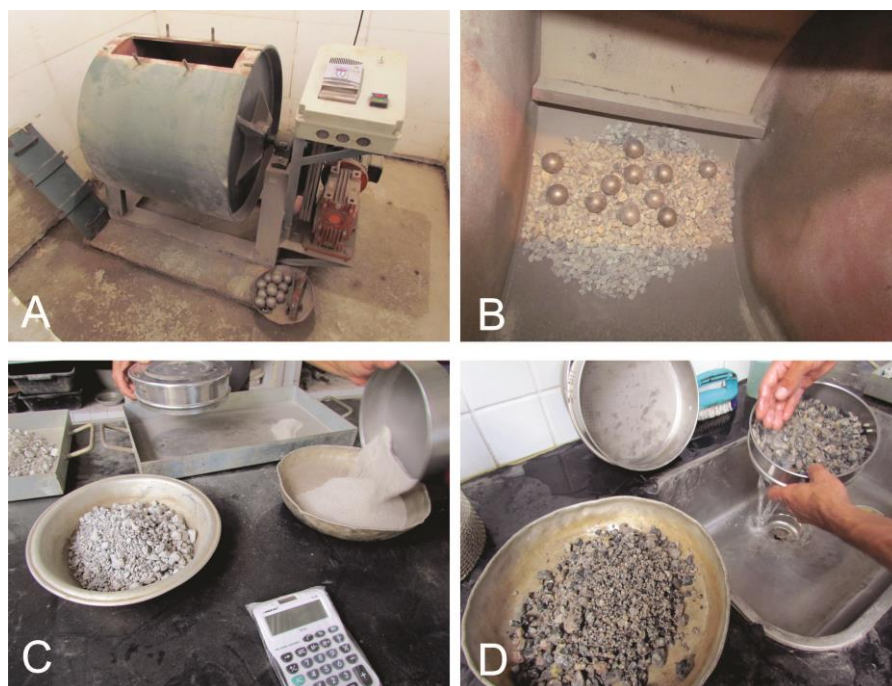
O ensaio de abrasão mede a resistência ao desgaste superficial dos grãos de agregado quando é submetido ao atrito. Assim, determina-se a resistência à fragmentação do agregado por choque

ou atrito das partículas do agregado graúdo, ou seja sua capacidade de não se alterar (dissolver) quando manipulado, o que poderia diminuir seu diâmetro.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma da ABNT – NBR NM 51:2001(Ensaio de Abrasão Los Angeles). A capacidade é medida na máquina “Los Angeles”, composta por um tambor cilíndrico (Figura 23a), que gira durante um tempo estabelecido com agregado mais bolas de ferro fundido no seu interior, como ilustrado na Figura 23b.O impacto das bolas com o agregado provoca o desgaste dos grãos.

A amostra entra no ensaio com uma granulometria definida e depois do atrito, peneira-se novamente, a fim de medir o desgaste (figura 23c). Após o peneiramento na peneira de 1,63mm, o material deve ser lavado (Figura 23d) para retirada das partículas finas e após período de secagem na estufa deve-se obter a massa final da amostra.

Figura 23 - Ensaio de abrasão “Los Angeles”



Fonte: Autora.

Ressalta-se que a especificação de agregado para concreto NBR 7211:2009 estabelece que o índice de desgaste por abrasão não deve ser inferior a 50% em massa do material inicial.

3.5 Dosagem experimental

As pesquisas sobre concretos produzidos com RCC têm adotado métodos de dosagens variados. Em função da heterogeneidade deste tipo de material, nesta pesquisa não seguiu-se nenhum

método de dosagem comumente usados para este fim. Entretanto para fins de cálculos dos consumos auxiliando-se no método IBRACON ou seja, estabelecer três constantes: a relação água- materiais secos, a relação água-cimento e o teor de argamassa a fim de realizar uma comparação da resistência final do concreto reciclado e o de referência. Considerando um traço de concreto em massa dado por 1:a:b:x (cimento: areia: brita: água) foi relacionado para cada parcela as propriedades que se desejou obter. A relação água- materiais secos (A) ficou estabelecida em 10% e as relações água- cimento (a/c) estabelecidas foram de 0,5, 0,6 e 0,7.

De acordo com HELENE e TERZIAN (1993), a relação água cimento (a/c) é o fator que mais influencia na resistência do concreto. Assim, foram selecionados nesta pesquisa os três traços para as substituições de 0%, 50% e 100% de agregado graúdo reciclado na produção dos concretos.

Dados iniciais

Definiu-se como parâmetro para este estudo, produzir um concreto que possuiria valor de resistência normal classificada entre 20 e 50 MPa (PEDROSO, 2009), seguindo a recomendação da NM 15 116/2004 para aplicação de agregados reciclados. Assim a resistência à compressão simples para as relações a/c determinadas atingem valores próximos a 32MPa e abatimento de 10 ± 2 cm. Para tanto, fixaram-se alguns valores (estimando-os), e com os cálculos do método IBRACON, obteve-se os demais parâmetros do traço para a realização prática desta dosagem experimental.

Utilizou-se cimento CP II Z-32, agregados graúdos natural e/ou reciclado e areia grossa 4,8 mm adotando-se as relações mencionadas de $(a/c) = 0,50$, $(a/c) = 0,60$ e $(a/c) = 0,70$. Com uma relação de água-materiais secos $(A (\%)) = 10\%$, e para o teor de argamassa (α) adotou-se $\alpha=0,5$ (valor estimado e fixado), o consumo de cimento para o traço de $a/c = 0,5$ foi de 429kg/m^3 , $a/c = 0,6$ foi de 356kg/m^3 e $a/c = 0,7$ foi de 304kg/m^3 . Estes valores estão demonstrados na Tabela 13.

Tabela 13 - Cálculo de dosagem do concreto

Relação água-cimento	Relação água-materiais secos (10%)	Teor de Argamassa (0,50) %	Consumo de Cimento (Cc) Kg
a/c = 0,5	m = 4	a=1,5 b=2,5	429
a/c = 0,6	m = 5	a=2 b=3	356
a/c = 0,7	m = 6	a=2,5 b=3,5	304

Definido o total de 30 corpos de prova (10 x 20 cm) por família para realização de todos os ensaios de concreto moldado (3 cp's para o ensaio de resistência à compressão simples para todas as idades; 2 cp's para a resistência à compressão por tração diametral, para todas as idades; 5 cp's para o ensaio não destrutivos, de módulo elasticidade aos 28 dias e dentre estes selecionados 3cp's para esclerometria aos 120 dias), obteve-se um valor de 0,042m³ de consumo de cimento por cp. Na tabela 14 observa-se a quantidade de material utilizada por traço para cada moldagem.

Tabela 14 - Material utilizado em cada traço (kg/m³)

Materiais	Traço a/c=0,5	Traço a/c=0,6	Traço a/c=0,7
Traço	1:1,5:2,5	1:2:3	1:2,5:3,5
Cimento (Kg/m ³)	20	16	14
Areia (Kg/m ³)	30	32	35
Brita (Kg/m ³)	50	48	49
Água (Kg/m ³)	10	9,6	9,8

3.6 Preparo, moldagem e cura dos corpos de provas

O concreto é produzido quando seus constituintes (água, cimento, brita e areia) são colocados na betoneira, sendo misturados, durante um tempo padrão de 4 minutos. Nesta pesquisa, porém, este tempo foi alterado para 6 minutos os traços de relação a/c = 0,5 e 0,7. Os componentes foram colocados na betoneira (Figura 21) segundo a seguinte ordem: inicialmente colocou-se metade da água designada para aquele traço, depois foi adicionada a brita, em seguida o cimento, a areia e só então, o restante da água. O cimento e a água reagem e formam a pasta que adere os demais componentes. Os valores para as massas assim como o consumo de cimento são previamente calculados, conforme item 3.5, uma vez estabelecidos o teor de argamassa, a relação água-cimento e a relação água-materiais secos.

Figura 24 - Betoneira com materiais inseridos para mistura do concreto.



Algumas pesquisas com agregados reciclados chamam a atenção para o fato de se molhar previamente o resíduo para melhorar a trabalhabilidade (RODRIGUES, 2012), porém outras pesquisas indicam o risco de saturação do concreto, que dificultaria nas misturas homogêneas e influenciaria na relação água cimento, conseguinte em sua resistência. Esta influência é maior no agregado miúdo. Para que não houvesse influencia na relação a/c, nesta pesquisa optou-se em não umedecer a amostra.

Foram dosadas 09 (nove) famílias de concreto, sendo elas, referência, substituição parcial de 50% do agregado graúdo e substituição total (100%) do agregado graúdo. Em todas as substituições foram utilizados 03 (três) traços, um rico, um intermediário e um pobre. Na Tabela 15 observa-se um resumo das famílias de concreto estudados na pesquisa:

Tabela 15 - Valores dos traços de dosagem dos concretos

Substituição do agregado graúdo reciclado (%)	TRAÇO - 1:a:b		
	a/c = 0,5	a/c = 0,6	a/c = 0,7
0 (referência)	1:1,5:2,5	1:2:3	1:2,5:3,5
50	1:1,5: (1,25:1,25)	1:2: (1, 5:1,5)	1:2,5: (1,75:1,75)
100	1:1,5: (0:2,5)	1:2: (0:3)	1:2,5: (0:3,5)

1 –cimento: a - agregado miúdo: b – agregado graúdo

Para cada família, foram utilizados 05 (cinco) corpos de prova (10cm x 20cm) por dia de rompimento (sendo três para os ensaios de resistência à compressão simples e dois para a tração por compressão diametral), em suas respectivas idades (3, 7, 14, 28 e 120 dias). Considerando-se que foram nove famílias, obteve-se um total de 225 corpos de prova. O concreto moldado permaneceu 24h dentro da forma de corpo de prova (Figura 25) devidamente identificado e em seguida quando desmoldado foi levado a cura. Com relação às condições de cura, os corpos de prova de concreto foram imersos em água, após a moldagem, e permaneceram no estado de imersão até o dia de seus respectivos rompimentos.

Figura 25 - Corpos de Prova moldados e identificados.



3.7 Ensaios no Concreto

Os ensaios no concreto reciclado e natural foram realizados no Laboratório Avançado da Construção Civil (LACC) e no Laboratório de Materiais da Construção Civil (LMCC), ambos da Universidade de Pernambuco (UPE) e em uma empresa privada da região, especialista em ensaios com materiais de construção civil, que trabalha em parceria com pesquisas da universidade. A Tabela 16 indica um resumo dos ensaios realizados no concreto em seu estado fresco e endurecido as normas técnicas da ABNT e normas da American Society for Testing and Materials (ASTM).

Tabela 16 - Ensaio realizados no concreto.

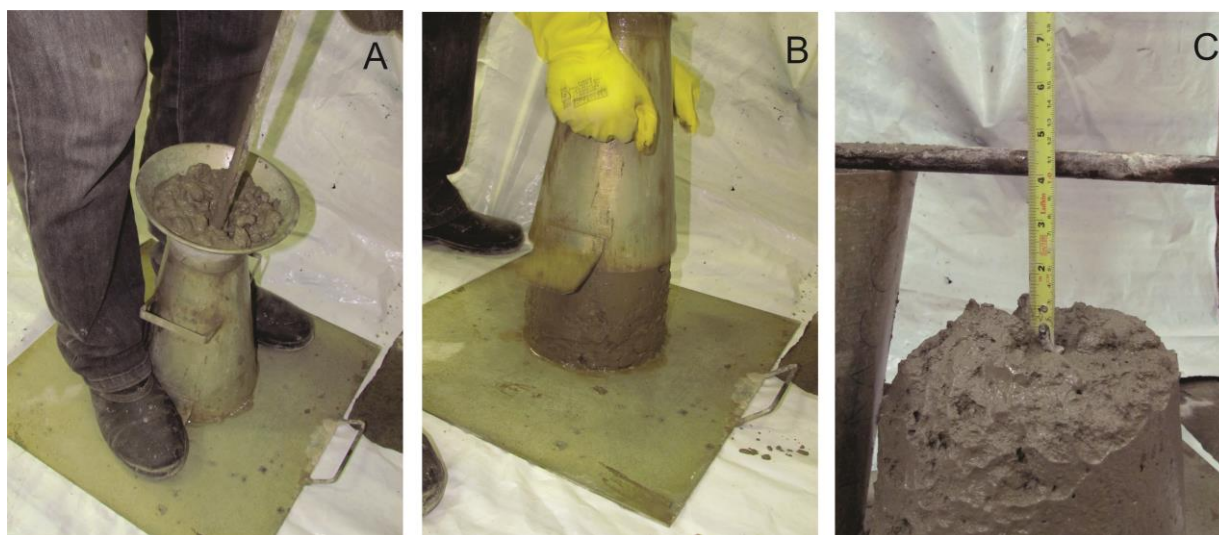
Ensaio	Norma
Ensaio de abatimento de tronco – Slump Test	NBR NM 67/1998.
Concreto Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova	NBR NM 5738/2003
Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos	NBR NM 5739/2007
Resistência à tração por compressão diametral	NBR NM 7222/1994
Módulo elasticidade	C597 (ASTM ,2009)
Esclerometria	NBR NM 7584/1995

3.7.1 Ensaio de abatimento de tronco – Slump Test

Logo após a produção de todas as famílias de concreto, foi realizado o Slump test, Figura 26, ou teste da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone. Seguindo-se os procedimentos especificados na NBR NM 67/1998.

Este ensaio deve ser realizado no concreto ainda no estado fresco, ou seja, no instante imediatamente após ser retirado da betoneira ao final de todas as rotações. A mistura foi colocada em um molde de tronco de cone (Figura 26) e uma placa de base umedecida, para analisar a trabalhabilidade do concreto, foi colocada abaixo da estrutura.

Figura 26 - Ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.



O molde foi preenchido com o concreto de cada família, em três camadas. Cada camada é compactada, recebendo 25 golpes por meio de uma haste de compactação. No momento de preencher cada camada, o operador que está realizando o ensaio deve colocar todo seu peso sobre as bases do cone, para que o concreto não desforme antes do tempo e deslize por baixo.

Após as três camadas serem compactadas, o operador do ensaio tem dez segundos para levantar o tronco de cone, onde uma vez retirado o molde, mede-se o abatimento, obtido pela diferença entre a altura do molde e a altura média do concreto fresco desmoldado. O abatimento não deve ser nem muito alto, nem muito baixo, ou do contrário, será de grande dificuldade a moldagem dos corpos de prova.

3.7.2 Ensaios do concreto no estado endurecido

Antes dos corpos-de-prova serem submetidos aos ensaios de avaliação de resistência à compressão simples e resistência à tração por compressão diametral, os mesmos foram retificados (Figura 27) de acordo com a NBR 5738/2003 (Concreto Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova), à medida que foram retirados da imersão para a realização dos ensaios.

A retificação consistiu na remoção de uma fina camada de material do topo dos corpos-de-prova de concreto, proporcionando, dessa forma, uma superfície lisa e livre de ondulações para que a carga quando fosse aplicada sobre o corpo atingisse toda a área uniformemente. Caso a superfície não estivesse lisa, certas áreas iriam receber uma concentração maior de carga, e o rompimento se daria de maneira incorreta.

Figura 27 - Retificação dos corpos de prova.



3.7.2.1 Resistência à compressão simples

O ensaio de resistência à compressão simples ou axial de corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 x 20 cm foi executado segundo a NBR 5739/2007 (Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos). As rupturas foram realizadas em uma prensa universal computadorizada, com capacidade máxima de 600 kN. O tempo de cura foi de 3 dias.

Para a execução do ensaio, inicialmente os pratos da máquina foram limpos e secos. Em seguida, cada corpo-de-prova era colocado na máquina, de tal modo que ele ficasse centralizado em relação à prensa, para que a carga fosse aplicada de maneira uniforme sobre toda a superfície de contato. O acréscimo de carga é interrompido quando o programa de execução do ensaio conectado à prensa detecta uma diminuição de força, indicando assim a ruptura do corpo de prova (Figura 28).

Figura 28 - Rompimento de corpo de prova



Foram rompidos três corpos de prova de cada família, cujo resultado da tensão máxima de cada família para uma determinada idade foi obtido como o indicado na Norma, ou seja, utiliza-se o maior valor encontrado dentre os três rompimentos. Foram rompidos neste ensaio um total de 135 corpos de prova, 15 (quinze) por família para a avaliação da resistência à compressão simples.

3.7.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral foi executado segundo a NBR 7222/1994. Para a análise da compressão diametral foram moldados dois corpos de prova para cada família, nas idades de 3, 7, 14, 28 e 120 dias, sendo utilizados no total 90 corpos de prova, 10 (dez) por família. Para realização deste ensaio foi necessária uma adaptação na prensa (Figura 29), com apoio de uma barra metálica para o rompimento.

Figura 29 - Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.



O ensaio possui essa denominação porque o esforço que a máquina aplica sobre o corpo de prova é de compressão, mas a reação que o corpo de prova emite à máquina é de tração, e como a carga é aplicada sobre o corpo na lateral, diz-se que o rompimento foi realizado à tração por compressão diametral.

Seguindo-se as recomendações da referida Norma, foram colocadas duas tiras de madeira nas laterais dos corpos de prova com o auxílio de uma fita adesiva, de tal forma que o comprimento da tira de madeira fosse de mesmo comprimento que o corpo de prova cilíndrico (Figura 30).

As tiras foram posicionadas no meio da base do objeto de estudo, com a finalidade de direcionar a força exercida pela prensa universal.

Figura 30 - Tiras de madeira com mesmo comprimento do Corpo-de-Prova.



Os corpos-de-prova foram colocados com as tiras de madeira entre os pratos da prensa para o início do carregamento. A prensa utilizada foi a mesma do ensaio de resistência à compressão simples, cuja capacidade máxima é de 600 kN. O carregamento foi encerrado quando houve a ruptura do corpo de prova.

3.7.2.3 Ensaio de módulo elasticidade dinâmico

O ensaio de módulo elasticidade dinâmico é determinado a partir de métodos não destrutivos e baseando-se na C597 (ASTM ,2009) e no estudo de BENNETI (2012). O ensaio foi realizado em 05 (cinco) corpos de prova de cada uma das 09 (nove) famílias, aos 28 dias, totalizando assim 45 corpos de prova. Para a realização do ensaio foi utilizado o equipamento PUNDIT (aparelho de ultrassom portátil digital), ilustrado na Figura 31, para leitura da velocidade ultrassônica, e uma balança para obtenção do peso de cada amostra, para posterior determinação da densidade de cada corpo de prova.

Figura 31 - Ensaio de módulo elasticidade.



Além destas determinações, outro dado necessário para determinação do módulo elasticidade dinâmico é o coeficiente de Poisson (μ). Em função da impossibilidade de se obter este valor experimentalmente, foi utilizado com base na metodologia de BENETTI (2012) o valor de 0,20 que é um valor obtido em literatura como uma constante.

De posse de todos os dados, pôde-se calcular o modulo elasticidade dinâmico, a partir da equação a seguir;

$$Ed = \rho V^2 \cdot \frac{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}{(1 - \mu)}$$

Onde:

Ed = Módulo de elasticidade dinâmico (Mpa);

ρ = massa específica;

V = Velocidade (Km/s);

μ = Coeficiente de Poisson.

3.7.2.4 Ensaio de resistência à dureza superficial; esclerometria

Para este ensaio foi utilizado o equipamento esclerômetro Schmidt (Figura 32) tipo N, sendo realizadas 16 leituras por corpo de prova. Considerando-se 3 cp's por família, foram ensaiados no total 27 corpos de prova na idade de 120 dias. A norma seguida foi a NM 78 (1996).

Figura 32 - Equipamentos necessários para o ensaio de esclerometria.



Durante o ensaio, alguns corpos de prova chegaram a sofrer quebras, como ilustrado na Figura 33. Isso pode ser associado ao fato da área de impacto, do ensaio no corpo de prova, ser reduzida em comparação aos ensaios executados diretamente em uma estrutura de viga ou pilar. Também existe uma fragilidade maior nas zonas de transição do agregado reciclado que podem ter contribuído para este fato. Este caso ocorreu apenas no corpo de prova da relação $a/c=0,7$ com 100% de substituição.

Figura 33 - Dano ocasionado no corpo de prova durante a realização do ensaio de esclerometria.

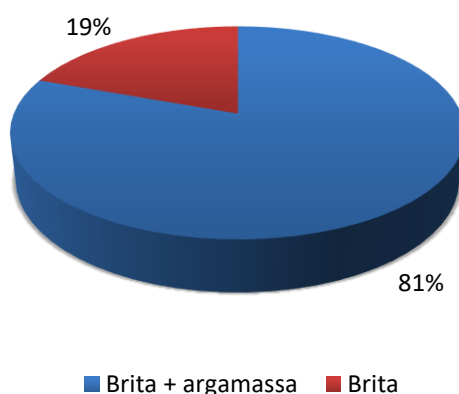


4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Composição Gravimétrica do Resíduo

A composição gravimétrica do resíduo estudado na pesquisa, após a etapa de beneficiamento, ou seja, na condição de agregado graúdo reciclado (AGR) está apresentada na Figura 34.

Figura 34 - Composição Gravimétrica do Agregado Reciclado Graúdo.



Ao analisar a Figura 34, observa-se a predominância de resíduos de concreto na composição da amostra, conforme esperado pela origem do material coletado.

Isso demonstra que a usina de beneficiamento selecionada já consegue fazer uma triagem bastante satisfatória do resíduo recebido. As recomendações internacionais, como RILEM (1994), limitam a aplicação do resíduo conforme aumenta a presença de outras fases além do concreto, ou seja quanto maior a parcela de concreto presente, maiores são as possibilidades de seu uso e reaproveitamento.

A ocorrência da predominância de concreto na composição de amostras de RCC também foi identificada em estudos anteriores tais como, Gonçalves (2011), Rodrigues (2011), Troian (2011), Benetti (2012) e Veras (2012). Estes resultados porém sempre variam de acordo com o tipo de coleta, beneficiamento e fase da obra.

4.2 Caracterização dos Agregados

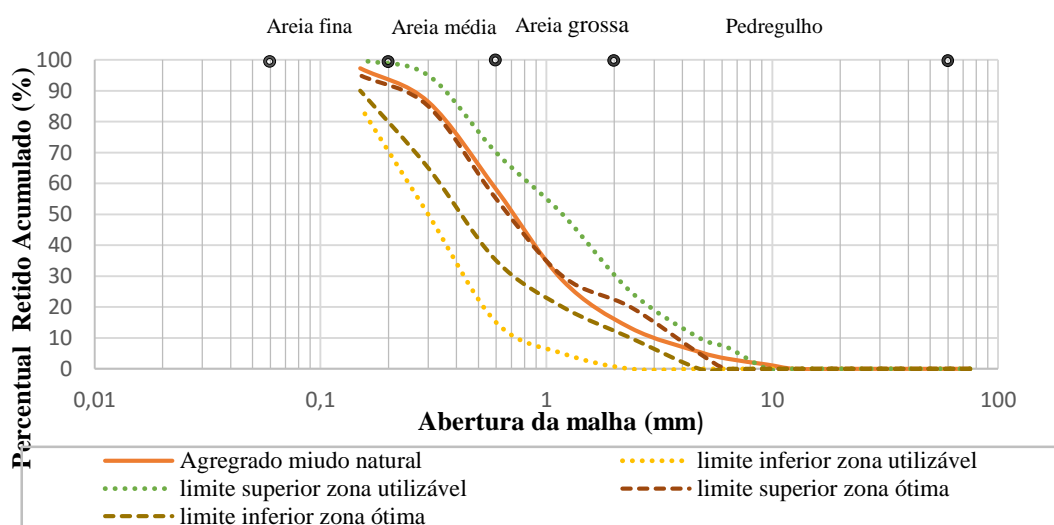
4.2.1 Análise Granulométrica

4.2.1.1 Agregado Miúdo Natural

O ensaio de granulometria foi executado por peneiramento para determinar a dimensão dos grãos dos agregados utilizados neste estudo a fim de se obter as características e propriedades dos mesmos. Na Figura 35 pode-se observar a distribuição granulométrica do agregado miúdo natural (AMN).

O agregado permaneceu dentro da faixa de limite de zona utilizável e um pouco acima da zona ótima. Sua distribuição encontra-se predominantemente dentro da faixa de areia média, com granulometria contínua, tendo seu coeficiente de não uniformidade (CNU) em 0,25.

Figura 35 - Curva Granulométrica agregado miúdo natural.



A Tabela 17 apresenta o percentual retido e acumulado no peneiramento do agregado miúdo natural. Nota-se que a maior parte do material ficou retida nas peneiras de 0,6 mm (29,43%) e 0,3mm (28,40%). O diâmetro máximo correspondeu a 6,3mm e o módulo de finura 2,91kg/dm³.

Tabela 17 - Granulometria Agregado Miúdo Natural (AMN).

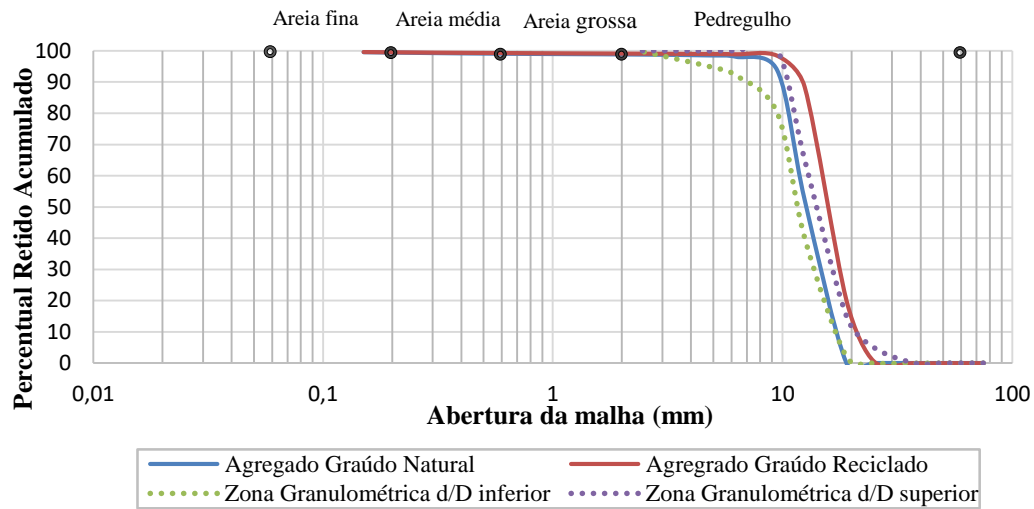
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (NBR NM 248/2003)		
Abertura Peneira (mm)	Percentual Retido (%)	Percentual Acumulado (%)
12,5	0	0
9,5	1,37	1,37
6,3	1,92	3,29
4,75	2,19	5,48
2,36	7,75	13,23
1,18	15,41	28,64
0,6	29,43	58,07
0,3	28,40	86,47
0,15	10,87	97,34
FUNDO	2,66	100
Total	100	
Diâmetro Máximo (mm)		6,30
Módulo de Finura (kg/dm ³)		2,91

4.2.1.2 Agregado Graúdo

A Figura 36 apresenta a curva granulométrica dos agregados graúdo natural e reciclado enquanto que a Tabela 18 apresenta os valores obtidos nos ensaios.

O agregado graúdo natural (AGN) e reciclado (AGR) apresentaram comportamento semelhantes na evolução da curva granulométrica (Figura 36), embora o AGN apresente um valor de diâmetro máximo (19mm) inferior em relação ao AGR (25mm). Ao analisar estes parâmetros na Tabela 18, observa-se que o agregado graúdo reciclado apresenta apenas 1,04% de material retido na peneira de #25mm. Em relação ao módulo de finura, o AGR apresentou um valor próximo ao AGN, com um acréscimo de 5%. Um maior valor de módulo de finura acarreta um acréscimo da superfície específica das partículas solidas, ocasionando um acréscimo no consumo de água na mistura de concreto.

Figura 36 - Curva Granulométrica - Agregados Graúdo Natural e Reciclado.



De acordo com a Figura 36, o agregado graúdo reciclado ficou fora da faixa limite da zona granulométrica em alguns pontos, porém possui distribuição semelhante ao AGN e ambos possuem fração predominante de pedregulho. Verifica-se que o maior percentual de material retido correspondeu a peneira de #12,5mm, sendo para o AGN 52,27% enquanto o AGR 68,29%, evidenciando granulometria uniforme, com CNU de 1,98.

Tabela 18 - Granulometria agregado Graúdo Natural e Reciclado.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248 (ABNT 2003)					
Agregado Graúdo Natural			Agregado Graúdo Reciclado		
Abertura da Peneira (mm)	Percentual Retido (%)	Percentual Retido Acumulado (%)	Abertura da Peneira (mm)	Percentual Retido (%)	Percentual Retido Acumulado (%)
32	0	0	32	0	0
25	0	0	25	0,61	1
19	0	0	19	19,55	20
12,5	52,27	52	12,5	68,29	88
9,5	41,45	94	9,5	9,96	98
6,3	4,38	98	6,3	0,50	99
4,8	0,45	99	4,8	0,09	99
2,4	0,28	99	2,4	0,11	99
1,2	0,13	99	1,2	0,09	99
0,6	0,14	99	0,6	0,10	99
0,3	0,21	99	0,3	0,13	99
0,15	0,29	100	0,15	0,19	100
fundo	0,41	100	fundo	0,39	100
total	100	-	total	100	-
Diâmetro Máximo (mm)		19,0	Diâmetro Máximo (mm)		25
Módulo de finura (kg/dm³)		6,9	Módulo de finura (kg/dm³)		7,2

4.2.2 Teor de Material Pulverulento

Os resultados do teor de material pulverulento apresentados na Tabela 19 revelaram que o agregado graúdo natural apresentou valor de 0,36 %, enquanto o reciclado apresentou 0,62%, estando ambos dentro do limite estabelecido pela NBR 7211 (2005), que estipula valor máximo de 1% para este parâmetro.

O valor do teor de material pulverulento do agregado miúdo natural foi de 1,55%, também satisfazendo o limite máximo permitido pela referida norma, que não deve exceder 3% em massa no caso de concretos submetidos a desgaste superficial e 5% para concretos protegidos a desgastes superficiais.

Tabela 19 - Teor de material Pulverulento.

Agregado	Teor de material Pulverulento (%)
Graúdo Reciclado	0,62
Graúdo Natural	0,36
Miúdo Natural	1,55

Tenório (2007) obteve em seu estudo valores de material pulverulento próximos ao encontrado nesta pesquisa, atendendo a NBR NM 46/2003. Ao avaliar duas coletas de agregados graúdos reciclados, (grão máximo de 19mm) o autor encontrou em sua pesquisa os valores de 0,75% e 0,45%, respectivamente, para agregados reciclados de grão máximo de 19mm.

Alguns estudos encontraram teores de materiais pulverulentos que não atendem aos requisitos da referida norma, tais como, Rodrigues (2011) e Sampaio (2013). Nestes casos, o material analisado corresponde a parcela miúda de agregado reciclado.

Considera-se aceitável o teor de materiais finos que se enquadram entre 4,3 e 6,5%, valores que também correspondem um aumento na coesão e trabalhabilidade do material, porém ocasiona maior consumo de água devido aumento da área superficial e diminuição da durabilidade dos concretos ao desgaste por abrasão (NEVILLE, 1997).

4.2.3 Massa específica e massa unitária

O agregado graúdo reciclado apresenta massa específica e massa unitária dentro de valores comuns aos agregados graúdos comumente utilizados para a confecção de concretos.

Os resultados obtidos nesta pesquisa revelam uma característica discutida na literatura, a menor densidade dos agregados reciclados. Várias pesquisas, tais como a de Leite (2001), Gonçalves (2001), Prado (2005), Tenório (2007), Rodrigues (2011), chegaram a resultados parecidos.

As Tabelas 20 e 21 apresentam, respectivamente, os valores encontrados para massa específica e massa unitária dos agregados utilizados na pesquisa.

Tabela 20 - Massa Específica.

Agregado	Massa Específica Seca (g/cm³)	Massa Específica (sss) (g/cm³)	Massa Específica aparente (g/cm³)
Graúdo reciclado	2,54	2,44	2,37
Graúdo natural	2,73	2,71	2,69
Miúdo natural	2,49	2,45	2,59

Tabela 21 - Massa unitária.

Agregado	Massa unitária Solta (g/cm³)	Massa unitária Compactada (g/cm³)	Massa unitária úmida (g/cm³)
Graúdo reciclado	1,23	1,36	-
Graúdo natural	1,45	1,59	-
Miúdo natural	1,52	-	1,32

Diante dos resultados observa-se que a massa específica do agregado graúdo reciclado é em média 10% menor que o natural. O agregado miúdo natural chega a ser em média 7% menor que o agregado graúdo natural.

Já a massa unitária chega a atingir uma redução de 15% do agregado graúdo reciclado em relação ao natural. O agregado miúdo natural possui a maior massa unitária solta, 5% maior que o agregado graúdo natural.

Outros autores encontraram resultados semelhantes, Vieira (2003) analisou a massa específica do agregado graúdo e encontrou uma redução de 7% em relação ao natural. Sampaio (2013) obteve cerca de 6% de redução, por sua vez, Leite (2001) e Rodrigues (2011) obtiveram reduções maiores de 19% e 18%, respectivamente.

A maioria dos autores destaca a influência desta redução na dosagem do concreto, de que quanto menor a massa específica, maior o volume. Estes resultados de redução também são atribuídos a aderência de materiais na matriz, a exemplo da argamassa.

Prado (2006) afirma que quanto maior a massa específica do material menor será a absorção deste. O autor relaciona resultados de resíduos de concreto de diferentes origens de uso.

4.2.4 Absorção de água dos agregados

Os agregados naturais apresentaram baixas taxas de absorção, com valor de 1,6% para o agregado miúdo natural e 0,5% para o agregado graúdo natural (Tabela 22). No que diz respeito ao agregado graúdo reciclado, após 1h de imersão, verifica-se uma taxa de absorção cerca de 6 vezes maior em comparação ao graúdo natural.

Tabela 22 - Absorção de água dos agregados.

Agregado	Absorção 1hr (%)
Graúdo Reciclado	3
Graúdo Natural	0,5
Miúdo Natural	1,6

Buttler (2003), encontrou valores entre 5,68% e 6,16% de absorção do agregado graúdo reciclado, enquanto Werle (2010) encontrou entre 4,5% e 6,5% para o agregado graúdo reciclado.

Resultados semelhantes ao desta pesquisa, em relação às taxas de absorção também puderam ser observados em outras pesquisas. Rodrigues (2011) e Sampaio (2013) obtiveram valores de absorção para o agregado reciclado 10 vezes maior em comparação ao natural. A composição gravimétrica destas pesquisas porém, apresentava maior quantidade de material cerâmico, que influencia nesta propriedade.

4.2.5 Abrasão Los Angeles

Na Tabela 23, observa-se os resultados do ensaio de abrasão realizado nos agregados graúdo natural e reciclado. Ambos agregados se mantiveram dentro do limite de 50% de perda por desgaste de abrasão estabelecido pela norma NBR 7211:2009.

Tabela 23 - Abrasão Los Angeles.

Agregado	Diâmetro máximo	Graduação da amostra	Massa total da amostra seca (g)	Massa seca após lavar (g)	Perda por Abrasão (%)
Reciclado	25,4	B	5000	3246	35,08
Natural	19,5	B	5000	3634	27,32

Para o agregado gráudo reciclado, o fato do valor de perda por abrasão ter sido maior, está provavelmente associado ao maior atrito o qual foi submetido, decorrente do processo de britagem, superfície das partículas e rugosidade.

Resultados semelhantes foram observados em Buttler (2003) com valores de 28% a 41,48% de perda por abrasão. Prado (2006), em seu estudo encontrou índices de perda por abrasão que variavam de 19,8% a 43,6% no agregado gráudo reciclado. Esses estudos encontraram índices que atendem aos parâmetros da norma para agregado natural. Já Nunes (2007) obteve valor de perda por abrasão de 52,27%, acima do recomendado.

A abrasão mantém uma boa relação não só com o desgaste do concreto, mas também com a resistência.

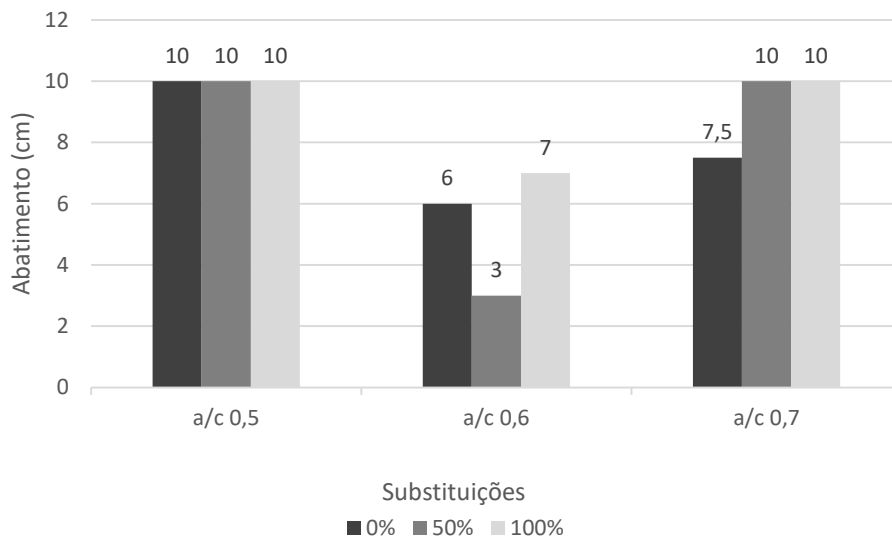
4.3 Ensaios do concreto

4.3.1 Ensaios do concreto no estado fresco

Abatimento

Quanto ao ensaio de abatimento de tronco de cone, acreditava-se, a princípio, que haveria certa dificuldade para a moldagem dos corpos de prova, principalmente para as dosagens com 100% de substituição. Uma vez que a mistura ainda dentro da betoneira se apresentava muito seca, a água e o cimento (a pasta) pareciam não aderir facilmente os demais componentes. No entanto, passado um tempo pouco maior para a mistura, de 4 minutos para 6 minutos, verificou-se que a trabalhabilidade do concreto reciclado atingiu o mesmo abatimento que o concreto convencional (Figura 37). A primeira mistura realizada foi a de $a/c=0,6$, onde manteve-se o tempo de mistura de 4 minutos para o concreto de referência e de substituição de 50% enquanto o de 100% seguiu 6 minutos e onde observa-se a maior diferença entre os abatimentos. As demais misturas ($a/c=0,5$ e $0,7$) seguiram 6 minutos.

Figura 37 - Abatimento das famílias de concreto produzidas.



Por trabalhabilidade entende-se a capacidade e a facilidade de se trabalhar, como o próprio nome já diz, com aquele concreto. Não significa dizer, portanto, que quanto maior o abatimento maior a trabalhabilidade, pois esta tem a ver com a plasticidade do concreto. Se este for viscoso demais ou seco demais, ele apresentará dificuldades de aplicação, seja na moldagem de corpos de prova, seja no lançamento, entre outras aplicações. Logo, a noção de trabalhabilidade é um aspecto visual e perceptível àqueles com experiência em moldagens.

Os valores de abatimento dos concreto com 50 e 100% de substituição alcançaram resultados semelhantes nas relações $a/c = 0,5$ e $0,7$. Já os valores das substituições comparados aos encontrados para os concretos convencionais de cada traço variam permanecendo apenas semelhante na relação $a/c = 0,5$, porém o concreto com 100% de substituição apresentou uma trabalhabilidade maior e melhor que o esperado, devido aos aspectos visuais e de plasticidade (Figura 38).

Figura 38 - Aspecto visual geral do concreto de referência e do reciclado com 100% de substituição.



Resultado semelhante, na substituição de 50% de agregado reciclado também pôde ser observado em Rodrigues (2011). O autor destaca que atingida a trabalhabilidade especificada, o concreto reciclado apresentou melhor aspecto visual, menor quantidade de vazios e melhor compactação.

Esse resultado pode ser associado também ao teor de material pulverulento (0,62%) encontrado no agregado reciclado graúdo analisado que exerce influência na trabalhabilidade.

4.3.2 Ensaios do concreto no estado endurecido

4.3.2.1 Resistência à compressão simples

O ensaio de resistência à compressão foi realizado nos concretos estudados nas idades de 3, 7, 14, 28 e 120 dias, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007). Os resultados de resistência a compressão de todos os cp's estão apresentados no apêndice. A Tabela 24 ilustra os maiores valores de resistência à compressão simples obtidos ao final das cinco idades estudadas.

Verificou-se que os concretos fabricados com agregado reciclado atingiram resultados semelhantes de resistência à compressão simples, que podem ser observados em outras pesquisas que analisaram a influência do traço original do agregado reciclado em suas respectivas relações água-cimento. (HANSEN E NARUD, 1997; BUTTLER, 2003)

De forma geral houve crescimento das resistências ao longo das idades. A relação água-cimento demonstrou maior influência sobre os valores encontrados neste ensaio do que as próprias substituições, demonstrando uma distinção e maior qualidade do material utilizado nesta pesquisa.

Tabela 24 - Valores de resistência à compressão simples (Mpa) dos concretos estudados.

Resistência à compressão simples (MPa)*									
Idade (dias)	a/c- 0,5			a/c-0,6			a/c-0,7		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%
3	22,5	21,5	20,3	21,4	21,4	20,8	14,9	16,6	16,7
7	29,9	28,9	27,2	24,3	25,9	25,9	19,4	19,6	20,8
14	32,2	29,5	29,9	30,0	29,8	28,5	19,8	19,5	22,3
28	38,2	34,8	35,4	34,1	33	31,4	23,1	24,9	27,2
120	38,9	36,3	35,8	37,4	36,2	36,7	26,1	27,3	26,3

*Maior valor encontrado no rompimento de cada trio de corpos de prova.

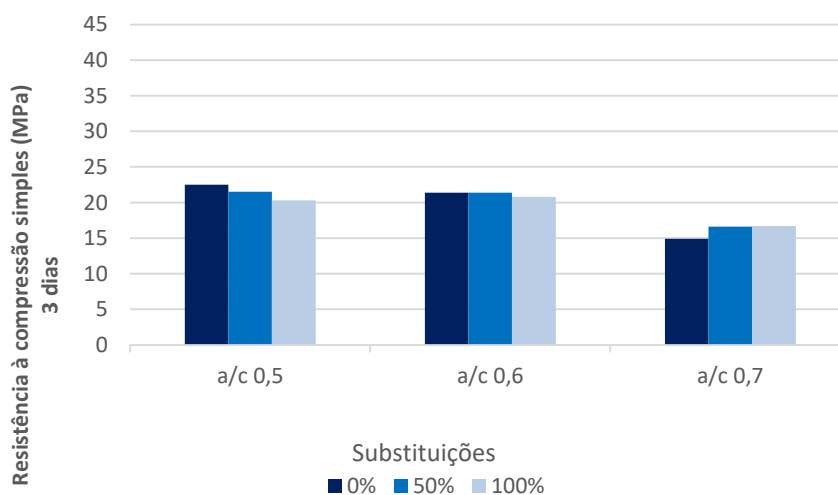
Verifica-se que, entre as relações água cimento existe um comportamento distinto entre as substituições do concreto na relações com a resistência do mesmo. Tem-se como exemplo a relação de $a/c=0,5$, que demonstra um decréscimo médio de 8% em sua resistência na substituição de 100% em relação ao de referência. Enquanto isso o concreto com a relação $a/c=0,7$ possui uma resistência em média 10% maior na substituição de 100% do que o de referência.

As Figuras 39 a 43 apresentam a relação resistência à compressão simples versus famílias para as diferentes idades investigadas nesta pesquisa, para uma melhor análise do comportamento dos concretos em cada idade.

Na primeira idade (3 dias), Figura 39, o resultado da relação $a/c=0,5$ apresenta uma diminuição da resistência à medida que se aumenta o teor de substituição agregado reciclado comparado ao concreto de referência. Na relação $a/c=0,6$ não houve mudança na substituição de 50%, porém na substituição de 100% houve um decréscimo de 2,8% em relação ao de referência.

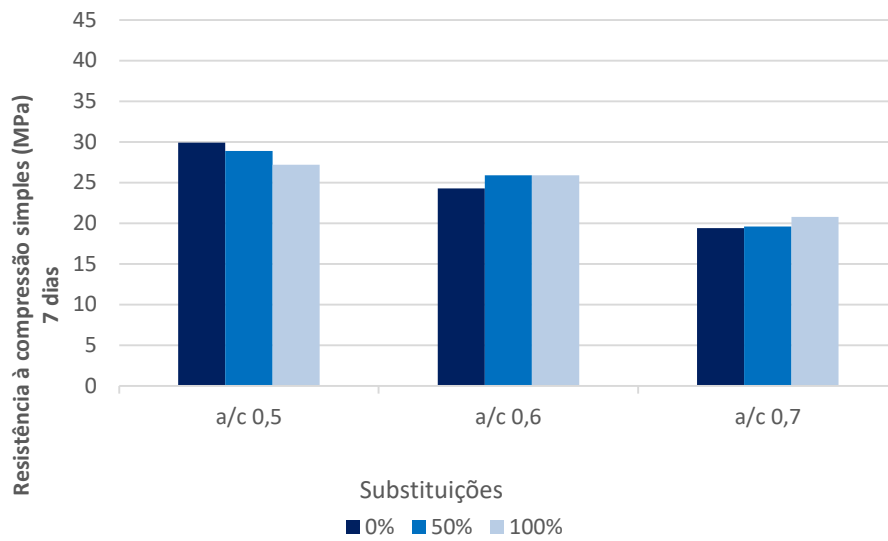
Já o comportamento do concreto com $a/c = 0,7$, é inverso aos demais nesta primeira idade, obtendo uma resistência maior nos concretos confeccionados com agregado reciclado, chegando a um aumento de 12% na resistência do concreto.

Figura 39 - Resistência à compressão simples vs. Família, aos 3 dias.



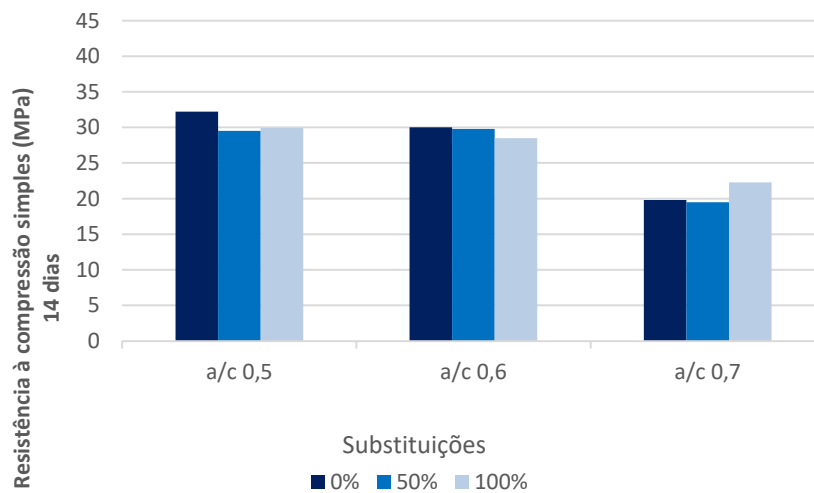
Na idade de 07 dias, o concreto de referência obteve maior resistência na relação $a/c=0,5$ enquanto que nas restantes houve aumento da resistência em todas as substituições em relação ao de referência, Figura 40.

Figura 40 - Resistência à compressão simples vs. Família, aos 7 dias.



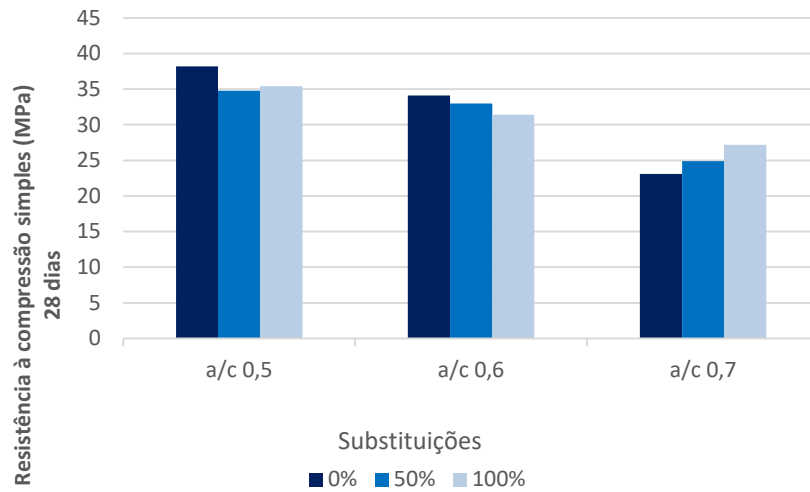
A Figura 41 mostra o comportamento das substituições que se destacaram na idade de 14 dias, onde houve o decréscimo de 8% da substituição de 50%, para a/c=0,5, em relação ao de referência e o acréscimo de 12%, na substituição de 100%, para a/c=0,7 em relação ao de referência.

Figura 41 - Resistência à compressão simples vs. Família, aos 14 dias.



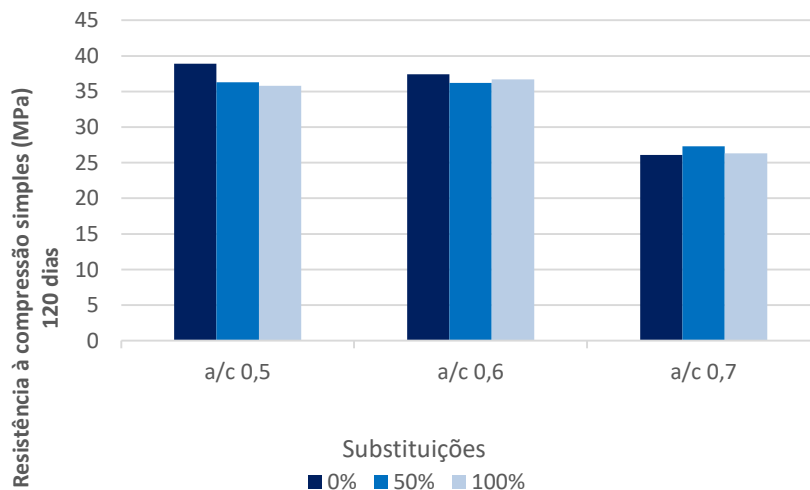
Para os 28 dias de cura, Figura 42, obteve-se na substituição de 100% da relação a/c=0,7 o maior aumento (17%) em relação ao de referência de todas as idades para este traço. Já na relação a/c=0,6 houve uma variação em relação as idades anteriores, uma queda maior na resistência da substituição parcial e total de reciclado que foi menor 3% e 4,5% que o de referência, respectivamente.

Figura 42 - Resistência à compressão simples vs. Família, aos 28 dias.



Para a idade de 120 dias, Figura 43, observou-se que a resistência do concreto reciclado em relação ao de referência atingiu índices mais equilibrados. Na relação $a/c=0,7$ ele foi maior 4,5% para a substituição parcial e 1% para a de 100%. Para a relação $a/c=0,5$ a resistência foi menor 6,5% para substituição parcial e 7,5% para a total. Já na relação $a/c=0,6$ a diferença entre a resistência do concreto reciclado foi de 3% menor para substituição de 50% e de 1% para substituição total.

Figura 43 - Resistência à compressão simples vs. Família, aos 120 dias.



Autores como Hansen e Narud (1983), Tavakoli e Soroushian (1996), afirmam que quando a resistência do concreto de origem é maior que o novo concreto de referência, ou seja, agregados

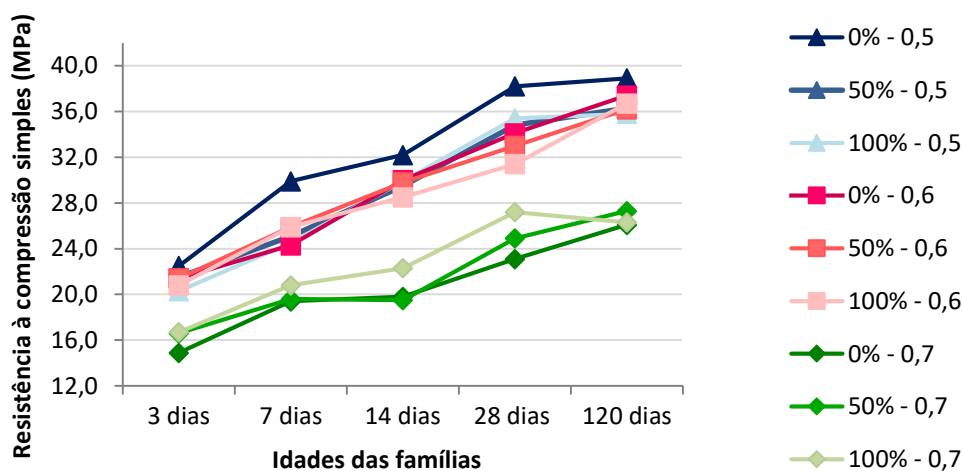
de boa qualidade, o desempenho mecânico do concreto reciclado melhora devido a presença das partículas secas.

Assim como a presente pesquisa, o estudo de Levy & Helene (2000) avaliou concretos fabricados com agregados reciclados de concreto, onde alcançaram valores semelhantes ao concreto de referência.

Lovato (2007) observou que os concretos produzidos com agregados reciclados seguiam a tendência de comportamento da Lei de Abrams, ou seja, à medida que aumenta a relação água/cimento diminui a resistência

Para obter um melhor comparativo do crescimento das resistências ao longo dos dias e das linhas de tendência dos resultados, um gráfico de linhas, contendo as mesmas informações porém interpretadas de maneira diferente, também foi gerado. (Figura 44)

Figura 44 - Resistência à compressão simples vs. idade.



Aos 07 dias a resistência do concreto cresceu como era de se esperar. Aos 14 dias o comportamento variou um pouco, porém mantendo a média de crescimento da resistência para esta idade. Este mesmo comportamento de crescimento da resistência do concreto se repetiu aos 28 dias. Aos 120 dias o crescimento da resistência ainda pode ser observado em todas as famílias em relação inclusive aos resultados obtidos aos 28 dias, exceto para o concreto de relação $a/c=0,7$ que diminuiu em relação aos 28 dias, porém ficando ainda equiparada a resistência ao concreto de referência de 120 dias.

Acredita-se que devido à redução de variáveis e pelas semelhanças em suas características, os concretos de substituição atingiram valores semelhantes ao concreto sem substituição, e isto se demonstra já para os primeiros 14 dias.

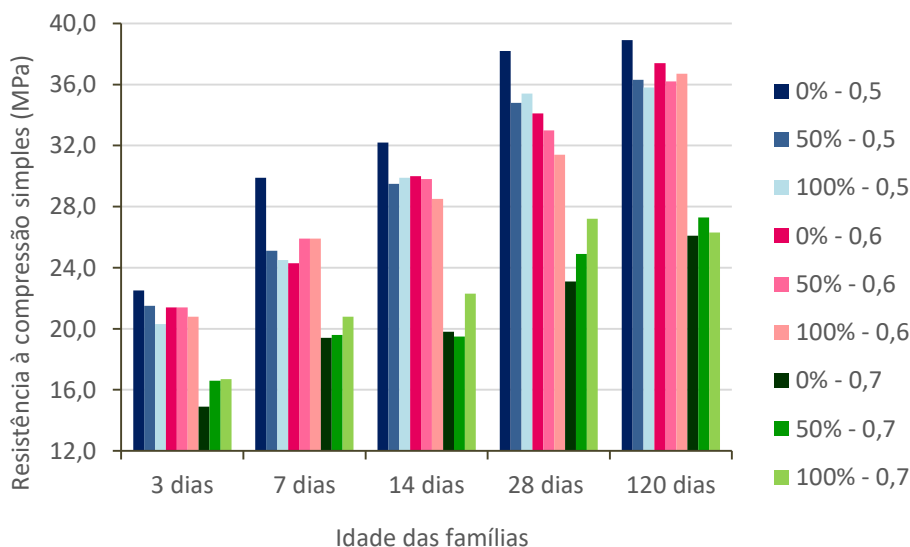
O concreto produzido com relação $a/c=0,5$, atingiu valores muito próximos a 35MPa aos 28 dias; no caso do concreto de referência o valor atingido foi de 38,2MPa enquanto o concreto com 100% de substituição atingiu 35,4MPa e o de 50% obteve 34MPa de resistência à compressão.

Para a relação $a/c= 0,6$, os concretos atingiram valores muito próximos ou iguais a 30MPa (com 0% de substituição atingiu 30MPa, com 50% de substituição atingiu o valor de 29,8 e com 100%, chegou a 28,5MPa) aos 14 dias. Para 28 dias, era esperado que o concreto apresentasse valores de resistência ainda maiores, e isto foi comprovado, atingindo os valores de 34,1MPa; 33,0MPa e 31,4 MPa para as substituições de 0%, 50% e 100%, respectivamente.

Para a relação a/c de 0,7, os valores de resistência não foram tão altos ao final dos 28 dias, contudo, a substituição de 100% (com 27,2MPa) apresentou valores maiores que o de referência, com 23,1MPa. A análise da resistência aos 28 dias é a mais recorrente nas pesquisas levantadas (Buttler 2003, Gonçalves 2011) pois é quando o concreto atinge a idade padrão na qual a estrutura deverá entrar em carga.

A Figura 45 apresenta uma comparação de todos os resultados de resistência para as diferentes famílias e relações água-cimento ao longo das idades.

Figura 45 - Resistências à compressão simples vs. Famílias, ao longo das idades.



Os resultados adquiridos apresentaram-se próximos dos valores de resistência encontrados em outras pesquisas com agregados reciclados graúdos. Buttler (2003) obteve resistência à compressão simples para agregado reciclado com relação a/c=0,45 aos 28 dias de 49,2MPa em média. Gonçalves (2011) por sua vez, atingiu resistência de 28,8MPa para concreto reciclado, confeccionado com relação a/c=0,6 aos 28 dias.

Esses valores próximos ao de referência de resistência à compressão obtidos, devem ser ressaltados, pois indica a qualidade da composição desse material (a parcela cinza de resíduos) e a alta eficiência do mesmo para a finalidade desejada.

Verificou-se crescimento das resistências, em todas as famílias, de 3 a 120 dias, conforme o esperado. As maiores relações a/c resultaram em menores níveis de resistência - também conforme o esperado. Foi possível também observar, que a maior diferença entre as resistências do concreto não ocorreu entre as famílias de um mesmo traço, mas sim quando se variou a relação água-cimento, indicando que o fator de maior influência sobre a resistência do concreto foi a relação água-cimento e não as substituições, nesta pesquisa.

4.3.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

Os valores de resistência à tração por compressão diametral podem ser verificados na Tabela 25. Estes dados também indicaram crescimento ao longo das idades, mas não se apresentaram de modo tão uniforme e contínuo quanto o crescimento das resistências à compressão simples. Mesmo assim, mantem-se o mesmo padrão comportamental de redução e aumento nas relações água cimento, já observados na resistência à compressão simples.

Tabela 25 - Valores de resistência à tração por compressão diametral (Mpa) dos concretos estudados.

Idade (dias)	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)*								
	a/c- 0,5			a/c-0,6			a/c-0,7		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%
3	2,0	1,9	1,9	2,4	2,7	2,3	1,7	1,9	1,4
7	2,2	2,0	2,2	2,9	2,1	2,2	1,9	2,0	2,0
14	3,0	2,4	2,5	2,8	2,7	2,4	1,8	2,1	2,2
28	2,8	2,4	2,3	2,8	2,4	3,0	2,3	2,6	2,4
120	3,3	2,9	2,7	2,9	3,2	3,1	2,4	2,1	2,4

* Maior valor encontrado no rompimento de cada par de corpos de prova.

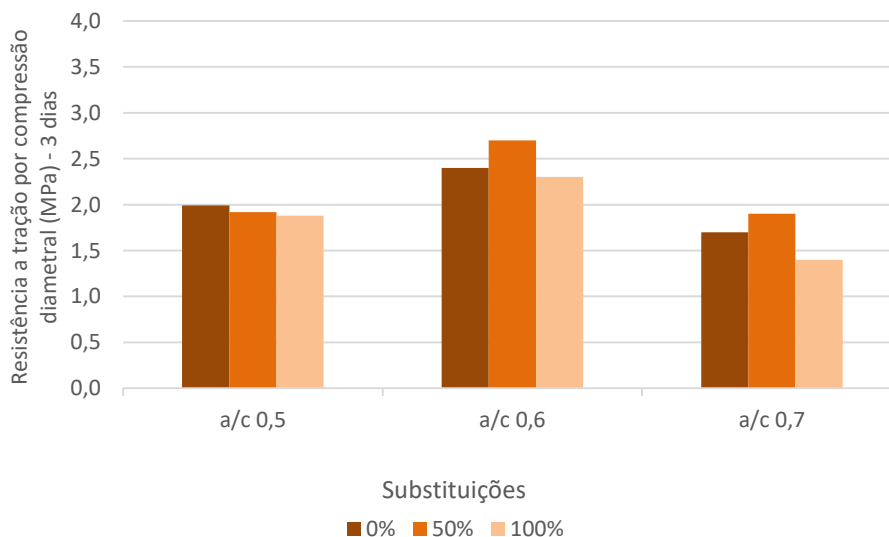
Para a relação $a/c=0,5$, ao longo das idades, verificou-se uma média de redução de 11% na resistência à tração por compressão diametral em relação ao concreto de referência tanto na substituição de 50%, como na substituição de 100% do agregado graúdo natural por reciclado.

Já para a relação $a/c=0,6$, obteve-se valores similares de resistência à tração por compressão diametral na substituição de 50%, atingindo uma média de redução 4% ao longo das idades, enquanto a substituição total atingiu uma média de 5% de redução.

Por fim, a relação $a/c=0,7$ obteve um acréscimo de 7% na resistência à compressão por tração diametral quando à substituição de 50% em relação ao concreto de referência. A substituição de 100% de agregado graúdo para este traço atingiu em média um acréscimo de 3% em relação ao concreto de referência. As Figuras 46 a 50 apresentam os resultados de resistência à tração por compressão diametral ao longo das idades.

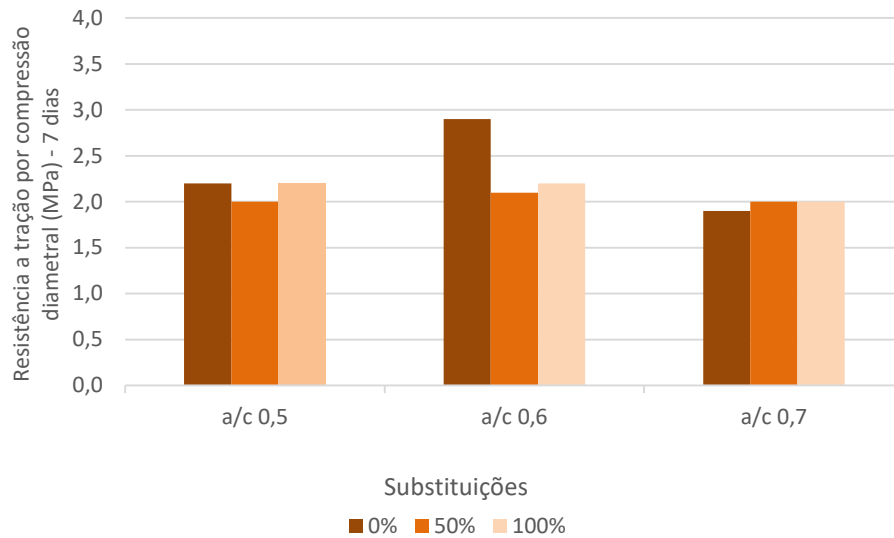
O traço que obteve maiores resistências na idade de 03 dias foi o de relação $a/c=0,6$ atingindo 2,7MPa na substituição de 50%. Figura 46

Figura 46 - Resistência à tração por compressão diametral vs. Família, aos 3 dias.



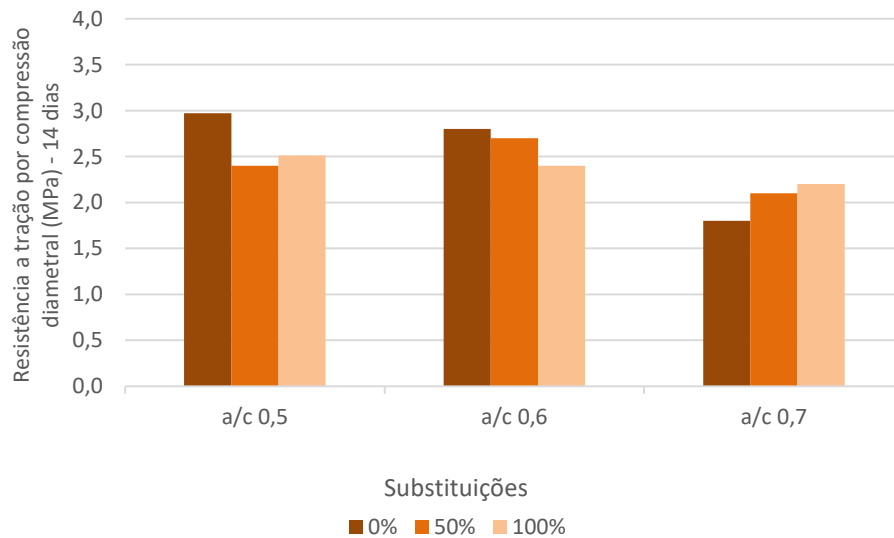
Aos 07 dias, o traço que atingiu as maiores resistências à tração por compressão diametral permaneceu o de relação $a/c=0,6$. Tendo desta vez o de referência atingido (2,9MPa) o maior valor em relação aos reciclados, Figura 47.

Figura 47 - Resistência à tração por compressão diametral vs. Família, aos 7 dias.



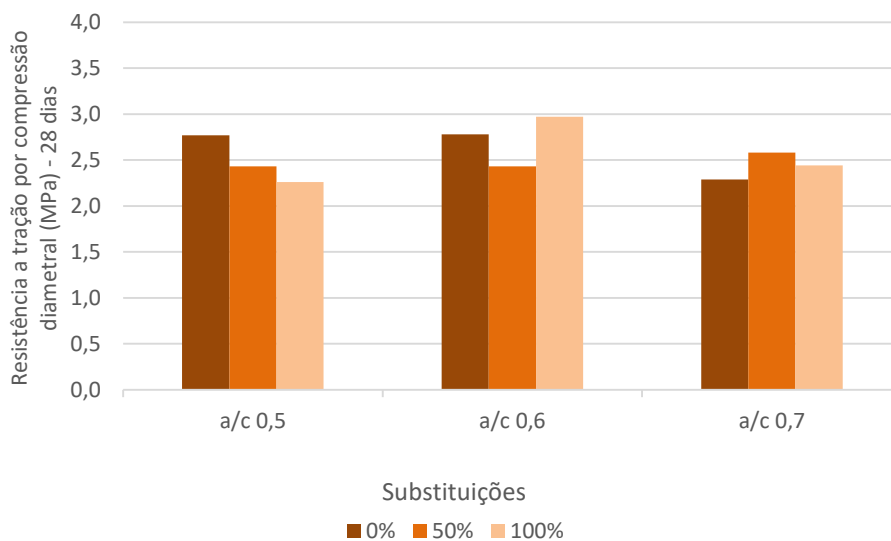
Aos 14 dias o traço que obteve a maior resistência à tração por compressão diametral foi o de a/c=0,50, que cresceu 35% em relação a resistência obtida na idade de 07 dias. Porém na média geral os valores atingidos pela relação a/c=0,6 foram superiores a relação a/c=0,5, Figura 48.

Figura 48 - Resistência à tração por compressão diametral vs. Família, aos 14 dias.



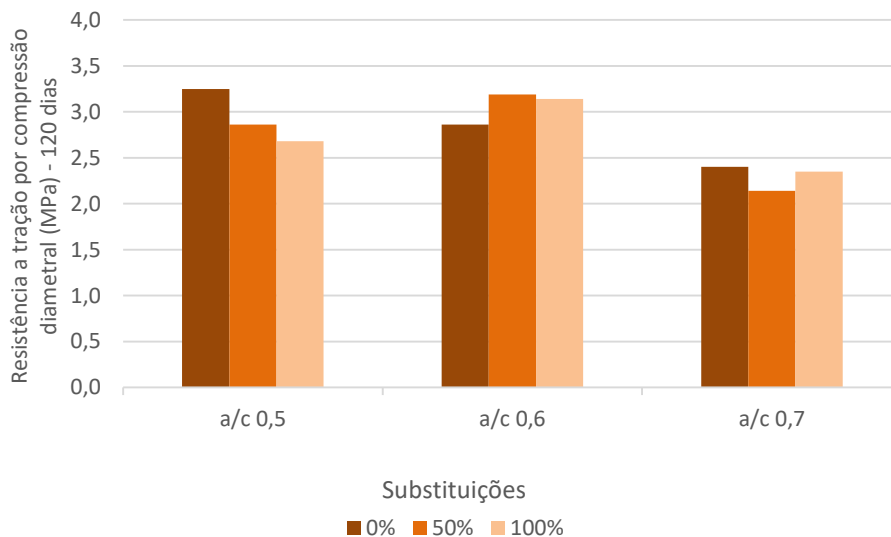
Na idade de 28 dias a maior resistência à tração por compressão diametral, foi obtida no concreto com substituição total (100%) na relação a/c=0,6 atingindo 3,0MPa (Figura 49). Na relação a/c=0,7 a maior resistência 2,6MPa, foi para a substituição parcial.

Figura 49 - Resistência à tração por compressão diametral vs. Família, aos 28 dias.



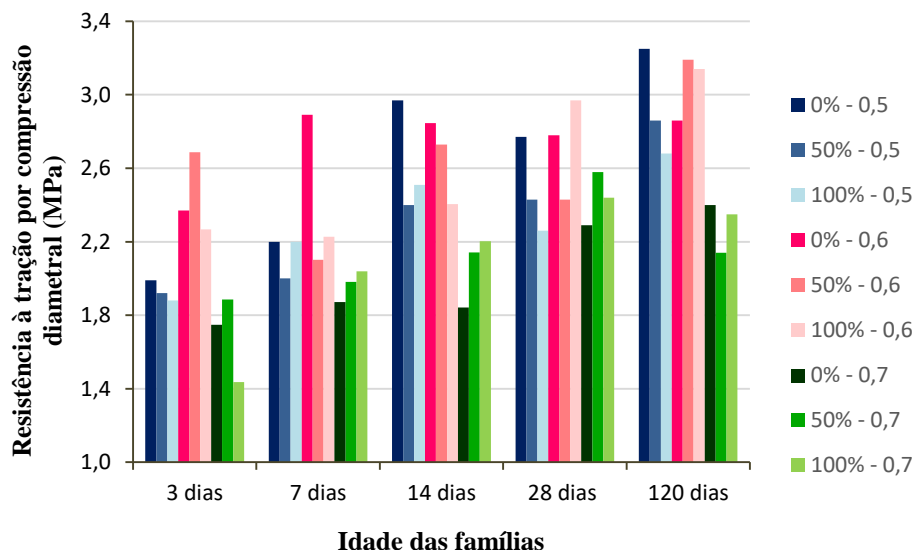
Novamente a relação $a/c=0,6$ foi a que obteve a maior média de resistência à tração por compressão diametral em relação aos outros traços, para 120 dias (Figura 50)

Figura 50 - Resistência à tração por compressão diametral vs. Família, aos 120 dias.



A Figura 51 apresenta uma comparação gráfica de todos os resultados de resistência à tração por compressão diametral, para as diferentes famílias e as relações água-cimento ao longo das idades.

Figura 51 - Resistência à tração por compressão diametral vs. Famílias, ao longo das idades.



As resistências à tração por compressão diametral aos 28 dias atingidas para cada família continuaram a crescer atingindo uma média de 29% em relação a primeira idade (3dias) para a relação $a/c=0,5$, em seguida de 12% para a família de relação $a/c=0,6$, sendo a que apresentou um crescimento maior foi a relação $a/c=0,7$ atingindo uma média de 48%.

O comportamento do crescimento da resistência porém desacelerou aos 120 dias para a relação $a/c=0,7$ enquanto nas outras famílias o crescimento ainda pode ser observado, principalmente para a relação $a/c=0,5$ que atingiu uma média de 52% de crescimento em relação a primeira idade.

A resistência à tração por compressão do concreto é influenciada basicamente pelas características da matriz e da zona de transição.

Buttler (2003) encontrou em seu estudo valores de resistência à tração por compressão diametral de 3,3 MPa para o traço de $a/c=0,45$, enquanto Gonçalves (2011) obteve valores médios de 9,2MPa para o concreto confeccionado com traço de $a/c=0,6$ e cura convencional.

Na Tabela 26 pode ser identificada a relação encontrada entre a resistência à tração por compressão diametral e compressão simples (axial). De acordo com os valores obtidos, o concreto atingiu uma média de 9%.

Tabela 26 - Relação entre as resistências à compressão diametral e simples e média geral

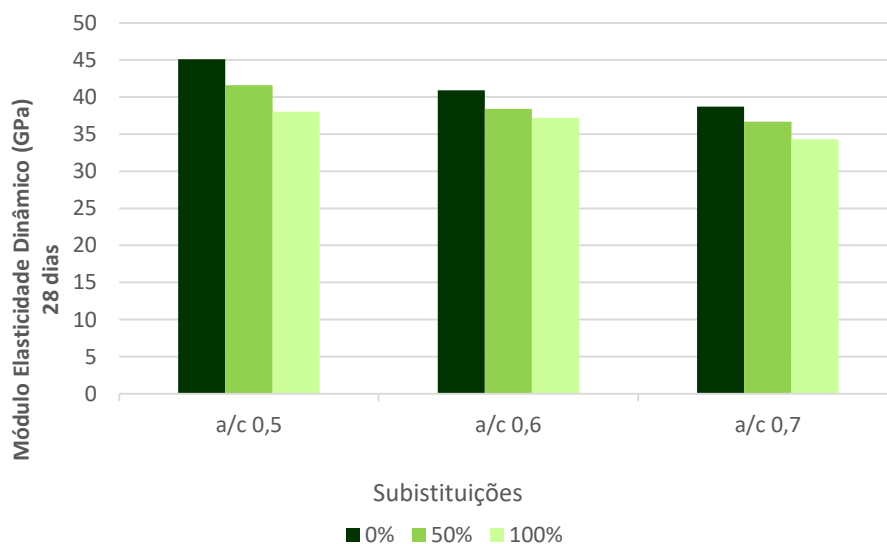
Idade	Relação resistência diametral x resistência simples (%)								
	a/c - 0,5			a/c -0,6			a/c -0,7		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%
3 dias	9%	9%	9%	11%	13%	11%	12%	11%	9%
7 dias	7%	8%	9%	12%	8%	9%	10%	10%	10%
14 dias	9%	8%	8%	9%	9%	8%	9%	11%	10%
28 dias	7%	7%	6%	8%	7%	9%	10%	10%	9%
120 dias	8%	8%	7%	8%	9%	9%	9%	8%	9%
								Média	9%

4.3.2.3 Módulo Elasticidade Dinâmico

De modo geral, analisando-se os resultados do módulo de elasticidade dos concretos reciclados (Figura 52) apresentou-se inferior ao de referência na medida do aumento do teor de substituição do agregado natural pelo reciclado.

A redução tem relação direta com o teor de substituição. Este comportamento pode ser atribuído à menor massa específica do agregado reciclado.

Figura 52 - Módulo Elasticidade dinâmico aos 28 dias.



No concreto com relação $a/c=0,5$ houve uma redução de 8% no concreto com substituição parcial de agregado reciclado em relação ao de referência, enquanto a substituição total atingiu 16%. Nas demais relações também houve redução, que atingiram na relação $a/c=0,6$ decréscimo de 6% na substituição parcial e de 9% na substituição total. Já na relação $a/c=0,7$, obteve-se uma redução de 5% na parcial e 11% na substituição total de agregado graúdo reciclado.

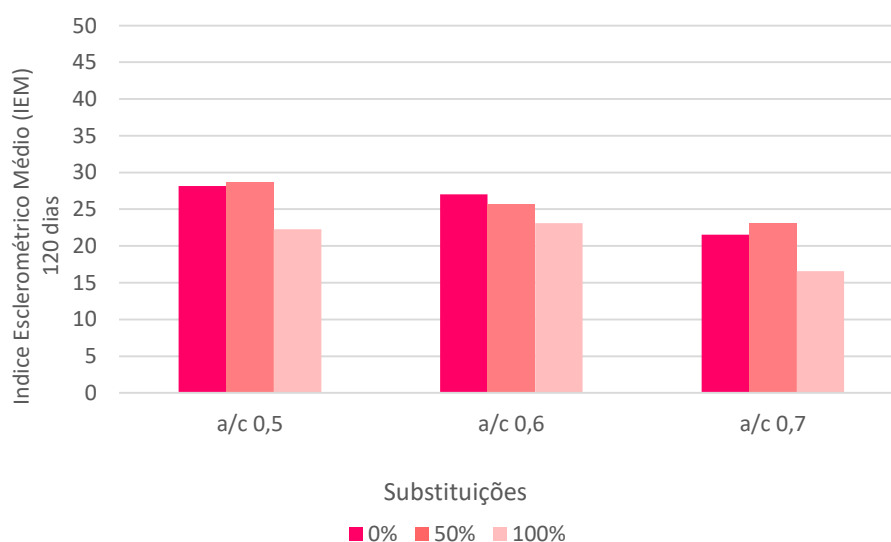
Este comportamento vem sendo observado, de modo geral por outros autores, Hansen (1992) apud Veras (2012) menciona que concretos reciclados podem apresentar uma redução no valor do módulo de elasticidade entre 15 e 40% em relação aos concretos com agregados naturais. Benetti (2012) também encontra esta redução em seus estudos.

Angulo (2005) encontrou valores de módulo de elasticidade até 47% inferiores para os concretos reciclados, que segundo o autor sofreram influência da porosidade do agregado. A massa específica é inversamente proporcional a porosidade.

4.3.2.4 Esclerometria

Os dados obtidos no ensaio de esclerometria auxiliam uma análise qualitativa da dureza superficial do concreto produzido. Na Figura 53 observa-se os resultados do índice esclerométrico médio (IEM), aos 120 dias

Figura 53 - Índice Esclerométrico médio (IEM).



O maior valor do IEM encontrado foi para o traço de relação $a/c=0,5$ que obteve 28,14MPa para o concreto de referência (0%) enquanto o menor índice encontrado foi o de 16,56MPa para a relação $a/c=0,7$ na substituição total (100%).

Todos os valores encontrados, mesmo os do concreto de referência, não atingiram um índice considerado satisfatório diante dos parâmetros de análise qualitativa proposto por Chefdeville, 1955 apud Pitan (2013): Tabela 11 do item 2.3.2.4. O concreto com substituição de 100% de agregado apresenta os índices mais baixos, este fato pode ser associado a fragilidade da zona transição do agregado reciclado.

Sampaio (2013) obteve valores semelhantes de IEM em seu estudo. Para o concreto de referência o valor obtido foi de 29,73MPa, enquanto a substituição de 50% de agregado atingiu 27,41MPa e a substituição total (100%) atingiu 29,67MPa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Principais Conclusões

- A composição gravimétrica do resíduo investigado na pesquisa mostrou que há predominância de concreto (brita + argamassa), correspondendo a 81% do total de materiais.
- A composição granulométrica do agregado graúdo reciclado apresentou valores de módulo de finura e diâmetro máximo superiores aos do agregado graúdo natural estudado.
- O teor de materiais pulverulentos obtido para o agregado graúdo reciclado (0,62%) e para o agregado graúdo natural (0,36%) atendem os limites da ABNT NBR NM 7211/2005, estabelecido em 1%. O agregado miúdo natural obteve para este parâmetro o valor de 1,55%, também atendendo ao limite da correspondente norma, que é 3%.
- A massa específica do agregado graúdo reciclado foi em média 10% menor que o agregado graúdo natural. No que se refere ao teor de absorção de água do agregado graúdo reciclado verificou-se o valor de 3%, sendo seis vezes superior ao encontrado para o agregado graúdo natural (0,5%). Já para o agregado miúdo natural, o valor foi 1,6%, ou seja, três vezes inferior comparado ao agregado graúdo reciclado.
- A fixação dos valores de materiais secos ($A\%$)=10, teor de argamassa ($\alpha=0,5$) e relação água cimento ($a/c=0,5$; $a/c=0,6$; $a/c=0,7$) na dosagem permitiu uma análise das propriedades mecânicas do concreto reduzindo-se o número de variáveis. O concreto pôde ser avaliado na relação da influência das relações a/c e das substituições parcial e total do agregado graúdo natural pelo reciclado. Assim, observou-se a diferença do comportamento entre as diferentes relações a/c e a possível influência da pasta original do concreto reciclado nas propriedades mecânicas do concreto produzido.
- Na preparação e moldagem dos concretos, o tempo de mistura foi aumentado em 2 minutos, a fim de que a mistura com o agregado reciclado se tornasse mais aderente. Os resultados de abatimento do concreto após o acréscimo de 2 minutos ao tempo normal da mistura, atingiram o valor esperado de $10\text{cm} \pm 2$ para as relações $a/c = 0,5$ e $a/c=0,7$ exceto para o concreto de referência da relação $a/c=0,7$ que atingiu 7,5cm. A variação do abatimento da relação $a/c=0,6$, porém, foi maior, onde o concreto com substituição parcial (50%) obteve 3cm de abatimento, enquanto o concreto com substituição total (100%) obteve um abatimento de 7,5cm. O fato

pode ter relação com o tempo da mistura, que no caso da relação $a/c=0,6$, a primeira a ser moldada, obedeceu aos 4 minutos, para duas primeiras misturas, na de referência e na substituição parcial (50%) e na de 100% foi adotado o tempo de 6 minutos.

- A resistência à compressão simples dos concretos reciclados apresentou-se menor do que o concreto de referência, sendo em torno de 6% para a substituição parcial e de 8% para a substituição total, da relação $a/c=0,5$ ao longo das idades. Para a relação $a/c=0,6$, o comportamento da resistência do concreto variou um pouco mais, porém mantendo queda na resistência, apesar de bem menos significativa, atingindo uma redução média de 0,1% para a substituição parcial e de 2% para substituição total. Já para a relação $a/c=0,7$, o comportamento da resistência do concreto reciclado em relação ao natural foi diferente das outras relações. Houve um aumento da resistência para as substituições de 50%, que foi em média 4,7% maior que o de referência, enquanto que a substituição de 100% chegou a ser em média 10% maior que o concreto de referência, ao longo das idades.

- As resistências máximas obtidas para a relação $a/c=0,5$ foram de 38,9 MPa (0%), 36,3MPa (50%) e 35,8 MPa (100%). Para a relação $a/c=0,6$ foram de 37,4MPa (0%), 36,2MPa (50%) e 36,7MPa (100%). Na relação $a/c=0,7$, as maiores resistências foram de 26,1MPa (0%), 27,3MPa (50%) e 26,3MPa (100%).

- As resistências à tração por compressão diametral cresceram ao longo das idades e mantiveram comportamento semelhante ao da resistência à compressão simples. A relação água cimento foi que mais influenciou nos resultados de resistência. Na relação $a/c=0,5$, houve uma diminuição média de 11% na resistência dos concretos reciclados em relação ao concreto de referência. Para a relação $a/c =0,6$, essa redução foi menos expressiva, atingindo 4% (substituição de 50%) e 5% (substituição de 100%). Na relação $a/c= 0,7$, houve um aumento de 7% em média para a substituição de 50%, enquanto a substituição de 100% aumentou 4% em relação ao concreto de referência.

- Em relação ao módulo de elasticidade, houve uma queda proporcional à substituição do agregado graúdo natural pelo reciclado, ou seja, quanto menor a quantidade de agregado natural, menor o módulo encontrado. Para a relação $a/c=0,5$, a redução foi de 8% para a substituição parcial (50%) em relação ao de referência, enquanto que para 100% de agregado reciclado a redução foi de 16%.

- Os índices esclerométricos médios mostraram sempre uma redução em todas as relações a/c, para os valores das substituições totais (100%) de agregado graúdo natural por reciclado, demonstrando uma dureza superficial inferior para este concreto.

De modo geral, materiais reciclados são conhecidos por apresentarem alta heterogeneidade, alta absorção de água e alto percentual de materiais finos, propriedades que aumentam o consumo de água e interferem na relação água/cimento, influenciando diretamente na resistência do concreto. Entretanto, a parcela cinza dos resíduos de construção civil investigados nesta pesquisa, por possuir uma certa homogeneidade na sua própria composição, apresentou resultados satisfatórios para os concretos produzidos com agregados graúdos reciclados.

Conclui-se que é possível a utilização do agregado graúdo reciclado, especificamente a parcela cinza, de resíduos da construção civil para produção de concreto sem grandes perdas nas propriedades mecânicas avaliadas. Os resultados encontrados atingem valores de aplicação de concreto para uso estrutural, porém para afirmar com maior segurança se faz necessário o estudo de outras propriedades mecânicas, bem como estudo de contaminantes e durabilidade do material.

5.2 Sugestões para futuras pesquisas

- Analisar as propriedades físicas dos agregados beneficiados em usinas de reciclagem e relacionar com as normas internacionais;
- Analisar as propriedades reológicas do concreto reciclado fresco;
- Avaliar a possibilidade da existência da reação álcali agregado nos agregados reciclados;
- Realizar um estudo dos métodos de dosagem existentes que possam ser aplicados em concretos reciclados, levando-se em consideração os ajustes do consumo de água necessário durante a mistura;
- Avaliar as propriedades referentes à durabilidade dos concretos reciclados, tais como profundidade de carbonatação, resistência aos ataques de agentes agressivos, mecanismo de transporte interno de água, íons de cloreto entre outros;
- Avaliar o uso de agregados reciclados para produção de blocos de vedação e relacionar vantagens e desvantagens;
- Avaliar a influência na interface da matriz da pasta de cimento e agregados (zona de transição) nos concretos reciclados;

- Avaliar a produção de concretos reciclados com a utilização de aditivos;
- Estudo comparativo das vantagens e desvantagens ambientais e econômicas da utilização do agregado reciclado de RCC como para a produção de concretos.
- Estudo da micro-estrutura do concreto com agregados reciclados;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP - Associação Brasileira de cimento Portland, **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto, agosto 2013** Disponível em:<www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto#.U-hwN_ldWX8>, Acesso em jul 2014

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155 p Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil. USP, São Paulo:

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. 2005. 167p. Tese (doutorado). Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil. USP, São Paulo

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2013. Disponível em:<www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>. Acesso em ago 2014.

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

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7584. **Concreto Endurecido-avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**. Rio de Janeiro. 1998.

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NM 67. **Concreto -Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro. 1998.

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NM 30. **Agregado miúdo -Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro. 2001.

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NM 51. **Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”**. Rio de Janeiro. 2001.

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NM 46. **Agregados -Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro. 2003.

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 248. **Agregados -Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro. 2003

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.116, **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil** – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 45, **Agregados** - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739. **Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro. 2007.

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 52. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro. 2009.

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NM 53. **Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro. 2009.

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR: 7211: **Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro. 2009.

_____ - Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8953 **Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência,** Rio de Janeiro, 2011

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM C 597. Standard method for pulse velocity through concrete. Philadelphia: American society for testing and materials 1983

BARBOSA JR. A. S. **Estudo da utilização de agregado reciclado em misturas de concreto de cimento portland para pavimentação.** Campinas: UNICAMP. 2008. 118p. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas.

BARRA, M. **Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado.** Barcelona: UPC, 1996. 223 p. Tese (doutorado). Escola técnica Superior d'Enginyers de Camin, Canal i Ports. Universitat Politècnica de la Catalunya.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. Florianópolis, 1999. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

BENETTI, J.K, **Avaliação do módulo de elasticidade dinâmico de concreto produzido com agregado graúdo reciclado de concreto**, 2012, Dissertação (Mestrado) UNISINOS, São Leopoldo.

BUTTNER, A.M, **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto- Influencia da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**, 2003, Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.

BUTTNER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. Tese (doutorado). 499 p. Escola de engenharia de São Carlos USP São Carlos.

CARNEIRO, F. P. **Diagnóstico e ação da atual situação dos resíduos da construção e demolição na cidade do Recife**. 2005. 131p. Dissertação (mestrado). UFPB, João Pessoa:

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

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (2002) **Resolução N 307, de 5 de Julho de 2002**. Diretrizes e Procedimentos para a gestão dos resíduos da Construção Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Acessado em Maio de 2013

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (2011) **Resolução N 431, de 24 de Maio de 2011**. Altera o art. 3º da Resolução nº 307. Acessado em Maio de 2013

DAMINELLI, B.L, **Estudo de métodos para caracterização de propriedades físicas de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**, 2007. 107p Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, USP, São Paulo.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICAS E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS – DIEESE, **Estudos e Pesquisas: Estudo Setorial da Construção** 2012, Nº 65 - Maio, 2013.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE PERNAMBUCO – FIEPE, **Sondagem da indústria da construção**, Ano04 - Nº06- Junho 2013

GONÇALVES, M. S., **Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de concreto oriundos da pré-fabricação como agregado graúdo para a produção de novos concretos**. 2011. Dissertação (Mestrado) – UNISINOS, São Leopoldo.

GONÇALVES, R.D.C, **Agregados reciclados de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais**. 2001. 132p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos

GUSMÃO, A. D, **Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil**. Recife: Gráfica Editora, 2008 140p

HANSEN, T. C. e NARUD, H. **Strength of Recycled Concrete Made from Crushed Concrete Coarse Aggregate**. 1983, Concrete International, v.5, No. 1. American Concrete Institute. January 1983. pp 79-83.

HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, 1992. 316p. Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160. (RILEM TC Report 6).

HELENE, P. & ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland**. Capítulo 29. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1 ed. IBRACON, 2007

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini; Brasília: SENAI, 1993. 349p.

ISAIA, G.C, **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. 2005. IBRACON, vol 1, 1.600p São Paulo.

JI CHEN, How; YEN, Tsong; HUNG CHEN, Kuan. **Use of building rubbles as recycled aggregates**. **Cement and concrete**. V 33. 2003. 125-132p.

JOHN, V.M.; AGOPYAN, N. **Reciclagem de resíduos da construção**. Artigo. São Paulo: PCC-EPUSP. 2000. Disponível em <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>. Acesso em: 15 de julho de 2012.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Tese (livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: 2000. 102 p.

LEITE, M.B, **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição.** 2001. Tese (Doutorado)-Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre.269p

LEITE; M. B.; LIMA, P. R. L. **Efeito da interação entre agregado graúdo, agregado miúdo e fator água-cimento sobre a resistência à compressão do concreto reciclado.** In: Congresso Brasileiro de Concreto, 51, 2009. Anais, Curitiba: IBRACON, 2009, 13p. CD-ROM.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Durability of concrete produced with mineral waste of civil construction industry.** In: CIB SYMPOSIUM IN ONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings. [CD-ROM]. São Paulo: CIB, 2000. 12p.

LIMA, J. A. R. de. **Proposição para diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concreto.** (Dissertação de Mestrado) 1999. UFSCAR. São Carlos-SP.

LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto.**2007. 180p. Dissertação (mestrado). . Escola de Engenharia. Programa de Pós Graduação em engenharia civil, UFRGS, Porto Alegre:

MACEDO, T.F, **Análise do desempenho mecânico da mistura agregado reciclado-solo-fibra-cimento para pavimentação.** 2013. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, UPE, Recife

MACHADO Jr, E. F.; AGNESINI, M. V. C. **Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de microconcretos leves produzidos com argila expandida e com agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição.** In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 29. 2000, Punta del Este, Uruguai. Memórias... [CDROM]. Punta del Este: EDITOR, 2000, 12p.

MEHTA, K P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 1ª Ed, São Paulo: IBRACON. 2008. 674p.

MORAIS, G. M. D; **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia: subsídios para uma: gestão sustentável.** 2006.. Dissertação (mestrado). UFU, Uberlândia. 201 p

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 2ª ed. São Paulo: PINI, 1995

NUNES, W.C, **Influência do agregado graúdo reciclado de resíduos da construção predial nas propriedades do concreto fresco e endurecido,** 2007. 200p. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia Civil, UFG, Goiânia.200p

OLIVEIRA, D, LIMA, M, MEIRA G, LIRA, R, PADILHA, M. **Estudo do concreto utilizando agregado miúdo reciclado: Avaliação da Resistência Mecânica.** In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. 2007. João Pessoa.

PEDROSO, F.L, **Concreto & Construções: concreto: material construtivo mais consumido no mundo.** São Paulo: Ipeis, v. 1, n. 53, 2009. Trimestral.

PITAN, N.M, **Manifestações patológicas e estudos da corrosão presente em pontes do Recife.** Recife: UPE, 2013. 173p. Dissertação (Mestrado) Escola Politecnica da Universidade de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife

PRADO, D.M, **Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto,** 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.140p

RILEM RECOMM ENDATION, **Specification for concrete with recycle aggregates.** Materials and Structures, |Paris n. 27, p 557-559, 1994.

RODRIGUES, C.R.S, **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados miúdos reciclado de resíduos da construção civil.** 2011. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, UPE, Recife.119p

SAMPAIO, L.L. **Comportamento mecânico de resíduos beneficiados da construção e demolição utilizados na fabricação de concreto e estabilização de solos.** Recife: UNICAP, 2013. 100p. Dissertação (Mestrado). Universidade Católica de Pernambuco. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Recife.

SCOTT HOOD, R.S. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confeção de Blocos de Concreto para Pavimentação.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.150p

TAVAKOLI, M.; SOROUSHIAN, P. **Strengths of recycled aggregate concrete made using field-demolished concrete as aggregate.** ACI Materials Journal, v. 93, n. 2, p. 182-190, 1996.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação das propriedades do concreto com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição visando aplicações estruturais.** Maceió:UFAL, 2007. 138p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Alagoas.

TROIAN, A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto.** (Dissertação de Mestrado). 2010. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo - RS.

VERAS, L.M. **Estudo das propriedades do concreto com diferentes proporções de agregados de resíduos de construção civil com e sem saturação prévia.** Recife, UFPE, 2012 115p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Porto Alegre: UFRGS, 2003 150 p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VIEIRA, G, MOLIN, D. **Contribuição ao Estudo e Análise de Variabilidade da Utilização de Concretos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição,** In: ANAIS DO II SEMINÁRIO DE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES: Novos Materiais e Tecnologias Emergentes. Anais. Porto Alegre.2004

WERLE, A.P, **Determinação de propriedades de concretos com agregados reciclados de concreto, com ênfase na carbonatação.** 2010. 195p. Dissertação (Mestrado), UNISINOS, São Leopoldo.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção de concreto.** Campinas, 1997. 156p. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas.

APÊNDICE – Tabelas dos Resultados Gerais

Tabela 27 - Quadro de referências de Legenda das famílias

AGR (%)	relação a/c		
Subst.	0,5	0,6	0,7
0%	F1	F2	F3
50%	F4	F5	F6
100%	F7	F8	F9

Tabela 28 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à compressão simples aos 3 dias.

Substituição	Relação a/c	Data	Família	F (kgf)	F (N)	fck (MPa)
0%	0,5	08/11/2013	F1	17982	176403,4	22,460
0%	0,5	08/11/2013	F1	17885	175451,9	22,339
0%	0,5	08/11/2013	F1	16605	162895,1	20,740
0%	0,6	28/10/2013	F2	14894	146110,1	18,603
0%	0,6	28/10/2013	F2	16334	160236,5	20,402
0%	0,6	28/10/2013	F2	17103	167780,4	21,362
0%	0,7	29/10/2013	F3	11949	117219,7	14,925
0%	0,7	29/10/2013	F3	11208	109950,5	13,999
0%	0,7	29/10/2013	F3	11795	115709	14,733
50%	0,5	08/11/2013	F4	15359	150671,8	19,184
50%	0,5	08/11/2013	F4	17256	169281,4	21,554
50%	0,5	08/11/2013	F4	17042	167182	21,286
50%	0,6	28/10/2013	F5	17119	167937,4	21,382
50%	0,6	28/10/2013	F5	15987	156832,5	19,969
50%	0,6	28/10/2013	F5	16230	159216,3	20,272
50%	0,7	29/10/2013	F6	11857	116317,2	14,810
50%	0,7	29/10/2013	F6	13060	128118,6	16,313
50%	0,7	29/10/2013	F6	13262	130100,2	16,565
100%	0,5	08/11/2013	F7	15379	150868	19,209
100%	0,5	08/11/2013	F7	16242	159334	20,287
100%	0,5	08/11/2013	F7	16007	157028,7	19,994
100%	0,6	28/10/2013	F8	16664	163473,8	20,814
100%	0,6	28/10/2013	F8	14385	141116,9	17,968
100%	0,6	28/10/2013	F8	16388	160766,3	20,469
100%	0,7	29/10/2013	F9	12623	123831,6	15,767
100%	0,7	29/10/2013	F9	12641	124008,2	15,789
100%	0,7	29/10/2013	F9	13405	131503,1	16,743

Tabela 29 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à compressão simples aos 7 dias.

Substituição	Relação a/c	Data	Família	F (kgf)	F (N)	fck (MPa)
0%	0,5	12/11/2013	F1	22002	215839,6	27,482
0%	0,5	12/11/2013	F1	23954	234988,7	29,920
0%	0,5	12/11/2013	F1	23629	231800,5	29,514
0%	0,6	31/10/2013	F2	18947	185870,1	23,666
0%	0,6	31/10/2013	F2	19494	191236,1	24,349
0%	0,6	31/10/2013	F2	18740	183839,4	23,407
0%	0,7	04/11/2013	F3	15366	150740,5	19,193
0%	0,7	04/11/2013	F3	15545	152496,5	19,416
0%	0,7	04/11/2013	F3	13778	135162,2	17,209
50%	0,5	12/11/2013	F4	23062	226238,2	28,806
50%	0,5	12/11/2013	F4	23067	226287,3	28,812
50%	0,5	12/11/2013	F4	23113	226738,5	28,869
50%	0,6	31/10/2013	F5	19440	190706,4	24,281
50%	0,6	31/10/2013	F5	20753	203586,9	25,921
50%	0,6	31/10/2013	F5	20623	202311,6	25,759
50%	0,7	04/11/2013	F6	14761	144805,4	18,437
50%	0,7	04/11/2013	F6	15563	152673	19,439
50%	0,7	04/11/2013	F6	15657	153595,2	19,556
100%	0,5	12/11/2013	F7	21780	213661,8	27,204
100%	0,5	12/11/2013	F7	20906	205087,9	26,113
100%	0,5	12/11/2013	F7	21338	209325,8	26,652
100%	0,6	31/10/2013	F8	18968	186076,1	23,692
100%	0,6	31/10/2013	F8	20761	203665,4	25,931
100%	0,6	31/10/2013	F8	18774	184172,9	23,450
100%	0,7	04/11/2013	F9	16460	161472,6	20,559
100%	0,7	04/11/2013	F9	16631	163150,1	20,773
100%	0,7	04/11/2013	F9	15926	156234,1	19,892

Tabela 30 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à compressão simples aos 14 dias.

Substituição	Relação a/c	Data	Família	F (kgf)	F (N)	fck (MPa)
0%	0,5	19/11/2013	F1	23325	228818,3	29,134
0%	0,5	19/11/2013	F1	23943	234880,8	29,906
0%	0,5	19/11/2013	F1	25826	253353,1	32,258
0%	0,6	07/11/2013	F2	23519	230721,4	29,376
0%	0,6	07/11/2013	F2	24061	236038,4	30,053
0%	0,6	07/11/2013	F2	23571	231231,5	29,441
0%	0,7	08/11/2013	F3	14771	144903,5	18,450
0%	0,7	08/11/2013	F3	15714	154154,3	19,628
0%	0,7	08/11/2013	F3	15872	155704,3	19,825
50%	0,5	19/11/2013	F4	23193	227523,3	28,969
50%	0,5	19/11/2013	F4	23576	231280,6	29,448

50%	0,5	19/11/2013	F4	23614	231653,3	29,495
50%	0,6	07/11/2013	F5	23080	226414,8	28,828
50%	0,6	07/11/2013	F5	23869	234154,9	29,814
50%	0,6	07/11/2013	F5	23003	225659,4	28,732
50%	0,7	08/11/2013	F6	15417	151240,8	19,257
50%	0,7	08/11/2013	F6	15596	152996,8	19,480
50%	0,7	08/11/2013	F6	15433	151397,7	19,277
100%	0,5	19/11/2013	F7	23382	229377,4	29,205
100%	0,5	19/11/2013	F7	23236	227945,2	29,023
100%	0,5	19/11/2013	F7	23923	234684,6	29,881
100%	0,6	07/11/2013	F8	22817	223834,8	28,500
100%	0,6	07/11/2013	F8	22079	216595	27,578
100%	0,6	07/11/2013	F8	22666	222353,5	28,311
100%	0,7	08/11/2013	F9	17831	174922,1	22,272
100%	0,7	08/11/2013	F9	15737	154380	19,656
100%	0,7	08/11/2013	F9	15292	150014,5	19,100

Tabela 31 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à compressão simples e Ultrassom aos 28 dias.

Substituição	Relação a/c	Data	Família	F (kgf)	F (N)	fck (MPa)	V (km/s)
0%	0,5	04/12/2013	F1	28950	283999,5	36,160	4,66
0%	0,5	04/12/2013	F1	25897	254049,6	32,347	4,62
0%	0,5	04/12/2013	F1	30607	300254,7	38,230	4,61
0%	0,6	21/11/2013	F2	26518	260141,6	33,122	4,21
0%	0,6	21/11/2013	F2	27335	268156,4	34,143	4,5
0%	0,6	21/11/2013	F2	25328	248467,7	31,636	4,4
0%	0,7	22/11/2013	F3	18342	179935	22,910	4,39
0%	0,7	22/11/2013	F3	17583	172489,2	21,962	4,28
0%	0,7	22/11/2013	F3	18475	181239,8	23,076	4,25
50%	0,5	04/12/2013	F4	25545	250596,5	31,907	4,45
50%	0,5	04/12/2013	F4	27834	273051,5	34,766	4,44
50%	0,5	04/12/2013	F4	25139	246613,6	31,400	4,46
50%	0,6	21/11/2013	F5	26411	259091,9	32,989	4,32
50%	0,6	21/11/2013	F5	24089	236313,1	30,088	4,3
50%	0,6	21/11/2013	F5	23193	227523,3	28,969	4,32
50%	0,7	22/11/2013	F6	19216	188509	24,002	4,17
50%	0,7	22/11/2013	F6	19366	189980,5	24,189	4,22
50%	0,7	22/11/2013	F6	19905	195268,1	24,862	4,22
100%	0,5	04/12/2013	F7	26498	259945,4	33,097	4,29
100%	0,5	04/12/2013	F7	25729	252401,5	32,137	4,32
100%	0,5	04/12/2013	F7	28357	278182,2	35,419	4,32
100%	0,6	21/11/2013	F8	25167	246888,3	31,435	4,32
100%	0,6	21/11/2013	F8	24957	244828,2	31,172	4,24
100%	0,6	21/11/2013	F8	24830	243582,3	31,014	4,26

100%	0,7	22/11/2013	F9	20148	197651,9	25,166	4,12
100%	0,7	22/11/2013	F9	19946	195670,3	24,914	4,11
100%	0,7	22/11/2013	F9	21811	213965,9	27,243	4,13

Tabela 32 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à compressão simples e Índice Esclerométrico (IE) aos 120 dias.

Substituição	Relação a/c	Data	Família	F (kgf)	F (N)	fck (MPa)	IE
0%	0,5	17/03/2014	F1	28339	278005,6	35,397	26,625
0%	0,5	17/03/2014	F1	31154	305620,7	38,913	28,1875
0%	0,5	17/03/2014	F1	30812	302265,7	38,486	29,625
0%	0,6	25/02/2014	F2	28812	282645,7	35,988	23,4375
0%	0,6	25/02/2014	F2	29928	293593,7	37,382	28,625
0%	0,6	25/02/2014	F2	29767	292014,3	37,180	29,000
0%	0,7	25/02/2014	F3	20035	196543,4	25,025	20,500
0%	0,7	25/02/2014	F3	20914	205166,3	26,123	21,500
0%	0,7	25/02/2014	F3	19499	191285,2	24,355	22,5625
50%	0,5	17/03/2014	F4	29103	285500,4	36,351	28,125
50%	0,5	17/03/2014	F4	26845	263349,5	33,531	28,5625
50%	0,5	17/03/2014	F4	23397	229524,6	29,224	29,3125
50%	0,6	25/02/2014	F5	28357	278182,2	35,419	24,000
50%	0,6	25/02/2014	F5	28975	284244,8	36,191	24,375
50%	0,6	25/02/2014	F5	28763	282165	35,926	28,6875
50%	0,7	25/02/2014	F6	21760	213465,6	27,179	23,250
50%	0,7	25/02/2014	F6	21841	214260,2	27,280	23,500
50%	0,7	25/02/2014	F6	21410	210032,1	26,742	22,6875
100%	0,5	17/03/2014	F7	28674	281291,9	35,815	22,625
100%	0,5	17/03/2014	F7	26324	258238,4	32,880	21,5625
100%	0,5	17/03/2014	F7	27499	269765,2	34,348	22,6875
100%	0,6	25/02/2014	F8	28209	276730,3	35,234	24,500
100%	0,6	25/02/2014	F8	29397	288384,6	36,718	22,3125
100%	0,6	25/02/2014	F8	27857	273277,2	34,795	22,5625
100%	0,7	25/02/2014	F9	21075	206745,8	26,324	17,875
100%	0,7	25/02/2014	F9	20577	201860,4	25,702	15,5625
100%	0,7	25/02/2014	F9	19979	195994	24,955	16,250

Tabela 33 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à tração por compressão diametral aos 3 dias.

Substituição	Relação a/c	Data	Família	F (kgf)	fck (MPa)
0%	0,5	08/11/2013	F1	6375	2,03
0%	0,5	08/11/2013	F1	6237	1,99
0%	0,6	28/10/2013	F2	7594	2,42
0%	0,6	28/10/2013	F2	7420	2,36
0%	0,7	29/10/2013	F3	5601	1,78
0%	0,7	29/10/2013	F3	4815	1,53

50%	0,5	08/11/2013	F4	6140	1,95
50%	0,5	08/11/2013	F4	6102	1,94
50%	0,6	28/10/2013	F5	5962	1,90
50%	0,6	28/10/2013	F5	8608	2,74
50%	0,7	29/10/2013	F6	6041	1,92
50%	0,7	29/10/2013	F6	5538	1,76
100%	0,5	08/11/2013	F7	6015	1,91
100%	0,5	08/11/2013	F7	5681	1,81
100%	0,6	28/10/2013	F8	7262	2,31
100%	0,6	28/10/2013	F8	6406	2,04
100%	0,7	29/10/2013	F9	4600	1,46
100%	0,7	29/10/2013	F9	4038	1,29

Tabela 34 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias.

Substituição	Relação a/c	Data	Família	F (kgf)	fck (MPa)
0%	0,5	12/11/2013	F1	7121	2,27
0%	0,5	12/11/2013	F1	6398	2,04
0%	0,6	31/10/2013	F2	9262	2,95
0%	0,6	31/10/2013	F2	8996	2,86
0%	0,7	04/11/2013	F3	5995	1,91
0%	0,7	04/11/2013	F3	5509	1,75
50%	0,5	12/11/2013	F4	5129	1,63
50%	0,5	12/11/2013	F4	6498	2,07
50%	0,6	31/10/2013	F5	6733	2,14
50%	0,6	31/10/2013	F5	5622	1,79
50%	0,7	04/11/2013	F6	5900	1,88
50%	0,7	04/11/2013	F6	6531	2,08
100%	0,5	12/11/2013	F7	7124	2,27
100%	0,5	12/11/2013	F7	5619	1,79
100%	0,6	31/10/2013	F8	7009	2,23
100%	0,6	31/10/2013	F8	7134	2,27
100%	0,7	04/11/2013	F9	6347	2,02
100%	0,7	04/11/2013	F9	4950	1,58

Tabela 35 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à tração por compressão diametral aos 14 dias.

Substituição	Relação a/c	Data	Família	F (kgf)	fck (MPa)
0%	0,5	19/11/2013	F1	8738	2,78
0%	0,5	19/11/2013	F1	9504	3,03
0%	0,6	07/11/2013	F2	9119	2,90
0%	0,6	07/11/2013	F2	8411	2,68
0%	0,7	08/11/2013	F3	5285	1,68
0%	0,7	08/11/2013	F3	5900	1,88
50%	0,5	19/11/2013	F4	6059	1,93
50%	0,5	19/11/2013	F4	7691	2,45
50%	0,6	07/11/2013	F5	6728	2,14
50%	0,6	07/11/2013	F5	8741	2,78
50%	0,7	08/11/2013	F6	6861	2,19
50%	0,7	08/11/2013	F6	6784	2,16
100%	0,5	19/11/2013	F7	8056	2,57
100%	0,5	19/11/2013	F7	7287	2,32
100%	0,6	07/11/2013	F8	7706	2,45
100%	0,6	07/11/2013	F8	7599	2,42
100%	0,7	08/11/2013	F9	5964	1,90
100%	0,7	08/11/2013	F9	7055	2,25

Tabela 36 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.

Substituição	Relação a/c	Data	Família	F (kgf)	fck (MPa)
0%	0,5	04/12/2013	F1	8886	2,83
0%	0,5	04/12/2013	F1	7790	2,48
0%	0,6	21/11/2013	F2	8912	2,84
0%	0,6	21/11/2013	F2	8158	2,60
0%	0,7	22/11/2013	F3	6769	2,16
0%	0,7	22/11/2013	F3	7326	2,33
50%	0,5	04/12/2013	F4	7773	2,48
50%	0,5	04/12/2013	F4	6329	2,02
50%	0,6	21/11/2013	F5	7770	2,47
50%	0,6	21/11/2013	F5	6562	2,09
50%	0,7	22/11/2013	F6	6411	2,04
50%	0,7	22/11/2013	F6	8253	2,63
100%	0,5	04/12/2013	F7	7251	2,31
100%	0,5	04/12/2013	F7	6710	2,14
100%	0,6	21/11/2013	F8	9530	3,04
100%	0,6	21/11/2013	F8	5875	1,87
100%	0,7	22/11/2013	F9	5673	1,81
100%	0,7	22/11/2013	F9	7811	2,49

Tabela 37 - Valores Gerais de Rompimento de Resistência à tração por compressão diametral aos 120 dias.

Substituição	Relação a/c	Data	Família	F (kgf)	fck (MPa)
0%	0,5	17/03/2014	F1	10424	3,32
0%	0,5	17/03/2014	F1	8664	2,76
0%	0,6	25/02/2014	F2	9162	2,92
0%	0,6	25/02/2014	F2	9073	2,89
0%	0,7	25/02/2014	F3	6495	2,07
0%	0,7	25/02/2014	F3	7686	2,45
50%	0,5	17/03/2014	F4	9177	2,92
50%	0,5	17/03/2014	F4	9080	2,89
50%	0,6	25/02/2014	F5	10212	3,25
50%	0,6	25/02/2014	F5	9798	3,12
50%	0,7	25/02/2014	F6	6764	2,15
50%	0,7	25/02/2014	F6	6861	2,19
100%	0,5	17/03/2014	F7	8580	2,73
100%	0,5	17/03/2014	F7	7826	2,49
100%	0,6	25/02/2014	F8	8853	2,82
100%	0,6	25/02/2014	F8	10046	3,20
100%	0,7	25/02/2014	F9	7540	2,40
100%	0,7	25/02/2014	F9	6562	2,09

ANEXOS

Dados fornecidos pelo fabricante de cimento:

ENSAIO		RESULTADOS	LIMITES DA NBR 11578/97
Finura	Resíduos na peneira de 75 µm (%)	3,2	≤ 12,0%
	Resíduos na peneira de 44 µm (%)	14,1	—
Massa específica (g/cm ³)		2,96	—
Área específica - Blaine (m ² /Kg)		506	≥ 260 (m ² /Kg)
Água da pasta de consistência normal (%)		27,6	—
Tempo	Tempo de início de pega (h:min)	03h40	≥ 1h
	Tempo de fim de pega (h:min)	04h30	≤ 10h (facultativo)
Expansibilidade de Le Chatelier a quente (mm)		0,5	≤ 5 mm
Resistência à compressão	na idade de 1 dia (MPa)	13,1	—
	na idade de 3 dias (MPa)	22,0	≥ 10 MPa
	na idade de 7 dias (MPa)	26,5	≥ 20 MPa
	na idade de 28 dias (MPa)	35,3	≥ 32 MPa
COMPOSIÇÃO QUÍMICA			
Perda ao Fogo- PF		6,15	≤ 6,5%
Dióxido de Silício - SiO ₂		24,01	—
Óxido de Alumínio - Al ₂ O ₃		4,41	—
Óxido de Ferro - Fe ₂ O ₃		2,21	—
Óxido de Cálcio Total - Cão		54,14	—
Óxido de Magnésio - MgO		4,39	≤ 6,5%
Anidrido Sulfúrico - SO ₃		2,4	≤ 4,0%
Óxido de Sódio - Na ₂ O		0,1	—
Óxido de Potássio - K ₂ O		1,45	—
Anidrido Carbônico - CO ₂		4,76	≤ 5,0%
Resíduo Insolúvel - RI		12,43	≤ 16,0%
Óxido de Cálcio Livre - CaO Livre		0,81	—

*Dados fornecidos pelo fabricante