

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CONCRETO COM AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE CONCRETO:
DOSAGEM E PRODUÇÃO**

ANA AMÉLIA MOTA DOS SANTOS

**FEIRA DE SANTANA - BA
2016**

ANA AMÉLIA MOTA DOS SANTOS

**CONCRETO COM AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE CONCRETO:
DOSAGEM E PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Mônica Batista Leite.

**Feira de Santana - BA
2016**

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

Santos, Ana Amélia Mota dos
S233c Concreto com agregado graúdo reciclado de concreto: dosagem e
produção / Ana Amélia Mota dos Santos. –Feira de Santana, 2016.
135 f.: il.

Orientadora: Monica Batista Leite

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2016.

1. Concreto reciclado – dosagem e produção 2. Concreto reciclado –
ampliação do uso. I. Leite, Monica Batista, orient. II. Universidade
Estadual de Feira de Santana. III. Título.

CDU: 691.322

Ana Amélia Mota dos Santos

**CONCRETO COM AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE CONCRETO:
DOSAGEM E PRODUÇÃO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO O GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

Feira de Santana, 04 de agosto de 2016.

Aprovada por:

Prof.^a Dr.^a Mônica Batista Leite
(Universidade Estadual de Feira de Santana)

Prof. Dr. Antonio Eduardo Bezerra Cabral
(Universidade Federal do Ceará)

Prof. Dr. Anderson de Souza Matos Gadéa
(Universidade Estadual de Feira de Santana)

AGRADECIMENTOS

Como cantava Renato Russo:

“Ainda que eu falasse

A língua dos homens

E falasse a língua dos anjos

Sem amor eu nada seria...”

O amor aos sonhos, que faz você saber quais os propósitos das tuas buscas. O amor ao trabalho, que te dá a determinação para cumprir cada etapa, e sentir-se feliz e agradecida pela oportunidade de lutar e apaixonar-se pela luta, não apenas pela vitória.

O amor na sua forma mais pura, o melhor do amor, a todos os que são seu chão, àqueles que não te deixam sozinha, que sonham os seus sonhos e que sofrem suas dores. Àqueles por quem você tenta ser cada vez melhor.

E o amor, em forma de afeto e carinho, daqueles que a nossa luta, como prêmio, nos permite conhecer.

E por todas as formas e expressões do amor, é preciso agradecer.

A Deus, Senhor de todos os meus caminhos, por me permitir a realização de um sonho. Por me conceder a oportunidade pedida e a força necessária para superar cada obstáculo enfrentado.

A minha mãe e ao meu irmão, pelo apoio incondicional em todas as minhas escolhas. A vocês eu dedico todas as vitórias alcançadas em minha vida. Vocês são a melhor expressão do meu “amor maior”.

À professora Mônica Leite, com você eu aprendi que “sim, vai dar certo”, que “10% é inspiração e 90% é transpiração”, que “sem dor, sem ganho”, com você eu aprendi muito além de tudo aquilo que eu pensava ser necessário e possível aprender. A você eu dedico essa realização, a minha imensa admiração e a minha eterna gratidão. Obrigada pelo profissionalismo, dedicação e competência na condução de todos os trabalhos realizados. Por ir sempre além e ser tão presente. Agradeço também por toda amizade e carinho. Sou, especialmente, grata a Deus, que me permitiu o privilégio da sua orientação e do seu exemplo.

Aos meus queridos “gêmeos”, Ana Paula e Mailson, pela parceria nas lutas e realizações. Escolheria vocês outras centenas de vezes se assim fosse necessário, para

compartilhar cada momento dessa jornada. O melhor que temos, oferecemos uns aos outros, da forma mais pura e natural. Levarei de Ana, a leveza na maneira de enxergar o mundo e a alegria de viver. De Mailson, o exemplo de determinação e generosidade. De nós, levarei o aprendizado das dificuldades superadas, os conselhos nos momentos de indecisão, as palavras de apoio nos momentos de angústia. E, acima de tudo, levarei as risadas, as “conversas fiadas”, as perturbações, as discussões sobre o sentido de tudo e de nada, ou seja, as besteiras que, só entre nós, sabíamos fazer. E não importa a direção dos nossos próximos caminhos, pois sei que estaremos sempre ligados pelo que há de mais bonito entre nós, a nossa amizade.

Aos meus amigos Katiane, Talisson, Juliane, Rogério, Gustavo, Candice, Eline, Jeane e Priscila. Pela compreensão daquele “hoje eu não posso”, “agora não dá”, “fica para a próxima”, “eu apareço”, “depois a gente conversa”..., pela compreensão da minha ausência e por não “desistirem” de mim, nem nos meu piores “dramas”. Os nossos momentos são a expressão da minha “saudade de todos os dias”.

A minha grande e maravilhosa família, pela presença constante em minha vida.

Ao professor Washington Moura, por todo conhecimento compartilhado, pela dedicação e carinho trazidos a cada aula, pela generosidade trazida a cada lição. Obrigada pelo exemplo.

À professora Cintia Fontes, pelas tão valiosas palavras de incentivo desde os primeiros momentos dessa jornada, por todo carinho e atenção.

Ao professor José Mário Lima, pelo exemplo de profissionalismo e compromisso. A todos os professores do PPGECEA, que contribuíram para a minha formação.

À Mariana e Cátia, por toda ajuda na resolução dos diversos problemas burocráticos. E pela atenção e disponibilidade de sempre.

Aos meus amigos e vizinhos Jaques, Rafaela e Bruna, pela companhia e por todo apoio.

A Rebeca, Daniele, Alex, Rafael, Sérgio, Vinicius, Olívia, Jamile, Uiliana, Safira e Juli, os amigos que o mestrado me concedeu, pelo auxílio nas batalhas diárias no curso, e, sobretudo, pelos momentos de descontração, sempre tão necessários. Em especial, a Heni Mirna, a minha família no Feira VI, sempre me resgatando dos “apuros” e das confusões do dia a dia.

A Marcus e Hortência pelo cordial acolhimento no decorrer dessa caminhada.

Aos amigos Derivaldo Santos e Dêdison Moura, pelo incentivo ao ingresso no curso de pós-graduação.

Aos amigos Jarbas Gamas e Fabrizio Santana, meus primeiros professores da vida profissional, por toda paciência dispensada nos meus primeiros passos nos caminhos da engenharia.

A Carla, Myrella, Geise, Juci, Sr. Nilson, Rosana, Nice, Suane e Ana, pelo suporte durante a fase de pesquisa no LABOTEC.

A Jaci e Rôse, por todo carinho.

Aos colegas Jornis e Valéria, pelo auxílio no desenvolvimento do programa experimental.

À CAPES pelo financiamento da bolsa de estudos. À UEFS.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa realização.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGECEA/UEFS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

CONCRETO COM AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE CONCRETO: DOSAGEM E PRODUÇÃO

Ana Amélia Mota dos Santos

Agosto, 2016

Orientador : Prof^ª. Dr^ª. Monica Batista Leite

Programa: Engenharia Civil e Ambiental

Para ampliar o uso de concretos reciclados deve-se estabelecer a sua dosagem e produção considerando aspectos relacionados com o tipo de agregado reciclado (AR) utilizado, o melhor teor de AR, a melhor sequência e tempo de mistura e a melhor forma de avaliar a trabalhabilidade desses concretos. Assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a dosagem e produção de concretos com ARs de concreto, usando como medida de trabalhabilidade o ensaio de espalhamento na mesa de Graff. Os teores de aplicação do agregado graúdo reciclado (AGR) foram 20 e 40%. Foram avaliados dois níveis de espalhamento (350 e 400mm) e dois métodos de dosagem (IPT/EPUSP e ABCP). Os concretos foram avaliados ainda quanto a resistência à compressão axial, aos 7 e 28 dias, e os resultados obtidos foram tratados estatisticamente através da análise de variância (ANOVA). Os resultados mostraram que o método de dosagem do IPT/EPUSP apresentou-se mais adequado para a dosagem de concretos reciclados. O ensaio de espalhamento na mesa de Graff, como medida da trabalhabilidade, e o método de mistura em duas etapas apresentaram-se adequados para a dosagem e produção de concretos reciclados. Nesse estudo, o teor de AGR avaliado não influenciou a resistência à compressão dos concretos produzidos, sendo plenamente viável o uso de até 40% do agregado graúdo reciclado de concreto.

Palavras-chave: Dosagem, Concreto reciclado, Agregado reciclado de concreto, Resíduo de Construção e Demolição.

Abstract of Dissertation presented to PPGECEA/UEFS as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

Ana Amélia Mota dos Santos

August, 2016

Advisor : Prof^a. Dr^a. Monica Batista Leite

Department: Civil and Environment Engineering

A proper mix design and production must be done in order to increase the use of recycled concrete. The type of recycled aggregate (RA) used, the best replacement content, the best sequence and mixing time and the best way to evaluate the workability are some of the features that must be considered. Thus, this work was done to evaluate the mix design and production of concrete with concrete recycled coarse aggregate (RCA), using as a measure of workability the flow test in Graff's table. Two levels of recycled coarse aggregate (20 and 40%), two levels of flow, for plastic and fluid mixtures, (350 and 400mm), and two mix design methods (IPT/EPUSP and ABCP) were evaluated on the concrete compressive strength, at 7 and 28 days of age. The results pointed out that the IPT/EPUSP mix design method was more suitable for recycled concrete. The flow test in Graff's table, as a measure of workability, and the two stage mixture approach presented to be more suitable for the mix design and production of recycled concrete. Also, in this study, the concrete RCA content evaluated did not influence the compressive strength of concrete produced. So, it is completely feasible to use up to 40% replacement of NCA by concrete RCA.

Keywords: Mix design, Recycled concrete, Concrete recycled aggregate, Construction and demolition waste.

SUMARIO

LISTA DE FIGURAS.....	12
LISTA DE TABELAS	16
LISTA DE QUADROS.....	18
1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS.....	22
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	23
2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	24
2.1 DEFINIÇÃO, COMPOSIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	24
2.2 GERAÇÃO, RECICLAGEM E UTILIZAÇÃO.....	25
2.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO DE RCD E SUA INFLUÊNCIA NO CONCRETO	28
2.3.1 Composição granulométrica	28
2.3.2 Material pulverulento.....	29
2.3.3 Forma e textura das partículas	30
2.3.4 Massa específica e massa unitária	30
2.3.5 Absorção de água.....	34
2.3.6 Desgaste por abrasão Los Angeles	36
2.3.7 Substâncias deletérias	37
3 CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS: DOSAGEM E PRODUÇÃO	38
3.1 CONCRETOS RECICLADOS DOSADOS PELOS MÉTODOS USADOS PARA CONCRETOS CONVENCIONAIS.....	39
3.1.1 Aspectos que interferem na trabalhabilidade	41
3.1.2 Aspectos que interferem na resistência	45
3.2 MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETO RECICLADO	49
3.2.1 Método do volume equivalente de argamassa.....	50
3.2.2 Estudos de dosagem convencional em concretos reciclados	53
3.3 PRODUÇÃO DO CONCRETO RECICLADO	59

3.4	CONSIDERAÇÕES	65
4	PROGRAMA EXPERIMENTAL	66
4.1	SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	66
4.1.1	Cimento	66
4.1.2	Agregados miúdos	66
4.1.3	Agregados graúdos	68
4.1.3.1	Caracterização dos agregados graúdos.....	70
4.1.4	Aditivo	74
4.1.5	Água	74
4.2	PARÂMETROS DE ESTUDO	74
4.3	DOSAGEM	75
4.3.1	Método de dosagem IPT/EPUSP	76
4.3.2	Método de dosagem ABCP	77
4.4	PRODUÇÃO DOS CONCRETOS.....	80
4.5	PROPRIEDADES AVALIADAS	80
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
5.1	DOSAGEM E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS.....	81
5.1.1	Resultados da dosagem usando o método IPT/EPUSP	81
5.1.2	Resultados da dosagem usando o método da ABCP	85
5.1.3	Considerações sobre os métodos de dosagem	88
5.1.4	Considerações sobre a produção e trabalhabilidade das misturas	89
5.2	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	94
5.2.1	Método de dosagem IPT/EPUSP	94
5.2.1.1	Diagramas de dosagem	95
5.2.1.2	Análise estatística.....	97
5.2.2	Método de dosagem ABCP	101
5.2.2.1	Diagramas de dosagem	101
5.2.2.2	Análise estatística.....	104
5.2.3	Comparativo entre os métodos de dosagem	107

5.2.3.1	Análise estatística.....	107
5.2.4	Estudo teórico do comportamento dos concretos	110
5.2.4.1	Método de dosagem IPT/EPUSP	110
5.2.4.2	Método de dosagem ABCP	112
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
6.1	CONCLUSÕES.....	115
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	118
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
	APÊNDICES	133
	APÊNDICE 1 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À	
	COMPRESSÃO AXIAL DO PROGRAMA EXPERIMENTAL	134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quantidade anual de RCD coletado no Brasil e por região (tx1000/ano) (Fonte: ABRELPE, 2014).....	26
Figura 2: Influência da massa específica dos agregados na resistência à compressão dos concretos (Fonte: Adaptado de MOREIRA, 2010).....	33
Figura 3: Taxa de absorção de água em função da massa específica dos agregados reciclados com diferentes composições. (Fonte: ANGULO, 2000).....	33
Figura 4: Influência da dimensão máxima no conteúdo de argamassa aderida dos agregados reciclados (Fonte: JUAN; GUTIÉRREZ, 2009).....	35
Figura 5: Representação gráfica a) Métodos de dosagem b) Método para medida de trabalhabilidade	40
Figura 6: Influência do teor de saturação no abatimento dos concretos (Fonte: REIS, 2013) .	42
Figura 7: Efeito da relação a/c sobre a resistência à compressão do concreto, aos 28 dias (Fonte: VIEIRA, 2003).....	45
Figura 8: Identificação da ruptura através dos grãos do agregado reciclado em corpo de prova de concreto rompido à compressão (Fonte: FONSECA, 2006)	46
Figura 9: Resistência à compressão de concretos convencionais e reciclados, aos 28 dias de idade (Fonte: SANTOS, 2006).....	47
Figura 10: Resistência à compressão dos concretos e teor do ART (YANG <i>et al.</i> , 2011).....	47
Figura 11: Resistência à compressão dos concretos de referência e concretos com diferentes teores de RCA, em função da idade (Fonte: KWAN <i>et al.</i> , 2012).....	48
Figura 12: Abatimento dos concretos reciclados em função do método de dosagem: a) Concretos reciclados produzidos com agregado reciclado de Vancouver; b) Concretos reciclados produzidos com agregado reciclado de Montreal (Fonte: Adaptado de FATHIFAZL <i>et al.</i> , 2009).....	52
Figura 13: Resistência à compressão dos concretos reciclados em função do método de dosagem: a) Concretos reciclados produzidos com agregado reciclado de Vancouver; b) Concretos reciclados produzidos com agregado reciclado de Montreal (Fonte: Adaptado de FATHIFAZL <i>et al.</i> , 2009)	52
Figura 14: Resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone em função do teor agregado reciclado (Fonte: AMARIO, 2015)	54

Figura 15: Resultados de resistência à compressão dos concretos em função do teor agregado reciclado (Fonte: Adaptado de AMARIO, 2015)	55
Figura 16: Resultados de resistência relativa para os concretos produzidos por Rodrigues e Fucale (2014).....	56
Figura 17: Resultados de taxa de absorção de água dos concretos (Fonte: RODRIGUES; FUCALE, 2014)	57
Figura 18: Representação das condições de umidade do agregado (Fonte: adaptado de TEGGUER, 2012)	60
Figura 19: Resistência à compressão do concreto para diferentes métodos compensação da taxa de absorção do agregado reciclado: a) Aos 7 dias de idade; b) Aos 28 dias de idade (Fonte: Adaptado de FERREIRA <i>et al.</i> , 2011).....	62
Figura 20: Método de mistura em duas etapas (Fonte: TAM <i>et al.</i> , 2005)	63
Figura 21: Microestrutura do concreto reciclado: a) Método de mistura convencional; b) Método de mistura em duas etapas (Fonte: TAM <i>et al.</i> , 2005).....	63
Figura 22: Desenvolvimento da resistência à compressão de concretos produzidos como diferentes métodos de mistura (Fonte: LI <i>et al.</i> , 2012)	64
Figura 23: Curva de composição granulométrica do agregado miúdo natural e respectivos limites especificados pela NBR 7211 (ABNT, 2005)	68
Figura 24: Alimentação do britador de mandíbulas utilizado para produção do AGR	69
Figura 25: Obtenção do AGR: a) peneiramento; b) aspecto final do AGR obtido	69
Figura 26: Curvas granulométricas dos agregados graúdos, natural e reciclado, e respectivos limites inferior e superior da zona granulométrica (4,8/12,5; 9,5/25,0; 19/31,5) especificada pela NBR 7211 (ABNT, 2005).....	71
Figura 27: Percentual de absorção de água no tempo para o AGR	72
Figura 28: Amostra do agregado graúdo antes e depois do ensaio de abrasão “Los Angeles”: a) Agregado natural; b) Agregado reciclado.	74
Figura 29: Representação das variáveis a serem estudadas para produção dos concretos reciclados, por método de dosagem.....	75
Figura 30: Aspecto dos concretos durante a determinação do teor ideal de argamassa da mistura 20%AGR-N1: a) Teor de argamassa inicial = 49%; b) Teor ideal de argamassa = 51%	82
Figura 31: Ensaio de espalhamento da mistura com fcd de 25MPa-20%AGR-N1, com traço inicial na qual observa-se falta de coesão e segregação da mistura	86

Figura 32: Aspectos das misturas de concreto reciclado durante o estudo experimental - traço fcd 25MPa-20%AGR-N2: a) Teor de argamassa inicial = 50%; b) Teor ideal de argamassa = 52%, apresentando leve exsudação de água	86
Figura 33: Aspecto dos concretos no ensaio de espalhamento na mesa de Graff, para misturas produzidas pelo método IPT/EPUSP: a) 20%AGR-N1; b) 40%AGR-N1; b) 20%AGR-N2; d) 40%AGR-N2	92
Figura 34: Aspecto dos concretos no ensaio de espalhamento na mesa de Graff, para misturas produzidas pelo método ABCP: a) 20%AGR-N1; b) 40%AGR-N1; b) 20%AGR-N2; d) 40%AGR-N2	93
Figura 35: Diagrama de dosagem dos concretos produzidos com 20% de AGR - método IPT/EPUSP	96
Figura 36: Diagrama de dosagem dos concretos produzidos com 40% de AGR - método IPT/EPUSP	96
Figura 37: Influência do efeito significativo da idade sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos para diferentes relações a/c, para concretos produzidos pelo método IPT/EPUSP: a) Misturas com 20% de AGR; b) Misturas com 40% de AGR.....	98
Figura 38: Relação entre as resistências dos concretos aos 7 e 28 dias, para misturas produzidas pelo método IPT/EPUSP: a) Nível de espalhamento –N1; b) Nível de espalhamento –N2	99
Figura 39: Diagrama de dosagem das misturas produzidas com 20% de AGR - método ABCP	102
Figura 40: Diagrama de dosagem das misturas produzidas com 40% de AGR - método ABCP	102
Figura 41: Influência do efeito significativo da idade sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos para diferentes relações a/c- Método ABCP: a) Misturas com 20% de AGR; b) Misturas com 40% de AGR.....	105
Figura 42: Relação entre as resistências dos concretos aos 7 e 28 dias, para misturas produzidas pelo método ABCP: a) Nível de espalhamento N1=350±20mm; b) Nível de espalhamento N2=400±20mm.....	105
Figura 43: Influência do efeito significativo do nível de espalhamento sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos em diferentes idades: a) 7 dias; b) 28 dias	106
Figura 44: Influência do efeito significativo do método de dosagem sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos: a) efeito isolado da variável método de dosagem; b) interação método de dosagem e traço.....	108

Figura 45: Efeito da interação do método de dosagem e teor de AGR sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos: a) Misturas com 20% de AGR; b) Misturas com 40% de AGR..... 109

Figura 46: Efeito da interação do método de dosagem e nível de espalhamento sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos: a) N1=350±20mm b) N2=400±20mm 109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Taxa de reciclagem do RCD em alguns países da Europa	26
Tabela 2: Faixa de resultados de literatura para massa específica e massa unitária dos agregados reciclados.....	31
Tabela 3: Propriedades de agregados graúdos naturais e reciclados.....	32
Tabela 4: Resultados de trabalhabilidade do concreto reciclado e convencional.....	44
Tabela 5: Propriedades dos agregados graúdos reciclados.....	51
Tabela 6: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca e a relação água/materiais secos das misturas produzidas.....	51
Tabela 7: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca e relação água/materiais secos das misturas produzidas.....	54
Tabela 8: Percentual dos constituintes da amostra do agregado reciclado utilizado.....	56
Tabela 9: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca, relação água/materiais secos e consumo de cimento e água por m ³ de concreto.....	57
Tabela 10: Consumo de cimento, teor de argamassa seca e resultados de resistência à compressão e abatimento dos concretos.....	59
Tabela 11: Efeito da condição de umidade do agregado nos resultados de abatimento e resistência à compressão dos concretos para diferentes teores de substituição.....	60
Tabela 12: Propriedades físicas e mecânicas do cimento Portland CP II Z 32 RS	66
Tabela 13: Resultados da caracterização dos agregados miúdos	67
Tabela 14: Resultados da caracterização dos agregados graúdos.....	70
Tabela 15: Consumo de água aproximado (l/m ³)	77
Tabela 16: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca, relação água/materiais secos, teor de pasta e consumo de materiais das misturas produzidas pelo método da ABCP – Estudo teórico.....	79
Tabela 17: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca, relação água/materiais secos, teor de pasta, consumo de materiais e resultados de espalhamento das misturas produzidas pelo método do IPT/EPUSP	83
Tabela 18: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca, relação água/materiais secos, teor de pasta e consumo de materiais das misturas – Estudo experimental do método ABCP	87
Tabela 19: Resultados de resistência à compressão dos concretos produzidos com o método IPT/EPUSP.....	94

Tabela 20: Consumo de cimento por m ³ de concreto para misturas produzidas com 20% de AGR- método IPT/EPUSP	97
Tabela 21: Consumo de cimento por m ³ de concreto para misturas produzidas com 40% de AGR- método IPT/EPUSP	97
Tabela 22: Resultados da ANOVA para a resistência à compressão quando avaliadas as variáveis teor de AGR, relação a/c e idade– Método IPT/EPUSP	97
Tabela 23: Resultados da ANOVA para a resistência à compressão quando avaliadas as variáveis nível de espalhamento, relação a/c e idade – Método IPT/EPUSP.....	98
Tabela 24: Resultados de resistência à compressão dos concretos produzidos com o método ABCP.....	101
Tabela 25: Consumo de cimento por m ³ de concreto para misturas produzidas com 20% de AGR- método ABCP	103
Tabela 26: Consumo de cimento por m ³ de concreto para misturas produzidas com 40% de AGR- método ABCP.....	103
Tabela 27: Resultados da ANOVA para a resistência à compressão quando avaliadas as variáveis teor de AGR, relação a/c e idade – Método ABCP.....	104
Tabela 28: Resultados da ANOVA para a resistência à compressão quando avaliadas as variáveis nível de espalhamento, relação a/c e idade – Método ABCP	104
Tabela 29: Resultados da ANOVA para a resistência à compressão quando avaliadas as variáveis método de dosagem, teor de AGR, nível de espalhamento e traço.....	107
Tabela 30: Leis de comportamento para os concretos produzidos pelo método do IPT/EPUSP	110
Tabela 31: Equações para estimar a resistência à tração e o módulo de elasticidade, em função da resistência à compressão dos concretos	111
Tabela 32: Propriedades teóricas dos concretos estudados fixando-se as relações a/c	111
Tabela 33: Resultados de resistência à tração por compressão diametral e de módulo de elasticidade obtidos em pesquisas com concretos reciclados.....	112
Tabela 34: Leis de comportamento para os concretos produzidos pelo método da ABCP....	113
Tabela 35: Propriedades teóricas dos concretos estudados fixando-se as relações a/c	114
Tabela 36: Resultados individuais de resistência à compressão axial para misturas produzidas com o método do IPT/EPUSP	134
Tabela 37: Resultados individuais de resistência à compressão axial para misturas produzidas com o método da ABCP	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Possíveis contaminantes no RCD e sua influência sobre o produto à base de cimento obtido	37
Quadro 2: Levantamento bibliográfico dos métodos de dosagem utilizados para estudos de concretos reciclados.....	40

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável por elevado consumo de recursos naturais, dentre os quais estão os agregados minerais, utilizados comumente na produção de argamassas e concretos. A exploração das jazidas desses agregados resulta na escassez de matéria-prima natural e ainda na degradação do meio ambiente. Em paralelo, existe outro impacto ambiental causado pela construção civil, a geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). A problemática da geração do RCD é comum a diversos países do mundo e tem se tornado crescente, à proporção que a indústria da construção se desenvolve. No Brasil, por exemplo, no ano de 2014 foram coletados cerca de 45 milhões de toneladas de RCD, 4,1% a mais do volume gerado no país no ano anterior (ABRELPE, 2016). Contudo, a falta de plano de gerenciamento e a disposição incorreta desses resíduos são responsáveis por acúmulos de RCD em ruas, córregos e outros locais impróprios, causando degradação ambiental, além de problemas sociais e econômicos. Além disso, a disposição incorreta também mostra que o volume de RCD gerado pode ser ainda maior que os valores apontados pelos dados oficiais de coleta.

A reciclagem se apresenta como uma solução sustentável para a destinação do RCD, pois além de promover a economia no uso de matéria-prima natural, resulta na diminuição da poluição ambiental causada pela disposição inadequada dos resíduos. De acordo com Ferreira (2007), a utilização do RCD como agregados, por exemplo, apresenta vantagens econômicas, principalmente em países onde as jazidas desses materiais estão cada vez mais escassas. Porém, o uso do RCD como agregado requer o estudo prévio da sua influência nas propriedades dos concretos e argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido (ANGULO, 2005).

Os primeiros registros de reciclagem de resíduos de demolição datam do final da segunda grande guerra mundial, com a reconstrução das cidades em países da Europa (ELHAKAM *et al.*, 2012). Na década de 70, os Estados Unidos começaram a reintroduzir o uso de agregado reciclado em aplicações não-estruturais (MCNEIL *et al.*, 2013). No Brasil, as primeiras pesquisas científicas envolvendo o uso de agregados reciclados de RCD vêm sendo realizadas desde de 1986 (MIRANDA *et al.*, 2009).

Nos últimos anos, vários pesquisadores, em diversos países, têm desenvolvido estudos com o objetivo de alcançar um maior entendimento a respeito do comportamento de concretos com agregados de RCD (RAVINDRARAJAH, 1987; BAIRAGI *et al.*, 1990; TOPÇU, 1995; LEITE, 2001; POON *et al.*, 2004a; TAM *et al.*, 2005; BRITO, 2005; CABRAL, 2007;

RAHMAN *et al.*, 2009; PACHECO-TORGAL *et al.*, 2010; MATIAS *et al.*, 2013; PEPE *et al.*, 2014; CEIA *et al.*, 2016; entre outros). Os resultados apontaram que as características dos agregados reciclados, como: elevada porosidade e absorção de água, forma irregular e textura rugosa e baixa resistência do grão influenciaram significativamente na qualidade dos concretos produzidos, que, de modo geral, apresentaram dificuldades para atingir as propriedades requeridas.

Diversos autores observaram problemas na trabalhabilidade dos concretos reciclados, quando esta foi avaliada pelo ensaio do abatimento do tronco de cone. Dessa forma, durante a dosagem foi necessário aumentar a quantidade de água das misturas, elevando a relação a/c efetiva desses concretos (MOREIRA, 2010; FONSECA *et al.*, 2011; GONZÁLEZ-FONTEBOA *et al.*, 2012; PADOVAN, 2013; SEARA-PAZ *et al.*, 2014). Esses resultados foram atribuídos à alta taxa de absorção de água dos agregados reciclados, que provoca a redução da quantidade de água de amassamento, resultando em misturas mais consistentes. Entretanto, mesmo o aumento da relação a/c efetiva dos concretos, através da compensação da taxa de absorção de água do agregado reciclado não fez com que os resultados de abatimento dos concretos reciclados fossem iguais ao do concreto de referência (VIEIRA, 2003; RODRIGUES; FUCALE, 2014). A textura mais rugosa e a forma mais irregular apresentada pelos agregados reciclados provocam um efeito de travamento entre grãos e redução da mobilidade das misturas, resultando em redução do abatimento, mesmo com o aumento no teor de água (FIGUEIRÊDO FILHO, 2011). Dessa forma, Leite (2001) e Malta (2012) afirmam que o ensaio de abatimento do tronco de cone não é o mais adequado para medir a trabalhabilidade de concretos com agregados reciclados.

Com base em tais observações, Moitinho e Leite (2015) produziram misturas de concreto reciclado, utilizando como medida de trabalhabilidade o ensaio de espalhamento na mesa de Graff. Os autores concluíram que este ensaio apresentou-se satisfatório para as dosagens realizadas, uma vez que as misturas produzidas alcançaram o valor de espalhamento previamente estabelecido. Além disso, observou-se que os resultados alcançados também podem ser atribuídos a compensação de 50% da taxa de absorção de água do agregado reciclado, a utilização de superplastificantes e ao método de mistura utilizado.

Do mesmo modo, Leite *et al.* (2013) apontam a necessidade do uso de superplastificantes, da compensação parcial da taxa de absorção do agregado reciclado e da utilização de um método específico de mistura para a melhoria da trabalhabilidade do concreto reciclado. Os autores afirmam também que os testes de tempo VeBe e espalhamento na mesa de Graff são mais adequados para determinar a trabalhabilidade do concreto reciclado, uma vez que utilizam um

componente dinâmico durante o ensaio. O uso de ensaios desse tipo reduz a viscosidade e o atrito interno das misturas, mesmo para pequenos incrementos de teor de água. O teste de espalhamento na mesa de Graff foi considerado mais adequado quando comparado ao ensaio de tempo VeBe, por se tratar de um equipamento simples e facilmente aplicável a canteiros de obras, além de ser de fácil manuseio e apresentar reduzida influência do operador na obtenção dos resultados (LEITE *et al.*, 2013).

Apesar dos resultados satisfatórios de trabalhabilidade obtidos por Moitinho e Leite (2015), os concretos produzidos com agregado reciclado de argamassa apresentaram redução da resistência mecânica, quando comparado ao concreto de referência. Resultados similares, de perda de resistência para concretos reciclados, foram observados por outros autores (FONSECA, 2006; SANTOS, 2006; NUNES 2007). Essas reduções podem ser atribuídas ao tipo de agregado utilizado, que apresenta maior porosidade e menor resistência, e que, de acordo com Leite (2001), tende a apresentar menor desempenho que o agregado natural, quando solicitado. Além disso, a menor massa específica apresentada pelos agregados reciclados, indício de maior porosidade desse material, faz aumentar também a porosidade do concreto, e conseqüentemente reduz sua resistência (MOREIRA, 2010; GONÇALVES, 2011). Por esse motivo, afirma-se que concretos com agregados reciclados de concreto, que de modo geral apresentam melhores características quando comparado a outros tipos de agregados reciclados, proporcionam resultados de resistência à compressão semelhantes aos apresentados pelos concretos convencionais. Porém, observa-se que existe um limite para o teor de aplicação desses agregados que, de maneira geral, não deve ultrapassar os 50%, uma vez que, para aplicações acima desse percentual obtêm-se maiores reduções da resistência mecânica do concreto reciclado, quando comparado ao concreto convencional (WERLE, 2010; SAFIUDDIN *et al.*, 2011; CAVALHEIRO, 2011; KWAN *et al.*, 2012; MATIAS *et al.*, 2013).

Além das questões relacionadas com a qualidade do agregado reciclado, da compensação parcial da sua taxa de absorção, com o conseqüente incremento da quantidade de água das misturas para alcançar uma determinada trabalhabilidade nos concretos, medida abatimento do tronco de cone, aspectos relacionados com a dosagem e a produção (sequência e tempo de mistura) também têm sido investigados.

Alguns autores realizaram estudos com o intuito de definir um método de dosagem específico para o concreto reciclado (FATHIFAZL *et al.*, 2009; MALTA, 2012; RODRIGUES; FUCALE, 2014). Todavia, os resultados apresentados mostram que os diferentes métodos de dosagem utilizados não apresentaram influência nos resultados obtidos, uma vez que alguns

problemas de trabalhabilidade e redução da resistência mecânica foram comuns a trabalhos com diferentes metodologias de dosagem. Nesses estudos, tais problemas também foram consequência das características, tipo e teor do agregado reciclado. Bem como, da metodologia de avaliação da trabalhabilidade utilizada.

Em outros estudos, durante a produção de misturas com utilização de agregados reciclados, alguns procedimentos específicos foram realizados, em função da influência das características desses agregados nas propriedades dos concretos. Tam *et al.* (2005), por exemplo, descreveram um procedimento de mistura em duas etapas para o concreto reciclado, intitulado abordagem de mistura em duas etapas. De acordo com os autores, esse procedimento contribui para melhorar a resistência à compressão e a durabilidade do concreto reciclado. Li *et al.* (2012) avaliaram a influência do método de mistura em duas etapas sobre a microestrutura dos concretos reciclados e concluíram que o método proposto por Tam *et al.* (2005) provoca melhorias na zona de transição, o que pode explicar a evolução na resistência à compressão dos concretos produzidos. Outros autores apontaram para a eficiência do método de mistura em duas etapas na produção de concretos reciclados (TAM *et al.*, 2007; BRAND *et al.*, 2015; LEITE; MONTEIRO, 2016).

Com base no exposto, dosar e produzir concretos reciclados de qualidade não se resume apenas à determinação do melhor proporcionamento dessas misturas e a sua simples execução. Deve-se também considerar aspectos relacionados com o tipo de agregado reciclado escolhido, o melhor teor de AR, o uso de aditivos químicos, a definição da taxa mais adequada para compensação da taxa de absorção e a melhor forma de implementar essa compensação, a produção, no que tange a melhor sequência e tempo de mistura, a melhor forma de avaliar a trabalhabilidade, entre outros fatores. Assim, esse estudo foi desenvolvido utilizando agregados graúdos reciclados de concreto, buscando contribuir com a ampliação do conhecimento sobre o comportamento dos concretos reciclados.

1.1 OBJETIVOS

Esse estudo tem como objetivo geral avaliar a dosagem e a produção de concretos reciclados contendo agregados graúdos reciclados de concreto.

O estudo apresenta os seguintes objetivos específicos:

- avaliar dois métodos distintos na dosagem de concretos reciclados, IPT/EPUSP e ABCP, usando a medida do espalhamento na mesa de Graff como parâmetro de avaliação da trabalhabilidade;

- produzir concretos reciclados com diferentes níveis de espalhamento, e avaliar a sua influência sobre o comportamento dos concretos;
- analisar a influência de dois teores do agregado graúdo reciclado de concreto sobre a resistência à compressão dos concretos reciclados produzidos;
- estabelecer as Leis de comportamento da dosagem para os concretos produzidos.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A apresentação desta dissertação está organizada em 6 capítulos. No primeiro capítulo apresenta-se uma introdução, com as justificativas, relevância e objetivos da pesquisa.

O capítulo dois apresenta uma revisão de literatura sobre geração, classificação e reciclagem do RCD. Além disso, apresenta as características dos agregados reciclados e sua influência sobre as propriedades do concreto avaliadas nesse estudo.

No terceiro capítulo estão apresentados aspectos sobre dosagem e produção de concretos reciclados.

O capítulo quatro apresenta o programa experimental, com o planejamento e metodologia dos ensaios, beneficiamento, seleção e caracterização dos materiais, bem como o estudo de dosagem experimental realizado e as propriedades avaliadas.

No capítulo cinco estão apresentados os resultados e discussões acerca dos ensaios realizados.

O capítulo seis contempla as considerações finais, que estão divididas em conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

2.1 DEFINIÇÃO, COMPOSIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

O RCD (Resíduo de Construção e Demolição) pode ser definido como o resíduo proveniente de construções, demolições, reformas e reparos de estruturas e estradas. Pode ser composto por diferentes materiais, como solos, rochas naturais, concretos, argamassas, cerâmicas para revestimentos, gesso, vidro, aço, madeira, plásticos, tintas, papel de embalagem e restos vegetais (LOVATO, 2007; TROIAN, 2010). A proporção desses materiais em diferentes amostras é bastante variável, sendo definida por fatores como: tipo de obra, etapa em que a obra se encontra no momento da coleta da amostra, matéria-prima disponível na região, qualidade e treinamento da mão de obra, características das edificações e técnicas de demolição adotadas (DAMINELI, 2007; WERLE, 2010). No Brasil, a composição do RCD, em sua maioria, é de materiais como brita, areia, concreto, argamassa, tijolos e blocos cerâmicos, blocos de concreto, restos de madeira, caixas de papelão, metais e plástico (SANTIAGO, 2008).

Diante da composição apresentada, existe uma tendência para a classificação dos RCD's como resíduos inertes, em função da grande quantidade de componentes minerais não poluentes, e quimicamente inertes. Entretanto, essa tendência já é vista com certo receio, pois tais resíduos podem estar contaminados com materiais de pintura, substâncias de tratamento de superfícies, ou até mesmo metais pesados, que podem lixiviar e contaminar a água e o solo (CABRAL, 2007). De acordo com Oliveira e Serra (2015), a contaminação do RCD é consequência da falta de segregação e do acondicionamento incorreto dos resíduos na origem da geração, nos canteiros de obra. Dessa forma, resíduos perigosos se tornam um componente efetivamente contaminante, o que pode inviabilizar a classificação do RCD como material inerte.

Além disso, vale ressaltar que alguns constituintes dos RCD's podem reagir ao longo do tempo. A exemplo da pasta de cimento Portland, um dos principais constituintes dos concretos e argamassas, que pode se decompor sob a ação de chuvas ácidas que ocorrem em regiões urbanas e/ou industrializadas. Assim, os íons provenientes dessa decomposição contribuem para a mineralização dos cursos d'água, e alteram as condições das águas naturais. Esse fato motiva a proposta para que os resíduos provenientes de obras de construção civil passem a ser considerados como material não inerte (OLIVEIRA, 2002).

No Brasil, os RCD's devem ser classificados, segundo a Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002) e suas alterações pelas resoluções CONAMA 348 (BRASIL, 2004),

CONAMA 431 (BRASIL, 2011) e CONAMA 448 (BRASIL, 2012). Para efeito desta Resolução, os resíduos de construção civil deverão ser classificados da seguinte forma:

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

2.2 GERAÇÃO, RECICLAGEM E UTILIZAÇÃO

De acordo com Cardoso (2010), diversos fatores estão associados à geração do RCD, dentre os quais estão: correção de manifestações patológicas, reformas com demolição parcial, substituição de componentes que atingiram sua vida útil, erros no processo construtivo, da concepção a execução do projeto, má qualidade do material empregado e perda por estocagem.

Nas cidades brasileiras, a taxa de geração de RCD foi de 122.262 t/dia em 2014, resultando em uma geração em todo país de aproximadamente 45 milhões de toneladas de resíduos, no referido ano. Esse volume implicou em um aumento de 4,1% da geração apresentada no ano de 2013, conforme visto na Figura 1 (ABRELPE, 2016).

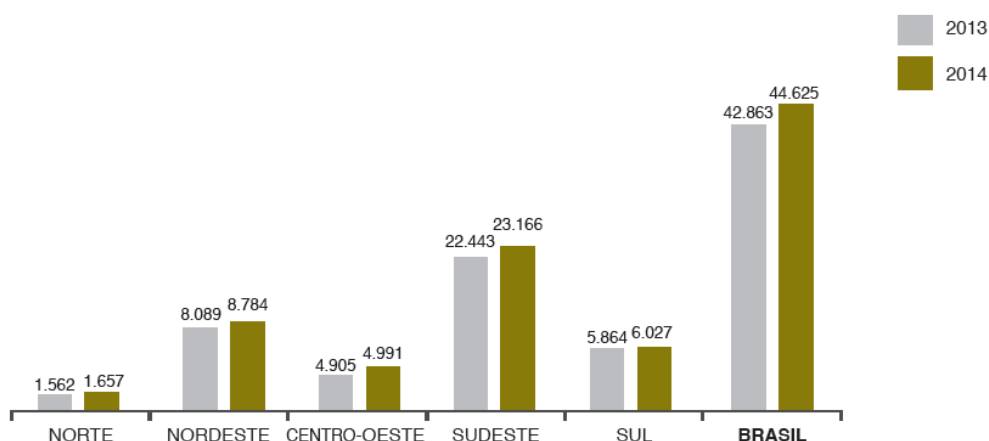


Figura 1: Quantidade anual de RCD coletado no Brasil e por região (tx1000/ano) (Fonte: ABRELPE, 2014)

Internacionalmente, estudos apontam uma geração anual de 970 milhões de toneladas de RCD na Europa, onde a reciclagem apresenta, para alguns países, um mercado muito desenvolvido, com taxas de reciclagem que ultrapassam os 80% do resíduo gerado, conforme pode ser observado na Tabela 1. Nos Estados Unidos, mais de 325 milhões de toneladas de resíduos de construção e de demolição são gerados por ano, e 25 a 45% destes resíduos são dispostos em aterros sanitários, o que reduz a taxa de reciclagem deste material, aumentando os impactos causados ao meio ambiente (DAHLBO *et al.*, 2015; MYMRIN *et al.*, 2015).

No Brasil, a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON) estima que atualmente a taxa de reciclagem de RCD é de apenas 21% do resíduo gerado. Esse valor representa, em média, 45% da capacidade de produção das usinas de reciclagem implantadas em todo o país (ABRECON, 2016).

Tabela 1: Taxa de reciclagem do RCD em alguns países da Europa

País	Reciclagem de RCD (%)
Dinamarca	94
França	45
Alemanha	86
Irlanda	80
Luxemburgo	46
Holanda	98
Espanha	14
Inglaterra	75

Fonte: Adaptado de Özalp *et al.* (2016)

Um levantamento realizado por Evangelista *et al.* (2010) mostrou que a reciclagem é apontada como uma alternativa para a diminuição da quantidade de resíduos dispostos nos

aterros, além de ser uma proposta sustentável para a destinação dos mesmos. Do ponto de vista financeiro, o uso da reciclagem pode trazer benefícios para as empresas construtoras e também para as cidades, por consequência dos ganhos ambientais associados. A reciclagem do RCD diminui o volume de resíduos que necessitam de disposição final e a pressão sobre recursos naturais (SCHNEIDER; PHILIPPI JR, 2004). Dessa forma, por motivos ambientais e econômicos, existe uma necessidade crescente de reciclagem (MIRANDA *et al.*, 2009).

Segundo Angulo (2005), para se atingir a reciclagem massiva do RCD, é fundamental a utilização da sua fração mineral. De acordo com o autor, essa fração poderá ser absorvida integralmente no mercado, na forma de agregados reciclados para produção de concretos e argamassas. Todavia, esta é a aplicação que exige mais cuidados e estudos, tendo em vista o importante papel que os agregados exercem no comportamento destes materiais (CARRIJO, 2005). A substituição dos agregados naturais por agregados reciclados apresenta inúmeras vantagens, entre as quais estão: o ganho financeiro na aquisição de matéria-prima, diminuição da poluição gerada pela produção dos agregados e melhoria na preservação das reservas naturais de matéria-prima do planeta (PEREIRA *et al.*, 2012).

De acordo com Figueirêdo Filho (2011), as características do agregado de RCD estão relacionadas a sua composição, forma de beneficiamento (trituração, lavagem e outros) e a qualidade do material presente em sua composição original. As etapas do beneficiamento vão desde a coleta e transporte, passando por separação, britagem e peneiramento, até o seu acondicionamento, para posterior utilização (MALTA, 2012).

Segundo Damineli (2007), o processo de produção dos agregados de RCD, a partir da fração mineral dos resíduos, é realizado pelas seguintes etapas:

- 1º) Triagem na chegada dos resíduos para a separação de RCD mineral;
- 2º) Catação manual para a retirada de elementos contaminantes dos montantes totais de RCD de origem mineral;
- 3º) Retirada de resíduos metálicos dos agregados com separador magnético;
- 4º) Britagem dos RCD por compressão ou por impacto, gerando agregados reciclados;
- 5º) Peneiramento dos agregados gerados, com divisão por faixa granulométrica.

De acordo com a ABRECON (2016), existem cerca de 310 usinas de reciclagem instaladas em diversos estados brasileiro, que disponibilizam para o mercado agregados reciclados para as seguintes aplicações:

- Areia reciclada: utilizada para argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.

- Pedrisco reciclado: utilizado na fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
- Brita reciclada: utilizado na fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.
- Bica corrida: utilizada em obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos.
- Rachão: utilizado em obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.

2.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO DE RCD E SUA INFLUÊNCIA NO CONCRETO

Conforme Tenório (2007), os agregados reciclados têm características variáveis, em consequência disso os concretos produzidos tendem a apresentar variabilidade das propriedades que dependem do agregado. Dessa forma, o autor afirma que o conhecimento dessas características é tão importante quanto o conhecimento das propriedades do concreto, visto que, é a partir do entendimento das relações existentes entre esses dois conjuntos de dados que se pode proporcionar o emprego adequado e confiável dos agregados reciclados. Assim, a seguir serão discutidos aspectos relacionados às propriedades dos agregados de RCD.

2.3.1 Composição granulométrica

Conforme descrito por Malta (2012), os agregados reciclados, miúdo e graúdo, apresentam uma composição granulométrica mais contínua e com maior quantidade de finos. Uma granulometria contínua indica que os agregados estão graduados, de maneira bem distribuída, dentro de uma determinada faixa de tamanhos, o que permite maior possibilidade de interação física entre as partículas, proporciona um maior grau de compacidade (melhor arranjo) e maior resistência mecânica (MARTÍN-MORALES *et al.*, 2011). No estado fresco, agregados com granulometria contínua produzem misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas (MEHTA; MONTEIRO, 2014). No estado endurecido proporcionam um concreto mais denso, favorecendo a resistência à compressão, e outras propriedades mecânicas (OLIVEIRA, 2012).

Por exercer influência sobre a trabalhabilidade e resistência, a granulometria dos agregados é um importante parâmetro para a dosagem do concreto (SANTOS, 2008). Aspectos como, o

módulo de finura, teor de finos e dimensão máxima do agregado, fornecidos através da composição granulométrica, também influenciarão a dosagem do concreto. Quanto maior o módulo de finura e a Dimensão Máxima Característica – D_{max} , maior é o tamanho das partículas dos agregados, o que diminui sua superfície específica. E por consequência reduz a necessidade de pasta para lubrificar os grãos, e de água para molhar a superfície do agregado (LEITE, 2001). Tendo em vista que o custo do cimento é muito mais elevado do que o custo do agregado, qualquer ação que possa gerar economia do aglomerante, sem reduzir a resistência e a trabalhabilidade do concreto pode resultar em um benefício econômico (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

2.3.2 Material pulverulento

Finos ou material pulverulento são partículas minerais com dimensão inferior a $75\mu\text{m}$, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados (CASTRO, 2007). Silva (2011) comparou o teor de finos de agregados graúdos naturais, reciclados mistos e de concreto e constatou que, o agregado reciclado de concreto apresentou os menores teores de materiais finos, inclusive quando comparados aos naturais. Já o agregado misto apresentou os maiores valores, mostrando a sua fragilidade quando submetidos ao processo de trituração.

De acordo com Pedrozo (2008), em agregados reciclados mistos a presença de material pulverulento nos agregados miúdos reciclados é cinco vezes maior do que nos agregados miúdos naturais, apresentando valores bem superiores aos recomendados pelas normas. Levy (2001) avaliou o teor de finos de agregados miúdos e graúdos reciclados de concreto. O autor observou que os agregados graúdos apresentaram menores quantidades de pulverulento, quando comparados à fração miúda. Isso ocorre em função do processo de beneficiamento destes agregados. Geralmente, a fração graúda de agregado reciclado é escolhida como a faixa de material passante em uma determinada abertura de peneira e a retida na malha da peneira de 4,8 mm. Desse modo, os finos são eliminados da fração graúda, e geralmente compõem a fração miúda.

Partículas finas (material com dimensão menor que $75\mu\text{m}$) possuem uma grande superfície específica e necessitam de maior quantidade de água para manter a trabalhabilidade desejada em uma mistura, o que pode provocar diminuição da resistência mecânica do concreto produzido. Dessa forma, para manter a resistência desejada haverá necessidade do aumento no consumo de cimento (KATZ; BAUM, 2006). Além disso, os finos podem atuar como uma película sobre a superfície dos grãos dos agregados e reduzir a aderência do agregado à pasta

de cimento ou argamassa, prejudicando de forma direta a resistência do concreto (JIMÉNEZ, 2011).

2.3.3 Forma e textura das partículas

Segundo Moreira (2010), de modo geral os agregados de RCD apresentam uma grande quantidade de partículas lamelares e uma textura mais áspera e rugosa. Como causa para essas características, Reis (2009) aponta a influência do tipo de britador utilizado no beneficiamento do RCD. Para Duailibe (2008), os grãos de agregados reciclados tendem a ser lamelares em função do tipo de fissuração que sofrem durante a britagem.

No que se refere à produção de misturas de concreto, a forma e textura das partículas influenciam no consumo de pasta de cimento. Comparadas às partículas lisas e arredondadas, as partículas de textura áspera, com forma angulosa e alongada necessitam de mais pasta de cimento para produzir concretos trabalháveis, o que conseqüentemente, aumentará o custo final do concreto. O maior volume de pasta é necessário tanto para envolver a maior área específica dos grãos quanto para compensar dificuldades no rolamento dessas partículas. (MEHTA; MONTEIRO, 2014; WEIDMANN, 2008). Além disso, a forma e a textura superficial dos agregados afetam diretamente a demanda de água da mistura. Um agregado que apresenta forma irregular e textura rugosa aumenta a demanda de água para uma mesma trabalhabilidade, quando comparado ao agregado liso e arredondado (ZAHARIEVA *et al.*, 2003; WEIDMANN, 2008; NEVILLE; BROOKS, 2013).

Embora estas características dos agregados reciclados afetem mais as propriedades no estado fresco, também será observada sua influência sobre a resistência do concreto. As superfícies mais rugosas, encontradas em agregados reciclados, podem aumentar a ancoragem mecânica, melhorando a aderência, o que pode conduzir a maiores resistências, afetando principalmente a resistência à tração e à flexão (TENÓRIO, 2007; WEIDMANN, 2008).

2.3.4 Massa específica e massa unitária

Para definição de dosagens de concreto, torna-se necessária, também, informações sobre a massa específica e massa unitária. A massa específica é uma característica dependente da porosidade e pode ser definida como massa do material incluindo os poros internos por unidade de volume. A massa unitária pode ser definida como a massa das partículas dos agregados que ocupam uma unidade de volume, ou seja, o volume ocupado tanto pelos

agregados quanto pelos vazios entre os grãos (MOREIRA, 2010; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Geralmente os agregados reciclados apresentam massa específica e massa unitária menores que os agregados naturais (CABRAL, 2007). A redução da massa específica ocorre em função das características dos componentes dos agregados reciclados, uma vez que são menos densos que os agregados naturais. Já para a massa unitária, além da redução da própria densidade do material, a alta porosidade, característica dos agregados reciclados, e a forma mais irregular das partículas dos agregados, que aumentam os vazios entre grãos, também contribuem para essa redução.

Conforme observado na Tabela 2, os valores de massa específica e de massa unitária encontrados na bibliografia são muito variáveis. De acordo com Leite (2001), esses resultados podem ser atribuídos à composição do material, ao tipo de beneficiamento realizado, a granulometria, entre outros fatores, que são capazes de interferir nessas propriedades dos agregados reciclados. Além disso, o método de ensaio também pode contribuir com a variabilidade dos resultados.

Tabela 2: Faixa de resultados de literatura para massa específica e massa unitária dos agregados reciclados

Fração Granulométrica	Tipo do agregado	Massa específica (g/cm)	Massa unitária (g/cm)
Agregado Graúdo	Concreto ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾	2,27-2,73	1,10-1,40
	Misto ⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾	1,93-2,64	1,02-1,29
	Cerâmico ⁽¹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾	1,81-2,41	0,95-1,55
Agregado Miúdo	Concreto ⁽¹⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽⁵⁾	2,46-2,56	1,14-1,39
	Misto ⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁶⁾⁽⁹⁾	2,06-2,64	1,21-1,43
	Cerâmico ⁽¹⁵⁾⁽¹⁾⁽¹⁰⁾	1,95-2,35	1,03-1,26

Fontes: (1) Cabral (2007); (2) Cordeiro (2013); (3) Huda *et al.* (2014); (4) Soares *et al.* (2014a); (5) Zhu *et al.* (2015); (6) Bravo *et al.* (2015); (7) Carneiro (2011); (8) Leite (2001); (9) Lovato (2007); (10) Cabral *et al.* (2010); (11) Fonseca (2006); (12) Reis (2013); (13) Cartuxo *et al.* (2015); (14) Evangelista *et al.* (2015); (15) Alves *et al.* (2014)

Observa-se que os maiores valores de massa específica e massa unitária são apresentados pelos agregados de concreto. Portanto, dentre os tipos de agregados reciclados, esses apresentam menores variações no volume de materiais para produção de concretos, quando comparado aos agregados naturais. Todavia, sabe-se que os agregados reciclados de concreto diferem dos agregados naturais na medida em que são compostos por dois materiais diferentes, agregado natural e argamassa aderida. A densidade da argamassa é significativamente menor que a dos agregados naturais, dessa forma quanto maior a quantidade de argamassa aderida, menor será a massa específica do agregado reciclado de

concreto (JUAN; GUTIÉRREZ, 2009; CAVALHEIRO, 2011; GONÇALVES, 2011; SHI *et al.*, 2016).

Além da quantidade, a qualidade da argamassa presente no agregado de concreto também influencia na sua densidade. A argamassa aderida é um material poroso e sua porosidade depende da relação a/c e densidade do concreto de origem. Dessa forma, pode-se concluir que agregados reciclados com maior densidade são derivados de concretos que apresentam maiores resistências, uma vez que estes são produzidos com menores relações a/c e apresentam maior compacidade (POON *et al.*, 2004b; ETXEBERRIA *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2014). Em um estudo realizado por Andreu *et al.*, (2014), por exemplo, foram encontrados valores de massa específica de 2,30, 2,39 e 2,47 kg/dm³, para agregados reciclados oriundos de concretos com resistência à compressão de 40, 60 e 100 MPa, respectivamente. Comportamento similar foi observado em estudos realizados por Gokce *et al.* (2011) e Liu *et al.* (2016).

Outros autores apontam, ainda, que concretos produzidos com agregados naturais de melhor qualidade, geram agregados reciclados com melhores propriedades, e conseqüentemente menor redução de massa específica, quando comparado ao agregado natural (OMARY *et al.*, 2016). Zega e Maio (2009) avaliaram as propriedades de agregados graúdos reciclados, oriundos de concretos convencionais produzidos com diferentes agregados naturais e mesma relação a/c. Na Tabela 3 pode-se observar que agregados reciclados provenientes de concretos produzidos com agregados naturais de melhor qualidade apresentaram maiores valores de massa específica, além de menor taxa de absorção de água e menor perda por abrasão. Esses resultados evidenciam a influência do agregado natural, presente no concreto de origem, nas características do agregado reciclado de concreto.

Tabela 3: Propriedades de agregados graúdos naturais e reciclados

Propriedade	N _G	R _G	N _Q	R _Q
Dimensão máxima (mm)	19	19	19	19
Massa específica (g/cm ³)	2,65	2,45	2,48	2,33
Absorção (%)	0,4	5,0	2,0	6,1
Abrasão (%)	28,0	41,7	59,8	51,6

Fonte: Adaptado de Zega e Maio (2009)

Nota: N_G- Brita granítica; R_G- Agregado reciclado (concreto produzido com brita granítica); N_Q- Brita de quartzito; R_Q- agregado reciclado (concreto produzido brita de quartzito).

De acordo com Gonçalves (2011) e Moreira (2010), a análise da massa específica dos agregados reciclados torna-se importante, pois esta controla o comportamento mecânico dos concretos para uma mesma relação a/c. A redução da massa específica do agregado reciclado

aumenta a porosidade do concreto, e conseqüentemente reduz sua resistência, conforme pode ser observado na Figura 2.

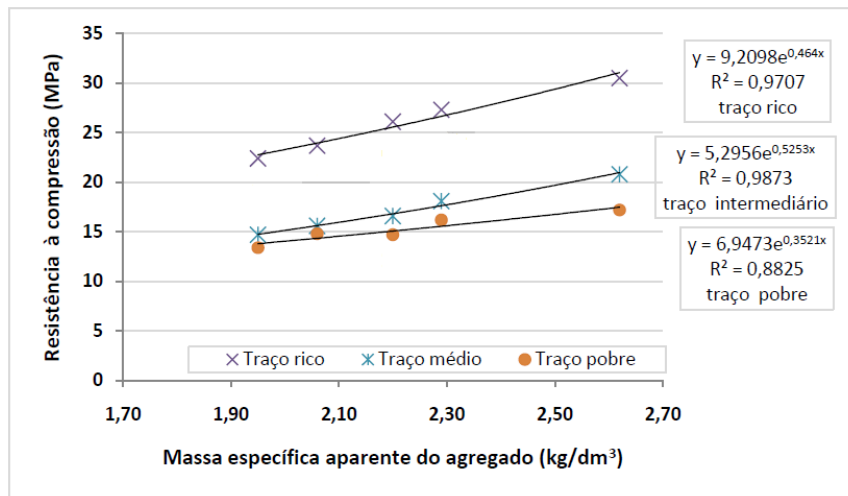


Figura 2: Influência da massa específica dos agregados na resistência à compressão dos concretos (Fonte: Adaptado de MOREIRA, 2010)

Além disso, segundo Angulo (2005), a massa específica está diretamente ligada à taxa de absorção de água dos agregados. Ou seja, a redução da massa específica, está relacionada a um aumento da porosidade, e conseqüentemente, da absorção de água dos agregados reciclados (Figura 3).

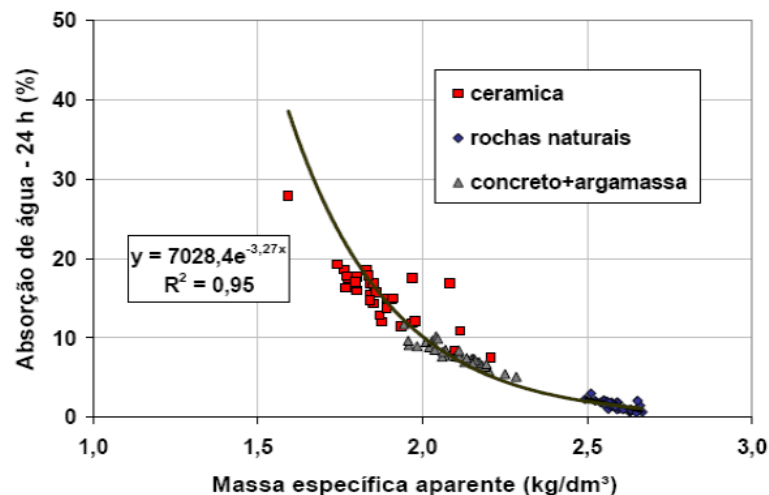


Figura 3: Taxa de absorção de água em função da massa específica dos agregados reciclados com diferentes composições. (Fonte: ANGULO, 2000)

É importante salientar que durante a dosagem haverá ainda, a necessidade de realizar uma compensação da quantidade de material reciclado a ser utilizada nas misturas de concreto, quando traços de concretos convencionais em massa são aplicados na produção do concreto reciclado. Sem este procedimento o volume de material reciclado correspondente à massa de

agregado natural seria maior. Isso se deve as reduções observadas nas massas específicas e massas unitárias dos agregados reciclados. Caso não seja realizada a compensação de volumes haverá uma diferença entre os volumes de concreto convencional e reciclado produzidos a partir de um mesmo traço unitário, em massa (LEITE, 2001).

2.3.5 Absorção de água

Esta propriedade é definida pela capacidade máxima de água que um material consegue absorver, em relação a sua massa seca, em porcentagem (DUAILIBE, 2008). Por consequência da alta porosidade, a absorção de água nos agregados reciclados é maior que a absorção de água nos agregados naturais. Dessa forma, para que se obtenha uma mesma trabalhabilidade, concretos produzidos com agregados reciclados necessitam de uma relação a/c tanto maior quanto maior for o teor de substituição do agregado natural pelo de RCD (OLIVEIRA, 2012).

A variação dos valores de absorção pode ocorrer em função da composição de cada resíduo. Composições com maior quantidade de cerâmica apresentam maior porosidade, enquanto que aqueles com maior teor de concreto tendem a ser menos porosos e conseqüentemente mais resistentes (REIS, 2009).

De acordo com Leite (2001), em um levantamento bibliográfico, amostras de agregados reciclados obtidos a partir de concretos e argamassas com relação a/c variando de 0,4 a 1,2 apresentaram taxas de absorção muito próximas para cada tipo de agregado. Os valores variaram de 6 a 7 % para agregados reciclados de concreto, e 15 e 17 % para os agregados reciclados de argamassa.

Zhu *et al.* (2015) avaliaram a absorção de água de agregados reciclados de concreto, e encontraram valores de 10,9% e 4,7% para agregados miúdos e graúdos, respectivamente. Galvín *et al.* (2014), Reis *et al.* (2015) e Leite e Monteiro (2016) encontraram taxas de absorção na ordem de 5 a 7% para agregado graúdo de concreto. Ledesma *et al.* (2014) encontraram taxas de 8,3% para absorção de água de agregado miúdo de concreto.

Segundo Cordeiro (2013), a dimensão das partículas dos agregados reciclados também terá grande influência na sua capacidade de absorção. A partir de dados de ensaios de absorção de água em agregado graúdo reciclado de concreto, obtidos através de um levantamento bibliográfico, o autor observou que frações maiores de agregados apresentam menor taxa de absorção, com intervalos que variaram de 3,5 à 6,9% e 4,6 à 11,5% para frações granulométricas de 10 à 20 mm e 0 à 10 mm, respectivamente.

De acordo com Amorim (2008), a maior absorção de água das frações menores pode ser atribuída à maior quantidade de argamassa aderida aos grãos de agregado de concreto de menor tamanho. A partir da análise de resultados experimentais e da literatura, Juan e Gutiérrez (2009) observaram uma tendência à redução do conteúdo de argamassa aderida com o aumento da dimensão máxima dos agregados reciclados de concreto (Figura 4). Como consequência, observaram ainda uma redução da taxa de absorção para essas frações mais grossas.

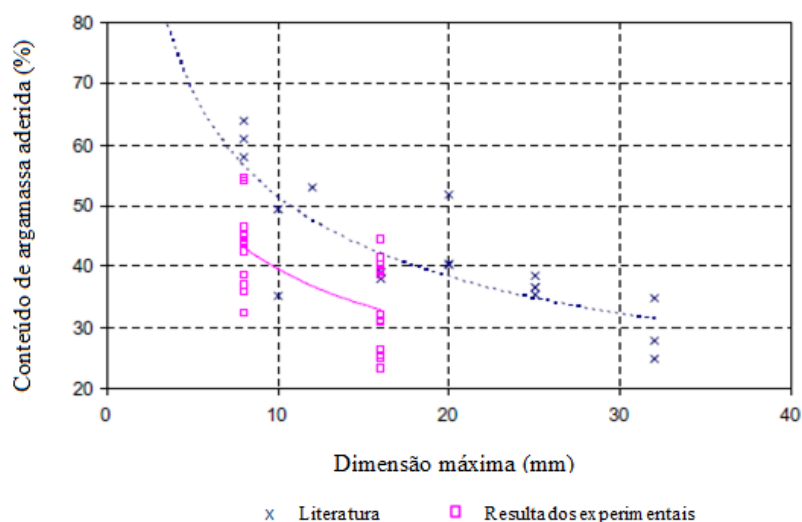


Figura 4: Influência da dimensão máxima no conteúdo de argamassa aderida dos agregados reciclados (Fonte: JUAN; GUTIÉRREZ, 2009)

A análise da taxa de absorção de água dos agregados reciclados é muito importante para a sua utilização em concretos. Se a absorção não for considerada, além da redução da relação a/c efetiva, haverá uma diminuição da trabalhabilidade da mistura (ETXEBERRIA *et al.*, 2007; LÓPEZ-GAYARRE *et al.*, 2009; FERREIRA *et al.*, 2011). Dessa forma, quando se produz concretos com agregados reciclados existe a necessidade de compensar essa taxa de absorção. Porém, sua compensação total poderá aumentar a relação a/c efetiva das misturas e como consequência haverá redução da resistência mecânica (POON *et al.*, 2004a; FIGUEIRÊDO FILHO, 2011; LEITE *et al.*, 2013). Desse modo, para manter a resistência será necessário, para essa mistura, um maior consumo de cimento, o que eleva o custo do concreto reciclado produzido. Portanto, uma boa alternativa para minimizar os problemas com a trabalhabilidade das misturas e ao mesmo tempo evitar a redução da resistência mecânica, consequência do excesso de água no concreto, é compensar apenas parcialmente a taxa de absorção dos agregados reciclados (LEITE, 2001).

Dessa forma, determinar a taxa absorção do agregado é imprescindível para o estudo de dosagem. A partir do ensaio de taxa de absorção de água do agregado reciclado no tempo, é

possível determinar o melhor percentual para a compensação da absorção de água na execução dos traços de concreto reciclado (PADOVAN, 2013). Esse procedimento é utilizado para que não haja problemas com o abatimento e mobilidade das misturas devido à falta de água. Também para que não haja um excesso de água na mistura, saturando os agregados e ocasionando um aumento da relação a/c efetiva e, conseqüentemente, uma diminuição nas resistências mecânicas dos concretos produzidos (VIEIRA; DAL MOLIN, 2004).

2.3.6 Desgaste por abrasão Los Angeles

O ensaio de abrasão Los Angeles determina a resistência à fragmentação por choque e atrito das partículas do agregado graúdo, e fornece um indicativo da qualidade do material a ser utilizado na produção do concreto. Os agregados reciclados apresentam menor resistência ao impacto e ao desgaste por abrasão, se comparados aos agregados naturais (LEITE, 2001), uma vez que a resistência à abrasão é uma propriedade dos agregados muito influenciada pela porosidade. Diferentemente, os agregados naturais comumente usados na produção de concreto são geralmente densos e resistentes, e por isso, apresentam menor desgaste por abrasão (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Agregados reciclados mistos apresentam valores de perda por abrasão que podem variar de 52 a 61% (NUNES 2007; REIS, 2009; CARNEIRO, 2011). Para agregados reciclados de concreto, alguns autores encontraram perdas de massa variando entre 20 e 43,3% (KONIN; KOUADIO, 2012; CORDEIRO *et al.*, 2015; CEIA *et al.*, 2016; ZAETANG *et al.*, 2016).

Os resultados de perda por abrasão apresentados por agregados reciclados de concreto são influenciados pela quantidade de argamassa aderida presentes nestes agregados, e que se desprezem durante a execução do ensaio. Portanto, agregados com menores quantidades de argamassa aderida produzirão menores índices de perda por abrasão (TSENG, 2010). Esse comportamento foi observado por López-Gayarre *et al.* (2009) que avaliaram a perda por abrasão de agregados reciclados de concreto com diferentes teores de argamassa aderida. Os resultados encontrados mostraram que agregados com 23 e 34,2% de argamassa aderida, apresentam valores de perda por abrasão de 33,1 e 37,2%, respectivamente. Além disso, Tabsh *et al.* (2009) e Padmini *et al.* (2009) apontam que resistência do concreto que deu origem ao agregado reciclado também afeta os valores de perda por abrasão obtidos nos ensaios. De acordo com esse autores, quanto menos resistente for o concreto, maior será o valor de perda por abrasão dos agregados que provém dele.

Embora não existam referências normativas que estabeleçam o limite máximo de perda por abrasão para agregados reciclados, o conhecimento desta propriedade torna-se importante,

visto que interfere nas propriedades mecânicas do concreto (CORDEIRO, 2013). Além de ser um indício da resistência a degradação do agregado reciclado durante as diferentes fases de produção de concreto (CORDEIRO *et al.*, 2015).

2.3.7 Substâncias deletérias

Nos materiais reciclados é necessário que haja maior observação em relação aos materiais contaminantes ou impurezas, que se encontram presentes pela dificuldade de remoção antes e após a britagem. Principalmente para a fração miúda do agregado reciclado, na qual estão presentes os maiores teores de impurezas (JOICHEM, 2012).

Para Barros (2005), não se deve descartar a possibilidade de encontrar nestes resíduos, substâncias contaminantes, pois a sua composição química e o risco de contaminação estão relacionados diretamente com os materiais utilizados na obra que o originou. Apesar de a maioria das construções e demolições gerar resíduos inertes, pode haver casos em que a matéria-prima utilizada altere a classificação do resíduo no que tange a periculosidade.

Existe consenso que a presença de impurezas diminui a resistência mecânica dos concretos produzidos com materiais contaminados, porém podem existir outros problemas decorrentes de tais contaminações e impurezas (CORDEIRO, 2013). O Quadro 1 relaciona alguns desses contaminantes e eventuais problemas.

Quadro 1: Possíveis contaminantes no RCD e sua influência sobre o produto à base de cimento obtido

Contaminante	Comportamento
Gesso	Formação de etringita secundária, altamente expansiva, que provoca tensões internas e podem causar fissuras no concreto.
Vidro	Podem causar reações álcali-sílica em meios aquosos.
Metais	Podem causar manchas ou pequenos danos à superfície dos concretos.
Cloretos	Pode provocar graves problemas de corrosão de armaduras.
Substâncias orgânicas	Madeira, tecidos têxteis, papéis e materiais poliméricos - São instáveis no concreto quando submetidos a ciclos de secagem e molhagem ou gelo e degelo. Tintas - Podem causar incorporação de ar ao concreto.

Fonte: Lovato (2007)

3 CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS: DOSAGEM E PRODUÇÃO

O crescimento da indústria da construção provocou nos últimos anos um aumento no surgimento de novas obras, e conseqüentemente, um aumento na geração de resíduos provenientes dessas construções. Em virtude dos grandes volumes gerados, o resíduo de construção e demolição tem merecido atenção especial dos pesquisadores, que buscam reduzir sua geração, bem como viabilizar a sua reutilização, reciclagem e manejo sustentável, com o intuito de agregar valor de mercado a estes materiais (SANTOS *et al.*, 2015).

O reaproveitamento do RCD na produção de concretos pode gerar inúmeras vantagens, dentre as quais Beneti (2012) e Pereira *et al.* (2012) destacam: redução no consumo de recursos naturais não renováveis, redução da necessidade de áreas para disposição do RCD, redução da poluição ambiental, e economia na aquisição de matéria-prima. Haja vista que a escassez de jazidas de agregados naturais está levando a busca por estes materiais em lugares cada vez mais distantes, aumentando seus custos de produção e comercialização (KRÜGER *et al.*, 2013). Adicionalmente, de acordo com Moitinho e Leite (2015), viabilizar o uso do concreto com agregado reciclado possibilita a oferta de um produto de qualidade, com um menor custo, resultando em vantagens econômicas.

Entretanto, para a produção dos concretos reciclados é necessário aplicar um sistema de dosagem que considere as propriedades desses agregados, tendo em vista que o teor de finos, a taxa de absorção de água, a massa específica, a textura e forma dos agregados reciclados influenciam as propriedades dos concretos tanto no estado fresco quanto no estado endurecido (FIGUEIRÊDO FILHO, 2011).

Dosagem pode ser definida como o processo de seleção dos componentes adequados e a determinação de suas proporções para a produção de um concreto, que atenda a propriedades mínimas, como trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade. De forma que, a seleção dos componentes da mistura possa satisfazer ao desempenho desejado ao menor custo possível (NEVILLE; BROOKS, 2013; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

No que tange à dosagem do concreto com agregados reciclados, apesar de serem válidas as mesmas leis de dosagem tradicionais, a absorção de água pelo agregado influi significativamente no comportamento do material. A consistência, neste caso, passa a ser um fator dependente da absorção, tornando-se prudente desenvolver mecanismos complementares ou até mesmo diferentes para avaliar o seu comportamento global (ÂNGULO, 1998, citado por MALTA, 2012). Nesse sentido, Figueirêdo Filho (2011) afirma que é necessário realizar um estudo de dosagem de concretos reciclados baseado em ensaios com aplicação de energia

dinâmica como medida da trabalhabilidade. Além disso, deve-se realizar a compensação total ou parcial da taxa de absorção dos agregados, de modo a obter misturas homogêneas, que apresentem boa trabalhabilidade.

Visando contribuir com a construção do conhecimento, a seguir serão apresentados alguns estudos de dosagens de concretos com agregados reciclados, com uma abordagem da influência do fator dosagem nas propriedades desses concretos, tanto no estado fresco e quanto no endurecido. Adicionalmente será discutida a influência das características, tipo e teor de substituição do agregado reciclado nas propriedades avaliadas, bem como a inter-relação entre a dosagem e a produção do concreto reciclado.

3.1 CONCRETOS RECICLADOS DOSADOS PELOS MÉTODOS USADOS PARA CONCRETOS CONVENCIONAIS

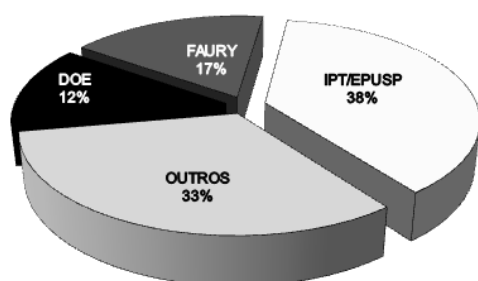
De um modo geral, historicamente, os concretos reciclados têm sido produzidos utilizando-se traços obtidos para o concreto convencional. O que ocorria na verdade era a dosagem desse, por um método consagrado, e a simples substituição, geralmente em volume, do agregado natural, miúdo e/ou graúdo, por diferentes teores do agregado reciclado, miúdo e/ou graúdo (BAIRAGI *et al.*, 1990; LEITE, 2001; POON *et al.*, 2004a; EVANGELISTA *et al.*, 2007; CABRAL, 2007; MALTA, 2012; SEARA-PAZ *et al.*, 2014; entre outros).

O Quadro 2 apresenta um levantamento dos métodos de dosagem de concretos convencionais utilizados em estudos de concretos reciclados. Observa-se que apesar de terem sido utilizados diferentes métodos para dosar os concretos (Figura 5a), a avaliação da trabalhabilidade foi realizada a partir da determinação do abatimento pelo tronco de cone, para 92% dos estudos listados (Figura 5b). Vale salientar que de modo geral essa foi uma tendência observada na literatura levantada sobre o tema.

Contudo, para Figueirêdo Filho (2011), realizar um estudo de dosagem de concretos reciclados utilizando um ensaio estático como medida da trabalhabilidade, como é o caso do abatimento do tronco de cone, não é o mais adequado. O autor ressalta que seria mais interessante o uso de ensaios com aplicação de energia dinâmica, como mesa de Graff e tempo VeBe.

Quadro 2: Levantamento bibliográfico dos métodos de dosagem utilizados para estudos de concretos reciclados

Autor	Método de dosagem	Medida de trabalhabilidade
Bairagi <i>et al.</i> (1990); Poon <i>et al.</i> (2004a); Kou <i>et al.</i> (2011a); Kou <i>et al.</i> (2011b)	ACI	Abatimento do tronco de cone
Malta (2012)	ACI/ABCP, IPT/EPUSP, AITCIN e MEHTA/AITCIN	Abatimento do tronco de cone
Etxeberria <i>et al.</i> (2007); Mas <i>et al.</i> (2012)	Bolomey	Abatimento do tronco de cone
Tam <i>et al.</i> (2005)	Buildings Department (BD)	Abatimento do tronco de cone
Rahman <i>et al.</i> (2009); Safiuddin <i>et al.</i> (2011); Yang <i>et al.</i> (2011); Kwan <i>et al.</i> (2012); Ismail <i>et al.</i> (2013)	DoE (Department of Environment)	Abatimento do tronco de cone
Evangelista <i>et al.</i> (2007); Pacheco-Torgal <i>et al.</i> (2010); Ferreira <i>et al.</i> (2011); Fonseca <i>et al.</i> (2011); González-Fonteboia <i>et al.</i> (2012); Matias <i>et al.</i> (2013); Seara-Paz <i>et al.</i> (2014)	Faury	Abatimento do tronco de cone
Leite (2001); Vieira (2003); Santos (2006); Fonseca (2006); Cabral (2007); Lovato (2007); Nunes (2007); Moreira (2010); Troian (2010); Werle (2010); Padovan (2013); Reis (2013); Cordeiro (2013)	IPT/EPUSP	Abatimento do tronco de cone
Moitinho e Leite (2015)	IPT/EPUSP	Abatimento do tronco de cone/Mesa de Graff
Carneiro (2011); Amario (2015)	Modelo do Empacotamento Compressível	Abatimento do tronco de cone
Figueirêdo Filho (2011)	Modelo do Empacotamento Compressível	Abatimento do tronco de cone/Mesa de Graff/Vebe



(a)



(b)

Figura 5: Representação gráfica a) Métodos de dosagem b) Método para medida de trabalhabilidade

3.1.1 Aspectos que interferem na trabalhabilidade

O concreto no estado fresco deve possuir uma trabalhabilidade que permita o transporte, lançamento, adensamento e acabamento sem perda de homogeneidade. Para tanto, a mistura no estado fresco deve se manter, durante essas etapas, com fluidez e coesão mínimas, de acordo com as condições de lançamento do concreto (VIERO, 2010). A consistência é um dos principais fatores que afeta a trabalhabilidade, e que pode ser entendida como o grau de plasticidade da mistura, ou seja, sua maior ou menor facilidade de deformação sob a ação de cargas (FONSECA, 2006).

A trabalhabilidade dos concretos reciclados é significativamente influenciada pela alta taxa de absorção de água, textura áspera, superfície rugosa e formato irregular dos grãos dos agregados de RCD. De modo geral, concretos reciclados apresentam necessidade de maior conteúdo de água para atingir uma trabalhabilidade adequada, quando esta é medida pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (SANTIAGO *et al.*, 2009; LEITE *et al.*, 2013; ZAHARIEVA *et al.*, 2003).

Fonseca *et al.* (2011), Moreira (2010), Lovato (2007) e Padovan (2013), ao produzir concretos com agregados reciclados, observaram que para que fosse alcançada a trabalhabilidade desejada, medida pelo abatimento do tronco de cone, foi necessário realizar a correção na quantidade de água das misturas, aumentando a relação a/c efetiva desses concretos. Seara-Paz *et al.* (2014) e Cabral (2007) constataram que, mesmo com a realização da compensação da taxa de absorção de água do agregado reciclado, foi também necessário adicionar um aditivo superplastificante às misturas de concreto reciclado, para que a mesma atingisse a faixa de abatimento estabelecido. O mesmo foi observado por González-Fonteboa *et al.* (2012), que além realizar a compensação da taxa de absorção de água do agregado reciclado e do uso de superplastificante, verificaram a necessidade da modificação da relação a/c de dosagem, com tendência de aumento diretamente proporcional ao aumento do teor de agregado reciclado, para que fosse alcançado o abatimento desejado.

Reis (2013) produziu misturas de concreto reciclado e observou que quando foi realizada a pré-saturação dos agregados tornou-se possível alcançar o abatimento preestabelecido em 80 ± 20 mm. O autor avaliou a influência do grau saturação do agregado reciclado na trabalhabilidade do concreto, e observou que o abatimento dos concretos foi influenciado diretamente por tal parâmetro. Verificou-se que quanto maior o grau de saturação do agregado reciclado, maiores os valores de abatimento obtidos (Figura 6). Além disso, as misturas que continham agregados reciclados e 60% de grau de saturação apresentaram menores

abatimentos em relação ao concreto de referência, justificado pela alta porosidade do agregado reciclado, que necessita de mais água para alcançar um abatimento semelhante ao de concretos com agregado natural.

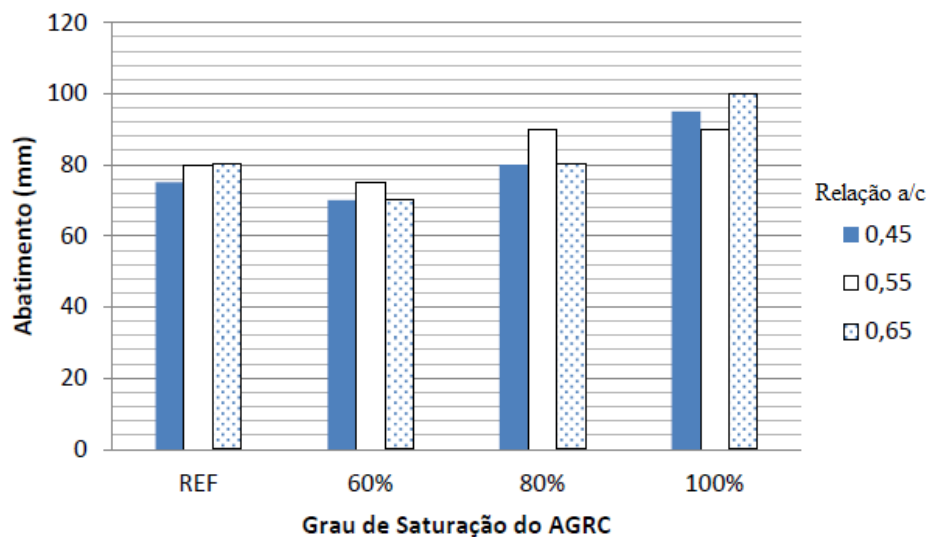


Figura 6: Influência do teor de saturação no abatimento dos concretos (Fonte: REIS, 2013)

Por outro lado, Vieira (2003) afirma que ainda que seja realizada a compensação da taxa de absorção de água do agregado reciclado, alguns traços de concreto reciclado não atingem o valor do abatimento especificado, apesar de na maioria dos casos as misturas se apresentarem trabalháveis. Figueirêdo Filho (2011) justifica que mesmo com o aumento do teor inicial de água de modo a compensar a taxa de absorção, concretos reciclados tendem a apresentar redução dos valores de abatimento. A textura rugosa e a forma irregular dos agregados reciclados provocam um efeito de travamento entre grãos (aumento do atrito interno), reduzindo a mobilidade das misturas. Matias *et al.* (2013) produziram misturas com a substituição de agregado gráudo natural (AN) por agregado gráudo de concreto (AR), e observaram que quando não há a utilização de aditivo superplastificante, misturas com agregados reciclados com forma mais angular não atingem o abatimento preestabelecido. Esse resultado evidencia a influência da forma e textura dos agregados sobre a trabalhabilidade. Safiuddin *et al.* (2011) também afirmam que mesmo havendo uma tendência à redução nos valores de abatimento, se for utilizado um aditivo redutor de água durante a dosagem, é possível produzir concretos com agregados reciclados de concreto com trabalhabilidade satisfatória.

Ferreira *et al.* (2011) produziram concretos com agregados gráudos reciclados de concreto, aplicando às misturas a compensação da taxa de absorção de água do agregado, e os resultados mostraram que todas as misturas atingiram o abatimento preestabelecido (80 ± 10

mm). Diferentemente, segundo Yang *et al.* (2011), mesmo com a realização da pré-molhagem de todos os agregados reciclados, quando se mantém fixa a relação a/c de dosagem, existe uma redução da trabalhabilidade dos concretos, medida pelo abatimento do tronco de cone. Os decréscimos podem ser de até 30% em relação ao valor do abatimento alcançado para o concreto de referência.

Cordeiro (2013) constatou que concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concreto apresentaram aumento no consumo de cimento, para que o abatimento fixado fosse alcançado. Do mesmo modo, Werle (2010) e Troian (2010) observaram que mesmo compensando a absorção de água do agregado, para que fosse alcançada a faixa de abatimento preestabelecida em 100 ± 20 mm, foi necessário realizar um aumento no teor argamassa e no teor de água. Entretanto, o aumento no teor de cimento ou argamassa, para manter a trabalhabilidade dos concretos reciclados, pode elevar o custo final do concreto conforme discutido no Item 2.3.3.

De acordo com Malta (2012), para produção de concretos reciclados algumas misturas apresentaram a necessidade do uso de aditivo superplastificante para que fosse mantida sua plasticidade, e misturas com mesma relação a/c necessitaram de maiores teores de aditivo quanto maior o teor de agregado reciclado incorporado. O autor afirma ainda que o teste de abatimento não foi eficaz para caracterizar a trabalhabilidade das misturas recicladas com precisão. Uma vez que, estas misturas apresentaram valores de abatimento muito variáveis e fora do intervalo estipulado, apesar de apresentarem-se coesas, homogêneas e moldáveis, mesmo que com abatimentos reduzidos.

Do mesmo modo, Leite (2001) concluiu que a avaliação da trabalhabilidade de concretos com agregados reciclados, medido pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, apresentou-se ineficiente, tendo em vista a alta variabilidade encontrada nos resultados. O autor enfatiza também que apesar desses resultados, foi possível produzir concretos trabalháveis do ponto de vista da moldabilidade das misturas. Uma vez que, durante a produção dos concretos com agregados reciclados, foi possível observar que ao serem vibradas, as misturas adquiriam aspecto satisfatório, e, de modo geral, apresentavam-se bem moldáveis. Nesse sentido, Figueirêdo Filho (2011) salienta que as reduções nos valores de abatimento, para os concretos reciclados, não aponta, necessariamente, uma redução de trabalhabilidade, isto é, uma dificuldade adicional de lançamento e adensamento do concreto. Pois durante a moldagem de corpos de prova de concretos com agregado reciclado verificou-se que, com a aplicação da energia de vibração, o comportamento plástico de muitas misturas apresentou-se semelhante ao do concreto convencional.

Leite *et al.* (2013) avaliaram a trabalhabilidade de concretos com agregados reciclados de argamassa através dos ensaios de abatimento do tronco de cone, espalhamento na mesa de Graff e tempo VeBe. E observaram que a textura rugosa e superfície irregular dos agregados reciclados aumentam o atrito interno, interrompendo o fluxo de escoamento das misturas. O que provoca a redução dos valores de abatimento dos concretos reciclados, quando comparado ao concreto convencional, mesmo com o aumento do teor inicial de água das misturas. Com base nessas observações, os autores concluíram que o ensaio de abatimento do tronco de cone apresentou-se pouco adequado para medir a trabalhabilidade de concretos reciclados. E que, por outro lado, os ensaios de espalhamento na mesa de Graff e tempo VeBe apresentaram-se adequados para à determinação da trabalhabilidade dos concretos com agregados reciclados, uma vez que utilizam uma componente dinâmica na determinação dessa propriedade, promovendo a redução da viscosidade e do atrito interno das misturas, mesmo para pequenos incrementos do teor de água. Leite *et al.* (2013) observaram ainda, a maior viabilidade do uso do ensaio de espalhamento na mesa de Graff, pois utiliza um equipamento simples e perfeitamente aplicável a canteiros de obras, além de apresentar facilidade para o manuseio e pouca influência do operador na obtenção dos resultados.

Utilizando como parâmetro de controle de trabalhabilidade o ensaio de espalhamento na mesa de Graff, Moitinho e Leite (2015) concluíram que este ensaio apresentou-se satisfatório para a realização de dosagens com concretos reciclados. Tendo em vista que todas as misturas alcançaram o intervalo especificado em $400\pm 40\text{mm}$ (Tabela 4). Os autores atribuem os resultados alcançados ao método de ensaio empregado, a compensação de 50% da taxa de absorção de água do agregado reciclado, a utilização de superplastificantes e ao método de mistura utilizado, que favoreceram a trabalhabilidade das misturas produzidas.

Tabela 4: Resultados de trabalhabilidade do concreto reciclado e convencional

Traço	Mistura			
	REF	RCD	REF	RCD
	Abatimento (mm)		Espalhamento (mm)	
1:3,5	65	95	415	378
1:5,0	75	80	423	389
1:6,5	75	45	443	401

Fonte: Moitinho e Leite (2015)

Diante do exposto, observou-se que a maioria dos trabalhos citados observaram dificuldades com a trabalhabilidade do concreto reciclado durante a dosagem, principalmente quando esta foi avaliada pelo abatimento do tronco de cone. Essa dificuldade foi constatada independente do método de dosagem utilizado. Observou-se, que além do método de avaliação utilizado, as características dos agregados reciclados também foram fatores importantes na promoção das alterações observadas. Desse modo, as dosagens de concretos reciclados devem considerar não apenas a obtenção da melhor proporção de materiais, mas também, a utilização de formas de medida da trabalhabilidade que sejam mais satisfatórias. Bem como, a adoção de medidas que possam prevenir a redução da trabalhabilidade dessas misturas durante a produção dos concretos reciclados.

3.1.2 Aspectos que interferem na resistência

Assim como ocorre no concreto convencional, a resistência à compressão do concreto reciclado também é diretamente influenciada pela relação a/c. Vieira (2003) avaliou o efeito isolado da relação a/c sobre a resistência do concreto, e verificou que quanto menor a relação a/c maior a resistência à compressão, conforme observado na Figura 7.

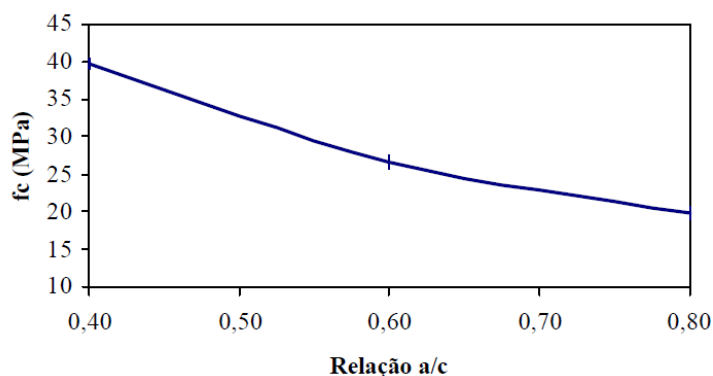


Figura 7: Efeito da relação a/c sobre a resistência à compressão do concreto, aos 28 dias (Fonte: VIEIRA, 2003)

Como foi visto anteriormente, o aumento do teor de água é uma das principais formas de reduzir o efeito de algumas características indesejáveis do agregado reciclado sobre a trabalhabilidade dos concretos reciclados produzidos, de modo a alcançar os abatimentos estabelecidos. Contudo, um efeito negativo dessa ação é a redução da resistência mecânica desses concretos. O aumento da relação a/c, consequência do maior teor de água da mistura, aumenta a possibilidade da formação de uma película de água sobre superfície do agregado, tornando a zona de transição mais frágil. Além disso, quanto maior a relação a/c, maior a porosidade total do concreto, resultando em redução da resistência mecânica (OTSUKI *et al.*,

2003; FONSECA *et al.*, 2011; MOREIRA, 2010; LOVATO, 2007; PADOVAN, 2013; SEARA-PAZ *et al.*, 2014; CABRAL, 2007; REIS, 2013).

Além da relação *a/c*, o tipo e o teor do agregado reciclado também são fatores de grande influência na determinação da resistência final dos concretos produzidos. Com o uso de agregado graúdo reciclado, essa redução de resistência do concreto pode ser explicada pela maior porosidade e menor resistência destes materiais, que por consequência, tendem a apresentar menor desempenho que o agregado natural, quando solicitado. Assim, a maior fragilidade do grão, torna o agregado reciclado o componente menos resistente do sistema (agregado + matriz + zona de transição). Dessa forma, esse material passa a exercer maior influência sobre a resistência do concreto, e sua ruptura possivelmente ocorrerá nesse componente (LEITE, 2001). Tal comportamento foi evidenciado por Fonseca (2006), que verificou a ruptura dos grãos dos agregados reciclados em um corpo de prova submetido ao ensaio de resistência à compressão, aos 28 dias (Figura 8). O autor produziu concretos com agregados reciclados de telha cerâmica e constatou redução da resistência à compressão dos concretos reciclados, quando comparado ao concreto convencional, para todos os teores de substituição. O corpo de prova apresentado na Figura 8 atingiu uma resistência à compressão de 13 MPa.

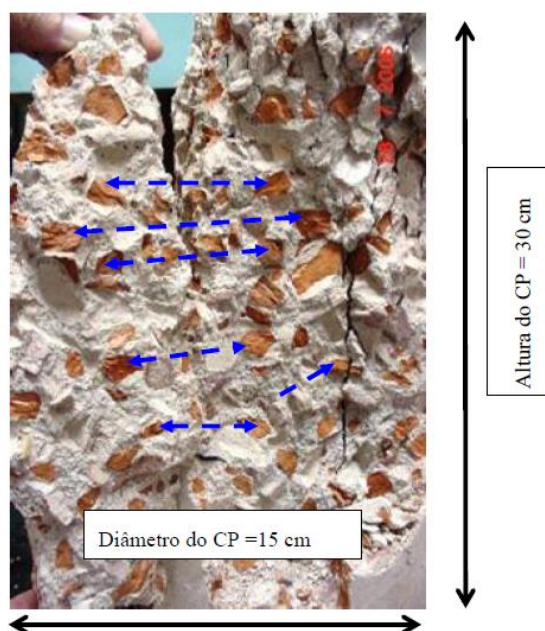


Figura 8: Identificação da ruptura através dos grãos do agregado reciclado em corpo de prova de concreto rompido à compressão (Fonte: FONSECA, 2006)

Santos (2006) também encontrou redução de resistência de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado. O autor produziu concretos com agregados reciclados mistos e observou que as resistências à compressão, para todas as idades e traços avaliados, foram

inferiores as atingidas pelos concretos de referência, conforme pode ser observado na Figura 9, que apresenta os resultados de resistência à compressão dos concretos, aos 28 dias de idade. Resultados similares de redução da resistência mecânica de concretos reciclados foram encontrados por Moitinho e Leite (2015), com a utilização de agregados reciclados de argamassa, e por Nunes (2007), para concretos com agregados reciclados mistos.

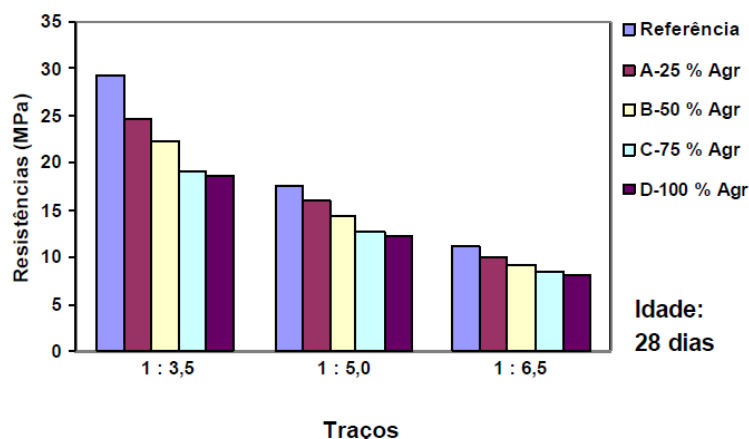


Figura 9: Resistência à compressão de concretos convencionais e reciclados, aos 28 dias de idade (Fonte: SANTOS, 2006)

Na Figura 9 observa-se que o aumento do teor de substituição do agregado natural pelo reciclado provocou a redução da resistência à compressão dos concretos. Comprovando que, como mencionado anteriormente, a influência da porosidade e fragilidade do agregado reciclado podem ser fatores preponderantes para redução da resistência mecânica do concreto. Yang *et al.* (2011) compararam a resistência à compressão de concretos produzidos com diferentes teores de substituição do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de tijolos de barro esmagado (ART), como apresentado na Figura 10, e concretos com produzidos 100% de substituição do agregado graúdo natural por agregados graúdos reciclados de concreto (ARC).

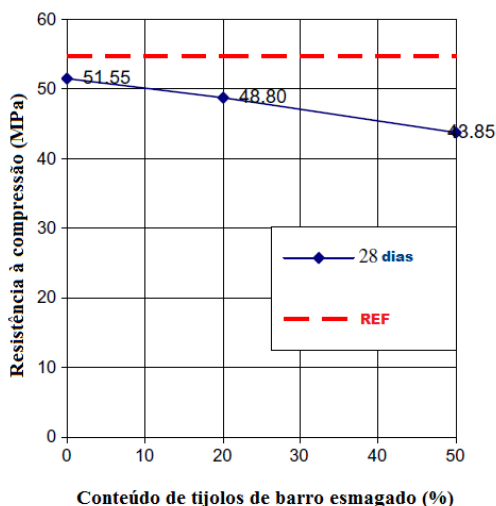


Figura 10: Resistência à compressão dos concretos e teor do ART (Fonte: YANG *et al.*, 2011)

Observa-se na Figura 10 que a resistência à compressão dos concretos diminuiu com aumento do teor do ART. Por outro lado, de acordo com os autores, concretos produzidos apenas com ARC apresentaram valores de resistência muito próximos aos do concreto de referência para todas as idades avaliadas. Segundo Yang *et al.* (2011), a maior fragilidade e porosidade do ART, quando comparado com o agregado de concreto utilizado, provocaram um efeito negativo significativo sobre as propriedades mecânicas dos concretos, resultando em maiores reduções de resistência.

Nos estudos de Safiuddin *et al.* (2011) e Matias *et al.* (2013), que utilizaram um aditivo redutor de água durante a dosagem, observou-se, de modo geral, que os concretos com teor de incorporação de até 50% de agregados graúdos reciclados de concreto alcançaram valores de resistência à compressão semelhantes aos apresentados pelo concreto de referência. Entretanto, concretos com incorporação de 100% de agregado reciclado apresentaram reduções de até 12% do valor de resistência, em comparação ao concreto com agregado natural. O mesmo foi observado por Ferreira *et al.* (2011), que afirmaram que mesmo quando concretos com agregados reciclados de concreto atingem a faixa de resistência à compressão estabelecida na dosagem, existem reduções acentuadas de resistência nos concretos com a substituição total do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de concreto. Essas reduções podem chegar até a 19% dos valores apresentados pelos concretos de referência.

Kwan *et al.* (2012) avaliaram a resistência à compressão de concretos produzidos com substituição do agregado graúdo natural (AN) por agregado graúdo reciclado de concreto (ARC), mantendo fixo o consumo de cimento e relação a/c de dosagem para todas as misturas produzidas. Observou-se uma relação inversa entre o conteúdo de agregado reciclado e a resistência à compressão. Ou seja, o aumento no teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado reduziu os resultados de resistência (Figura 11).

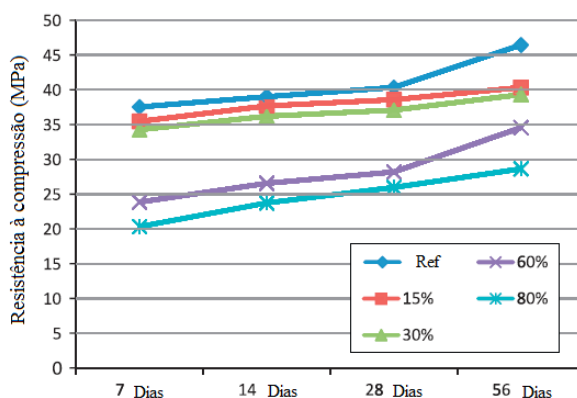


Figura 11: Resistência à compressão dos concretos de referência e concretos com diferentes teores de RCA, em função da idade (Fonte: KWAN *et al.*, 2012)

González-Fonteboa *et al.* (2012) e Seara-Paz *et al.* (2014) também observaram que, de modo geral, concretos com substituição de até 50% do teor de agregado natural por agregado reciclado de concreto, apresentam menores reduções de resistência que concretos com 100% de substituição, quando comparado ao concreto de referência. No mesmo estudo, os autores verificaram menor redução de resistência para concretos reciclados produzidos com maior relação a/c. De acordo com Moreira (2010), esse resultado pode ser explicado pelo fato do agregado reciclado impactar de maneira mais intensa os concretos constituídos por matrizes mais resistentes. Quando a matriz do concreto produzido com agregados reciclados for menos resistente que o próprio agregado reciclado, este último não exercerá grande influência na resistência mecânica do concreto. Haja vista que a matriz será o elo mais fraco do sistema, portanto possivelmente o concreto irá romper nesta fase. Todavia, quando a matriz do concreto for mais resistente que o agregado reciclado, este último passará a exercer substancial influência na resistência do concreto, e possivelmente o concreto romperá no agregado (CABRAL, 2007).

Dessa forma, alguns autores enfatizam a viabilidade técnica da utilização de um teor de substituição de até 50% do agregado gráudo natural por agregado gráudo reciclado de concreto. Considerando-se que para substituições acima desse percentual podem ser observadas maiores reduções da resistência mecânica do concreto reciclado, quando comparado ao concreto convencional (TROIAN, 2010; WERLE, 2010; CAVALHEIRO, 2011; GONÇALVES, 2011; PADOVAN, 2013).

Além disso, os resultados mostram que trabalhos que utilizaram agregados reciclados de concreto apresentaram melhor comportamento mecânico quando comparado ao concreto convencional. Ainda que essa melhoria seja limitada a alguns teores de substituição. De modo geral, os agregados reciclados de concreto apresentam melhores características quando comparado a outros tipos de agregados reciclados, conforme apontado no Item 2.3.

3.2 MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETO RECICLADO

Com intuito de estabelecer um método específico para a dosagem de concretos reciclados, alguns pesquisadores propuseram uma metodologia que tem como premissa a análise das propriedades dos concretos reciclados em função da composição desses concretos (FATHIFAZL *et al.*, 2009). Outros autores, porém, realizaram estudos para avaliar a viabilidade técnica da aplicação de métodos tradicionais, utilizados para concretos convencionais e de alto desempenho, na dosagem de concretos com agregados reciclados (MALTA, 2012; RODRIGUES; FUCALE, 2014; AMARIO, 2015).

3.2.1 Método do volume equivalente de argamassa

Fathifazl *et al.* (2009) propuseram um procedimento de dosagem específico para o concreto com agregado graúdo reciclado de concreto. O método sugerido, chamado de EMV (método do Volume Equivalente de Argamassa¹), permite que seja determinada a quantidade adequada de agregado reciclado de concreto (ARC), além de outros materiais da mistura, para que sejam alcançadas propriedades específicas do concreto no estado fresco e endurecido. De acordo com os autores, o ARC é um material de duas fases, composto por resíduo de argamassa (ResArg) e agregado natural original. Assim, o concreto produzido com ARC, quando proporcionado de acordo com o método convencional, terá um maior volume total de argamassa (TotArg), sendo este volume a soma da argamassa residual e da argamassa no estado fresco, em comparação com o concreto produzido com um volume igual de agregado natural (AN). Segundo os autores, o maior conteúdo TotArg do concreto com ARC é geralmente responsável pela redução do desempenho destes concretos, em comparação com o concreto de referência. E tal redução depende parcialmente da fração de volume de ResArg no concreto reciclado. Portanto, os autores defendem que a redução nas propriedades do concreto com ARC são consequência da sua composição, e esta pode ser evitada por meio de um método adequado de dosagem. Dessa forma, o método proposto conduz a um concreto com ARC com o mesmo volume total de argamassa do concreto de referência.

Com o intuito de avaliar o método proposto, Fathifazl *et al.* (2009) produziram misturas de concreto com ARC, utilizando um método de dosagem convencional (método do ACI) e o EMV. Duas fontes diferentes de ARC foram usadas no estudo e são designados como ARC-M e ARC-V, obtido a partir de fábricas de processamento de resíduos de demolição de concreto em Montreal (M) e Vancouver (V), respectivamente. As propriedades dos agregados reciclados evidenciam a melhor qualidade do ARC-V, uma vez que estes apresentaram menor taxa de absorção de água e, de modo geral, maior massa específica. Esses resultados podem ser consequência do menor teor de argamassa aderida apresentado por esses agregados (Tabela 5). As características do ARC-V podem justificar o menor teor de argamassa e umidade das misturas produzidas com esse agregado, conforme observado na Tabela 6.

¹ Do original em inglês *Equivalent Mortar Volume (EMV)*.

Tabela 5: Propriedades dos agregados graúdos reciclados

Fonte	Taxa de absorção (%)	Massa específica (kg/dm ³)			Teor de argamassa aderida (%)
		Seco	SSS	Aparente	
Montreal	5,4	2,31	2,42	2,64	41
Vancouver	3,3	2,42	2,50	2,64	23

Fonte: Adaptado de Fathifazl *et al.* (2009)

Tabela 6: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca e a relação água/materiais secos das misturas produzidas

Método	Mistura	Traço					m	α (%)	H%	Aditivo (%)
		c	a	p	Arc	a/c				
ACI	REF ₁	1	1,88	1,93	-	0,45	3,81	60	9,36	-
	REF ₂	1	1,80	2,12	-	0,45	3,92	57	9,15	-
	ARC-V	1	2,46	-	2,48	0,45	4,94	58	7,58	0,36
	ARC-M	1	2,54	-	2,27	0,45	4,81	61	7,74	0,48
EMV	ARC-V	1	1,80	0,78	2,27	0,45	4,07	55	8,87	0,36
	ARC-M	1	1,88	1,24	2,15	0,45	4,03	57	8,95	0,36

Fonte: Adaptado de Fathifazl *et al.* (2009)

Nota: REF₁: Concreto de referência com agregado calcário; REF₂: Concreto de referência com agregado granítico; ARC-V: Agregado graúdo reciclado de Vancouver; ARC-M: Agregado graúdo reciclado de Montreal.

Os resultados obtidos mostraram que os concretos com agregados reciclados apresentaram valores de abatimento inferior quando comparado ao concreto de referência, independentemente do método de dosagem. Para as misturas com agregado reciclado, o método EMV resultou em maior abatimento em comparação com o método convencional (Figura 12). Todavia esse resultado pode estar relacionado ao maior conteúdo de ARC das misturas produzidas pelo método ACI. Segundo Topçu e Sengel (2004), os valores de abatimento dos concretos diminuem à medida que se aumenta a porcentagem de substituição dos agregados naturais por reciclados de resíduos de concreto. E isso acontece em consequência da alta taxa de absorção de água da argamassa aderida aos agregados reciclados. Além disso, em função da textura mais áspera, forma mais irregular e menor massa específica desse material, como discutido anteriormente, quanto maior o teor de ARC da mistura, menores são os resultados de abatimento.

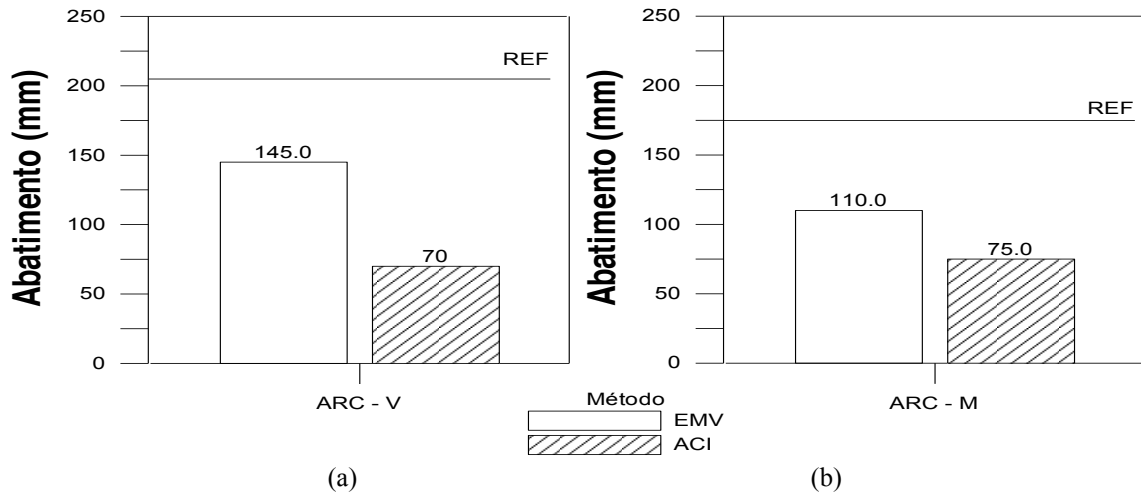


Figura 12: Abatimento dos concretos reciclados em função do método de dosagem: a) Concretos reciclados produzidos com agregado reciclado de Vancouver; b) Concretos reciclados produzidos com agregado reciclado de Montreal (Fonte: Adaptado de FATHIFAZL *et al.*, 2009)

Os resultados de resistência à compressão mostraram que todos os concretos com agregado reciclado alcançaram resistência superior às dos concretos convencionais, independente do método utilizado (Figura 13). Os autores atribuem esse resultado ao uso do aditivo redutor de água das misturas produzidas com agregado reciclado. Os resultados de resistência alcançados pelos concretos reciclados também podem ser atribuídos a redução da relação a/c efetiva desses concretos, tendo em vista que parte da água da mistura pode ter sido absorvida pelos agregados reciclados. Não foi possível observar grandes diferenças entre as resistências obtidas pelos concretos reciclados produzidos pelo método EMV e pelo método ACI.

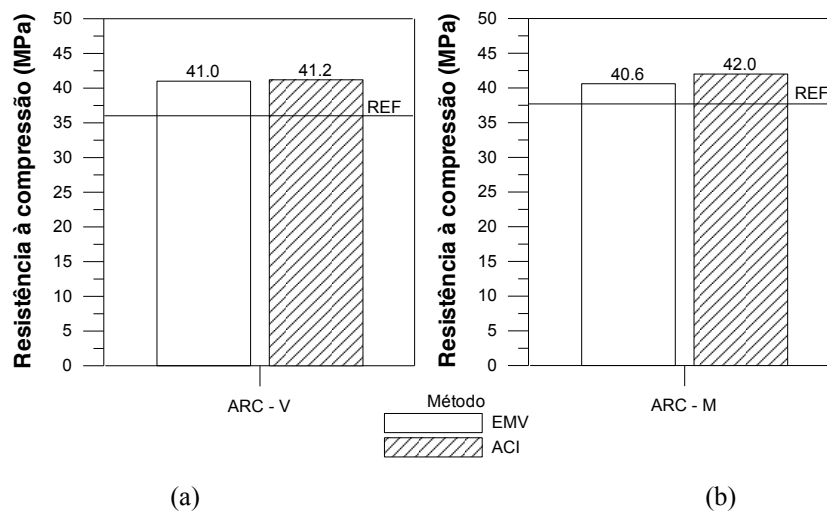


Figura 13: Resistência à compressão dos concretos reciclados em função do método de dosagem: a) Concretos reciclados produzidos com agregado reciclado de Vancouver; b) Concretos reciclados produzidos com agregado reciclado de Montreal (Fonte: Adaptado de FATHIFAZL *et al.*, 2009)

Embora fosse esperado resistência inferior dos concretos produzidos com o método do ACI, haja vista a substituição total do agregado natural por agregado reciclado, pode-se observar que os concretos dosados pelo método do ACI apresentaram maior teor de argamassa seca,

quando comparado ao método EMV (Tabela 6). O que proporciona maior resistência ao concreto e pode ter compensado o efeito prejudicial causado pela substituição total dos agregados naturais.

3.2.2 Estudos de dosagem convencional em concretos reciclados

Amario (2015) avaliou a dosagem de concretos com agregado graúdo reciclado de concreto através do Modelo do Empacotamento Compressível (MEC). O estudo foi realizado visando a obtenção de concretos reciclados com resistência à compressão de 25, 45 e 65 MPa, aos 28 dias, e abatimento variando entre 100 e 150 mm, medido pelo ensaio do abatimento do tronco de cone. Com a utilização da ferramenta computacional Betonlab Pro3® foram definidos os traços e o teor de material reciclado a ser empregado em cada mistura. Essas proporções foram definidas através da fixação dos valores de resistência e abatimento, e pela otimização da compacidade do esqueleto granular de cada mistura, com o intuito de obter a maior compacidade possível. Durante a produção dos concretos foi realizada a compensação de 50% da taxa de absorção de água do agregado reciclado, acrescentando à mistura a água correspondente a taxa definida, além disso, foi utilizado um aditivo superplastificante com um teor de 0,3% da massa do cimento, para todas as misturas.

De acordo com Amario (2015), nenhuma das misturas produzidas alcançou o abatimento preestabelecido. Além disso, misturas com abatimento menor que 50 mm apresentaram maior dificuldade no processo de adensamento, durante a moldagem dos corpos de prova. Por isso, para essas misturas, foi necessário o aumento no tempo de adensamento, que foi realizado por vibração mecânica. Observou-se também que o acréscimo no teor do agregado reciclado provocou um aumento na trabalhabilidade das misturas (Figura 14). O autor atribuiu esse comportamento a menor quantidade de finos e a forma mais arredondada apresentada pelo agregado reciclado, quando comparado ao agregado natural. Todavia, deve-se destacar que os valores correspondentes a essas propriedades não foram apresentados.

Concomitantemente, é possível notar que houve uma tendência para o aumento do H% (relação água/materiais secos) das misturas, com aumento do teor do agregado reciclado, para todas as classes de resistência dos concretos produzidos (Tabela 7). Dessa forma, é possível supor que a maior relação entre água e materiais secos pode ter contribuído para o aumento da trabalhabilidade dessas misturas. Percebe-se ainda que os maiores incrementos nos resultados de abatimento foram observados em misturas com maiores acréscimo no H% .

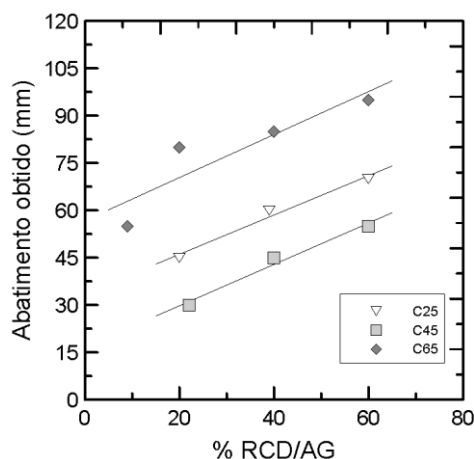


Figura 14: Resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone em função do teor agregado reciclado (Fonte: AMARIO, 2015)

Tabela 7: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca e relação água/materiais secos das misturas produzidas

Classe	Teor de substituição (%)	Traço					m	α (%)	H(%)
		c	a	p_1	p_2	a/c			
C25	20	1	3,17	3,01	0,73	0,71	6,9	53	8,9
	39	1	3,15	2,28	1,43	0,72	6,9	53	9,2
	60	1	2,99	1,42	2,08	0,73	6,5	53	9,8
C45	22	1	2,33	1,46	0,41	0,46	4,2	64	8,8
	40	1	2,38	1,29	0,83	0,48	4,5	62	8,7
	60	1	2,28	0,82	1,20	0,48	4,3	62	9,0
C65	9	1	1,70	1,14	0,10	0,34	2,9	69	8,7
	20	1	1,66	0,97	0,24	0,34	2,9	69	8,9
	40	1	1,65	0,72	0,47	0,35	2,8	69	9,0
	60	1	1,56	0,46	0,67	0,34	2,7	69	9,4

Fonte: Adaptado de Amario (2015)

Nota: a- agregado miúdo natural; p_1 - agregado graúdo natural; p_2 - agregado graúdo reciclado, a/c – relação água/cimento de dosagem; m – teor de agregados secos; α – teor de argamassa; H – relação água/materiais secos.

Para os resultados de resistência à compressão, Amario (2015) afirma que, de modo geral, a variação do teor de agregado reciclado não apresentou influência significativa sobre essa propriedade, uma vez que apenas concretos da classe C65 apresentaram diferenças significativas, para os diferentes teores de substituição. Por esse motivo, o autor conclui que é possível produzir concretos de resistência normal e de alta resistência com a até 60% de agregados graúdos reciclados de concreto, sem que suas propriedades mecânicas sejam prejudicadas.

Entretanto, nota-se que para classe C65, apenas o concreto produzido com um teor de 9% de agregado reciclado atingiu a classe de resistência desejada – 65MPa (Figura 15). Portanto, conclui-se que os teores acima desse percentual apresentaram-se inadequados para a utilização proposta, ainda que a máxima redução observada tenha sido de apenas 4% da resistência de dosagem (65 MPa). Nesse caso, com a baixa relação a/c o aumento do teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, pode ter provocado a redução da

resistência dos concretos. Conforme Mehta e Monteiro (2014), a baixa relação a/c, comum em concretos de alta resistência, provoca a densificação tanto da matriz quanto da zona de transição na interface. E, por isso o agregado passa a exercer maior influência na resistência do concreto.

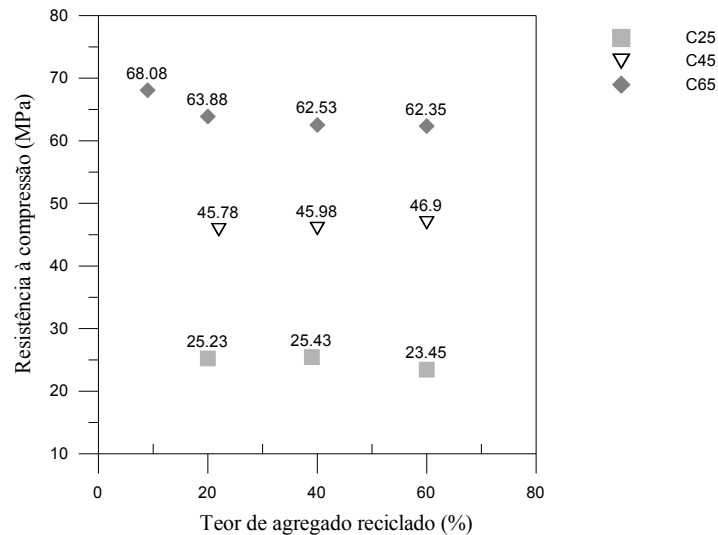


Figura 15: Resultados de resistência à compressão dos concretos em função do teor agregado reciclado (Fonte: Adaptado de AMARIO, 2015)

Rodrigues e Fucale (2014) realizaram um estudo de dosagem experimental pelo método IPT/EPUSP, em concretos com agregado miúdo reciclado, cuja composição do resíduo utilizado está descrita na Tabela 8. Os autores observaram que sem a realização da compensação da taxa de absorção do agregado reciclado e sem a utilização de aditivos redutores de água na produção das misturas, houve perda de trabalhabilidade e coesão para os concretos reciclados. Portanto, não foi possível utilizar a mesma relação a/c de dosagem dos concretos de referência.

Assim, para que os concretos reciclados atingissem o abatimento estabelecido em 100 ± 20 mm, foi necessário aumentar o teor de água das misturas, a medida que houve aumento no teor de incorporação do agregado reciclado. Esse comportamento pode ser atribuído a maior capacidade de absorção de água do agregado miúdo reciclado, que apresentou um valor dez vezes maior de taxa de absorção que o agregado natural. O maior teor de material pulverulento apresentado pelo agregado miúdo reciclado utilizado, quando comparado ao agregado natural, também justifica o aumento na demanda de água das misturas. Observou-se ainda que além do aumento no teor de água, para que a trabalhabilidade desejada fosse alcançada, foi necessário o aumento no teor de argamassa seca. Esse aumento foi consequência da maior quantidade de agregado miúdo nos concretos reciclados, tendo em vista que não houve compensação dos volumes de material reciclado.

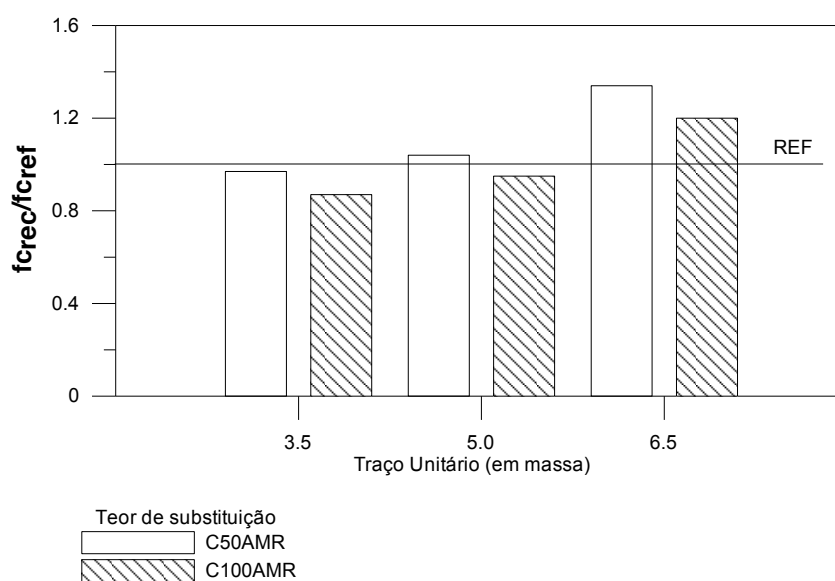
Tabela 8: Percentual dos constituintes da amostra do agregado reciclado utilizado

Constituinte	Porcentagem (%)
Material miúdo*	3
Tijolo cerâmico	4
Argamassa	1
Concreto	69
Misto**	23
Total	100

Fonte: Rodrigues e Fucale (2014).

Nota: * Material passante na peneira # 4,8 mm. ** Mais de um tipo de material incorporado de difícil distinção (argamassa + tijolo)

De acordo com os autores, verificou-se que os concretos reciclados não apresentaram grandes reduções de resistência à compressão, quando comparado ao concreto de referência. Esses resultados foram atribuídos a um possível efeito filler do material pulverulento presente no agregado reciclado, que é composto basicamente de material cimentício. Além disso, observou-se uma diminuição da relação a/c efetiva nos concretos reciclados, uma vez que parte da água de amassamento foi absorvida pelos agregados, que apresentaram elevada porosidade e não foram pré-umedecidos. Com base nesses resultados, Rodrigues e Fucale (2014) afirmaram que a amostra de agregado miúdo reciclado estudada apresentou-se viável para produção de concretos, para os teores de substituição avaliados. Embora, para os traços mais ricos, o uso de 100% de substituição apresentou maiores reduções de resistência, quando comparado ao concreto de referência (Figura 16).

**Figura 16:** Resultados de resistência relativa para os concretos produzidos por Rodrigues e Fucale (2014)

Todavia, conforme observado no Item 2.3.5, frações miúdas de agregados reciclados tendem a apresentar maiores valores de absorção quando comparado a frações graúdas, e por esse motivo sua utilização não é indicada para a produção de concretos. Além disso, observou-se que o aumento da relação a/c com o incremento do teor de agregado reciclado (Tabela 9), resultou em aumento da quantidade de vazios, diminuição da massa específica, e conseqüentemente, houve o aumento da absorção de água dos concretos (Figura 17).

Tabela 9: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca, relação água/materiais secos e consumo de cimento e água por m³ de concreto

Teor de substituição (%)	Traço				m	α (%)	H(%)	Cimento (kg/m ³)	Água (l/m ³)
	c	a	p	a/c					
0	1	1,57	1,93	0,48	3,5	57	10,6	470	226
	1	2,42	2,58	0,63	5,0	57	10,5	352	222
	1	3,28	3,22	0,86	6,5	57	11,5	275	237
50	1	1,66	1,84	0,55	3,5	59	12,2	450	249
	1	2,54	2,46	0,71	5,0	59	11,8	340	242
	1	3,43	3,07	0,91	6,5	59	12,1	270	246
100	1	1,84	1,66	0,61	3,5	63	13,5	437	268
	1	2,78	2,22	0,83	5,0	63	13,8	325	270
	1	3,73	2,77	1,01	6,5	63	13,5	261	264

Fonte: Rodrigues e Fucale (2014)

Nota: a- agregado miúdo; p- agregado graúdo; a/c- relação água/cimento; m- teor de agregados secos; α - teor de argamassa; H- relação água/materiais secos.

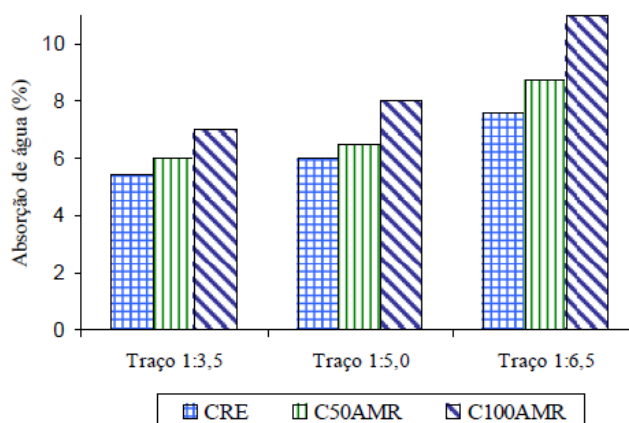


Figura 17: Resultados de taxa de absorção de água dos concretos (Fonte: RODRIGUES; FUCALE, 2014)

Observou-se, que de modo geral, os concretos produzidos não apresentaram resultados satisfatórios tanto para o estado fresco, quanto para o estado endurecido, tendo em vista a necessidade do aumento na relação a/c e do teor de argamassa seca com o aumento do teor de agregado reciclado utilizado, conforme observa-se na Tabela 9. Esses resultados podem ser atribuídos às características apresentadas pela fração granulométrica utilizada, ao método de

produção empregado, que não considerou a compensação da taxa de absorção e a menor massa específica do agregado reciclado, e também ao ensaio utilizado como medida de trabalhabilidade. No que tange a durabilidade dos concretos produzidos, os resultados apresentados, avaliados pelo ensaio de absorção de água, também podem ser consequência da utilização da fração miúda. Que conforme discutido, apresenta elevada porosidade, e, além disso, provocou o aumento da relação a/c e, conseqüentemente, o aumento da porosidade dos concretos reciclados.

Outro estudo de dosagem de concreto com agregado reciclado foi desenvolvido por Malta (2012). Foi realizado um estudo comparativo dos métodos de dosagem de concretos convencionais e de concretos de alto desempenho na dosagem de concretos com substituição do agregado miúdo natural (AMN) por agregado miúdo reciclado (AMR). Foram avaliados dois métodos de dosagem de concreto convencional (ACI/ABCP e IPT/EPUSP) e dois métodos de dosagem de concreto de alto desempenho (Aitcin e Mehta/Aitcin). Para todas as misturas, a relação a/c de 0,50 e o abatimento de 70 ± 10 mm, medido pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, foram mantidos fixos. Para cada método citado, foram produzidas as seguintes misturas:

- CONC REF: concretos de referência, somente com agregados naturais;
- CONC 25%AMR: concretos com 25% de substituição do AMN por AMR, com compensação da taxa de absorção;
- CONC 25% AMRSC: concretos com 25% de substituição do AMN por AMR, sem compensação;
- CONC 50%AMR: concretos com 50% de substituição do AMN por AMR, com compensação da taxa de absorção;
- CONC 50% AMRSC: concretos com 50% de substituição do AMN por AMR, sem compensação.

De acordo com Malta (2012), apesar de apresentarem-se coesas, homogêneas e moldáveis, as misturas com a incorporação de agregado reciclado apresentaram valores de abatimento muito variáveis e fora do intervalo estabelecido. Vale salientar que, o autor não apresentou os resultados de abatimento encontrados para os concretos reciclados.

Com base nos resultados de resistência à compressão, apresentados na Tabela 10, pode-se verificar que os concretos produzidos sem a compensação da taxa de absorção de água dos agregados reciclados apresentaram melhor desempenho. Esses resultados podem ser justificados pela redução da relação a/c efetiva dessas misturas, por consequência da elevada

taxa de absorção apresentada pelo agregado miúdo reciclado (16,4%). Segundo Malta (2012), o uso de diferentes métodos de dosagem não promoveu grandes alterações no comportamento mecânico dos concretos reciclados.

Tabela 10: Consumo de cimento, ter de argamassa seca e resultados de resistência à compressão e abatimento dos concretos

Mistura	Método																							
	ACI/ABCP					IPT/EPUSP					MEHTA/AITCIN				AITCIN									
	C (kg/m ³)	α (%)	Abat (mm)	fc (MPa)	fc _{rec} /fc _{ref}	C (kg/m ³)	α (%)	Abat (mm)	fc (MPa)	fc _{rec} /fc _{ref}	C (kg/m ³)	α (%)	Abat (mm)	fc (MPa)	fc _{rec} /fc _{ref}	C (kg/m ³)	α (%)	Abat (mm)	fc (MPa)	fc _{rec} /fc _{ref}				
REF			75	33,4	-			80	35,8	-			65	38,2	-			70	38,1	-				
25%AMR			-	26,2	0,78			-	40,5	1,13			-	33,2	0,87			-	35,9	0,94				
50%AMR	374	43		-	37,3	1,12	400	51		-	35,6	0,99	407	55		-	40,6	1,06	426	55		-	40,6	1,07
25% AMR SC				-	36,2	1,08				-	43,2	1,21				-	39,2	1,03				-	42,4	1,11
50% AMR SC				-	43,0	1,29				-	44,0	1,23				-	48,8	1,28				-	46,1	1,21

Fonte: Adaptado de Malta (2012)

A partir dos resultados apresentados, observou-se que apenas no estudo de Fathifazl *et al.* (2009) houve a tentativa de desenvolvimento de um método específico para dosagem do concreto reciclado. Os demais estudos aplicaram métodos já conhecidos e tentaram alterar apenas alguns parâmetros, como consumo de água, teor de argamassa, uso de aditivos, entre outros. Em qualquer dos estudos, observou-se redução da trabalhabilidade para as misturas com agregado reciclado. Todavia não foi possível observar influência do método de dosagem sobre os resultados dos concretos no estado fresco, bem como no estado endurecido.

3.3 PRODUÇÃO DO CONCRETO RECICLADO

Durante a produção de misturas com utilização de agregados reciclados alguns procedimentos específicos devem ser realizados, em função da influência das características desses agregados nas propriedades dos concretos. Esses procedimentos estão relacionados ao método de compensação da taxa de absorção de água do agregado reciclado e ao tempo e sequência de mistura desses concretos. A metodologia, a ser aplicada, deve ser escolhida de forma a garantir a menor influência de algumas características do material reciclado nas propriedades dos concretos, de modo a garantir sua viabilidade técnica.

De acordo com Poon *et al.* (2004a), na produção de concretos com agregados reciclados a condição de umidade destes agregados deve ser levada em consideração. Não só para a determinação da quantidade de água, mas também para o ajuste de outros parâmetros

técnicos, tais como tempo de mistura e compactação. Além disso, a condição de umidade dos agregados pode alterar a trabalhabilidade das misturas e, conseqüentemente, afetar as propriedades do concreto no estado endurecido.

Poon *et al.* (2004a) avaliaram a influência da condição de umidade dos agregados reciclados nas propriedades dos concretos. Os agregados foram utilizados nas condições seco ao ar (AD), seco em estufa (OD) e saturado superfície seca (SSD), conforme representado na Figura 18. Os resultados apresentados mostraram que quando o agregado reciclado foi utilizado como substituto ao agregado natural no estado AD, a trabalhabilidade e a resistência à compressão dos concretos não apresentaram grandes diferenças, quando comparado com concretos preparados com agregados naturais. Contudo, quando os agregados reciclados foram utilizados nas condições OD ou SSD, a trabalhabilidade e a resistência à compressão dos concretos foram mais afetadas. Os maiores valores de abatimento foram alcançados pelos concretos com agregados reciclados no estado OD, o que pode ser resultado da maior relação a/c de dosagem utilizada para essas misturas, e pelos concretos com o agregado reciclado no estado SSD, resultado do alto teor de água presente no interior das partículas dos agregados. Em consequência do aumento no teor de água, a resistência à compressão desses concretos foi reduzida. Dessa forma, concretos produzidos com agregados reciclados na condição AD apresentaram maior resistência à compressão (Tabela 11).

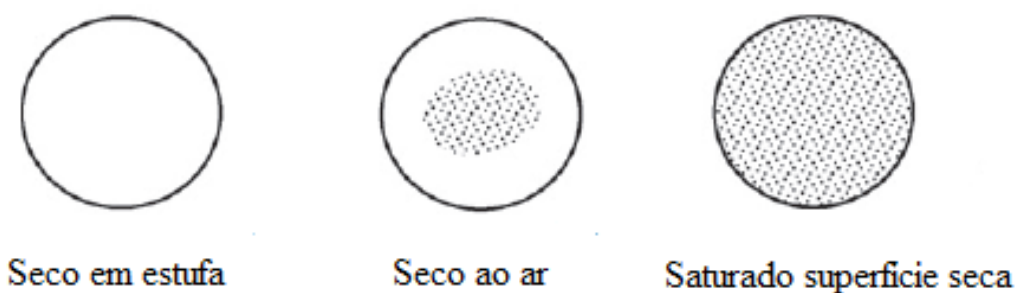


Figura 18: Representação das condições de umidade do agregado (Fonte: adaptado de TEGGUER, 2012)

Tabela 11: Efeito da condição de umidade do agregado nos resultados de abatimento e resistência à compressão dos concretos para diferentes teores de substituição

Teor de AGR (%)	Condição inicial de umidade do agregado								
	AD			OD			SSD		
	a/c	Abat.(mm)	fc ₂₈ (MPa)	a/c	Abat.(mm)	fc ₂₈ (MPa)	a/c	Abat.(mm)	fc ₂₈ (MPa)
0	0,61	105	48,3	0,63	110	40,2	0,59	100	46
20	0,61	90	44,9	0,65	120	43,2	0,58	105	43
50	0,65	100	44,7	0,70	130	39,7	0,59	110	38,1
100	0,68	125	46,8	0,77	145	43,3	0,59	100	39,1

Fonte: Adaptado de Poon *et al.* (2004a)

O estudo realizado por Poon *et al.* (2004a) aponta para o efeito negativo provocado pela saturação do agregado reciclado e pela introdução desse agregado no estado seco em estufa na produção do concreto. Sendo mais indicada a utilização do agregado reciclado com um teor de umidade intermediário. Neste sentido, Leite (2001) afirma que não é necessário compensar totalmente a taxa de absorção do agregado reciclado. Esta compensação deve ser feita com base na curva de absorção desses agregados, sendo suficiente compensar entre 40 e 50 % da taxa de absorção do material. Vieira e Dal Molin (2004), Werle (2010), Troian (2010) e Moitinho e Leite (2015) confirmam a utilização de uma taxa de compensação de 50% da absorção de água dos agregados reciclados para a produção de concretos reciclados.

González-Fonteboa *et al.* (2011) em seus estudos apresentam essencialmente duas alternativas para compensar a taxa de absorção da água dos agregados reciclados:

- a primeira alternativa trabalha com agregados secos, aumentando a quantidade de água incorporada na mistura;
- a segunda alternativa se divide em três métodos:
 - I. trabalhar com agregados saturados, mas o autor ressalta que este sistema apresenta excesso de água, com um efeito deletério sobre a resistência do concreto reciclado;
 - II. consiste na pré-umidificação, dos agregados por 10 min, usando imersão, tempo considerado pelo autor como suficiente para permitir a correção da demanda de água dos agregados reciclados;
 - III. recomenda aspersão de água nos agregados, sendo que o inconveniente deste sistema é a necessidade de uma grande superfície em que os agregados possam ser colocados de forma adequada para garantir uma distribuição uniforme da água.

Ferreira *et al.* (2011) produziram concretos com agregados graúdos reciclados de concreto, aplicando às misturas dois diferentes métodos de compensação da taxa de absorção para o agregado reciclado, com uma taxa de absorção de água previamente definida. Para o primeiro método foi realizada a compensação de água, adicionando à mistura a água correspondente à taxa determinada; para o segundo método foi realizado a pré-saturação dos agregados reciclados dentro do misturador, misturando a quantidade total de água e a água adicional de absorção por um tempo total de 10 minutos. A fim de garantir a análise da influência dos métodos utilizados, as misturas foram produzidas com o mesmo traço unitário e mesma relação a/c de dosagem e sem a utilização de qualquer tipo de aditivo. Os resultados mostraram que todas as misturas atingiram o abatimento preestabelecido (80 ± 10 mm) e que a

trabalhabilidade do concreto avaliada pelo ensaio de abatimento, não se mostrou sensível ao método de compensação utilizado.

A partir da análise da Figura 19 observa-se que, nas idades de 7 e 28 dias, os concretos reciclados preparados com a metodologia de compensação de água durante a mistura, obtiveram maiores resistências que os concretos preparados com a saturação prévia dos agregados reciclados. E que as diferenças entre os valores de resistência dessas misturas são atenuadas com o aumento do teor de agregado reciclado (FERREIRA *et al.*, 2011). De acordo com os autores os agregados submetidos à pré-saturação exibiram um filme de água sobre a sua superfície, e isso pode ter prejudicado a penetração de pasta de cimento no interior dos poros do agregado, levando a uma diminuição da aderência pasta agregado e, a uma zona de transição mais frágil. Porém, com o aumento do teor do agregado reciclado, esse material passou a exercer maior influência sobre a resistência do concreto, e a ruptura possivelmente passou a ocorrer no agregado. Adicionalmente, Evangelista e Brito (2010) afirmam que o método de compensação de água durante a mistura, com o intuito de atingir uma determinada relação a/c efetiva, apresenta melhores resultados para o desempenho de concretos produzidos com agregados reciclados, quando comparados a concretos produzidos utilizando o método de pré-saturação.

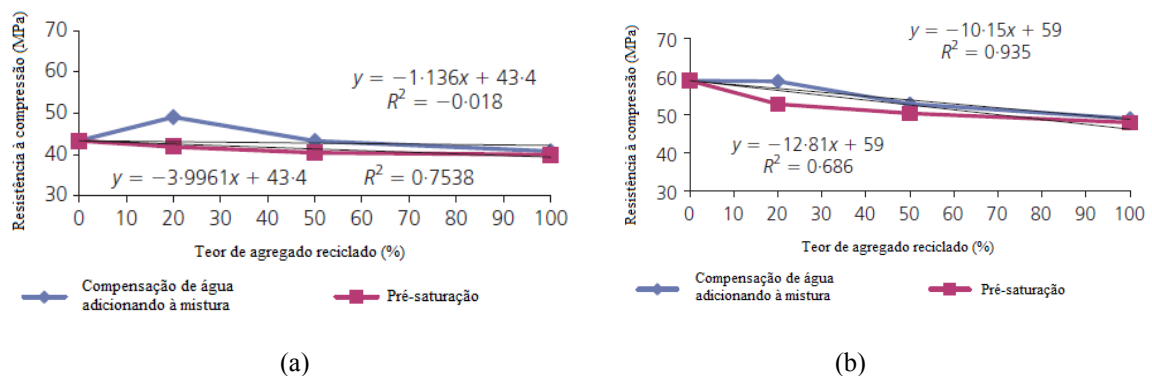


Figura 19: Resistência à compressão do concreto para diferentes métodos compensação da taxa de absorção do agregado reciclado: a) Aos 7 dias de idade; b) Aos 28 dias de idade (Fonte: Adaptado de FERREIRA *et al.*, 2011)

Para a produção de concreto reciclado existem, também, formas variadas da ordem de mistura dos materiais na betoneira (MALTA, 2012). A mistura do concreto é um processo complexo, e muitos fatores influenciam a sua qualidade. Estes fatores incluem a sequência de colocação dos materiais no misturador, tempo de mistura e tipo de misturador. Uma mistura eficiente influencia no comportamento e nas propriedades do concreto, uma vez que, distribuem melhor as partículas de cimento, água e agregado (OYANADEL, 2009; CORDEIRO, 2013).

Tam *et al.* (2005) descreveram um procedimento de mistura em duas etapas para o concreto reciclado, intitulado método de mistura em duas etapas - TSMA². Conforme indicado pelo método (Figura 20), durante a primeira fase da mistura deve-se adicionar sobre os agregados metade da água necessária à mistura, e esses absorverão parte dessa água durante os primeiros segundos de mistura reduzindo sua capacidade de absorção. Posteriormente, com a adição de cimento, ocorrerá à formação de uma fina camada de pasta de cimento sobre a superfície dos agregados. E por fim, o restante da água. Essa camada de pasta deverá permear os poros e as microfissuras destes agregados, resultando em uma zona de transição mais forte e densa, e em uma microestrutura mais homogênea (Figura 21a e 21b). De acordo com os autores, esse processo contribui para melhorar a resistência à compressão e a durabilidade do concreto reciclado.

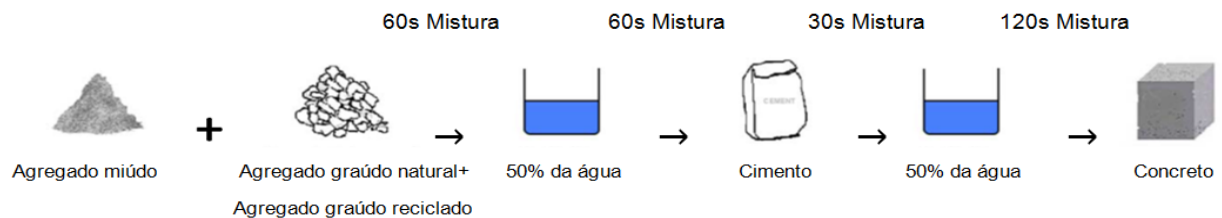


Figura 20: Método de mistura em duas etapas (Fonte: TAM *et al.*, 2005)

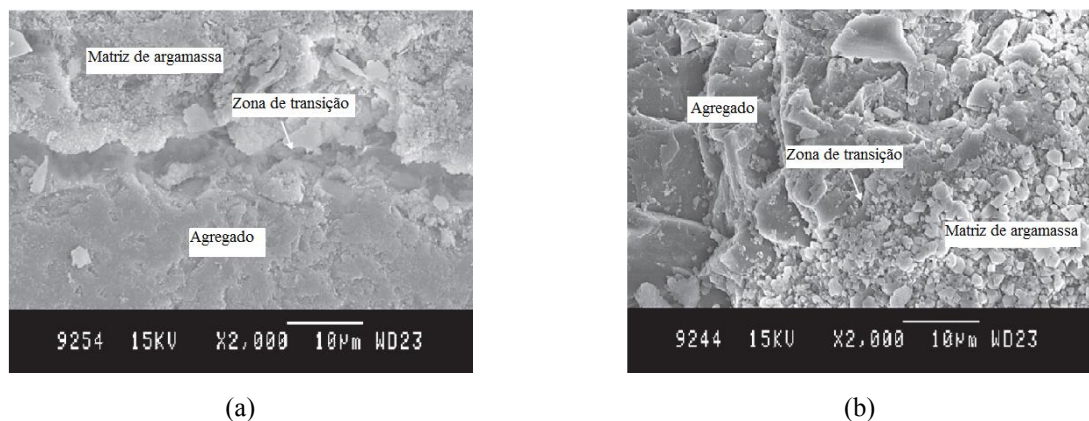


Figura 21: Microestrutura do concreto reciclado: a) Método de mistura convencional; b) Método de mistura em duas etapas (Fonte: TAM *et al.*, 2005)

Li *et al.* (2012) realizaram um estudo avaliando a influência do método de mistura sobre as propriedades de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concreto. Os autores utilizaram o método de mistura convencional e o método de mistura em duas etapas, e observaram que concretos reciclados produzidos pelo método proposto por Tam *et al.* (2005) apresentaram maior resistência à compressão, quando comparado aos concretos reciclados

² Do original em inglês *Two-stage mixing approach* (TSMA).

preparados com o método de mistura convencional (Figura 22). Li *et al.* (2012) avaliaram a microestrutura dos concretos produzidos e concluíram que para o concreto reciclado produzido pelo método convencional existe uma maior porosidade e maior conteúdo de hidróxido de cálcio na zona de interface entre o agregado e pasta de cimento hidratada. Por outro lado, uma vez que o TSMA pode reduzir efetivamente a camada de água formada em torno do agregado, a porosidade na zona de transição é reduzida, ao passo que a hidratação melhorada fornece uma fonte para a produção de C-S-H. Isso implica em melhorias na zona de transição, o que pode explicar o aumento na resistência à compressão dos concretos. Outros estudos apontam para a eficiência do método de misturas em duas etapas na produção de concretos reciclados (TAM *et al.*, 2007; MOITINHO; LEITE, 2015; BRAND *et al.*, 2015; LEITE; MONTEIRO, 2016).

Por consequência de variações na composição e outras características físico-químicas dos agregados de RCD, a produção de concretos com material reciclado varia mais que as de concretos convencionais (FIGUEIRÊDO FILHO, 2011). As influências destes agregados podem ser avaliadas em propriedades do concreto no estado fresco e estado endurecido. E sua aplicação é definida pelo desempenho do concreto nessas duas fases (LOVATO, 2007).

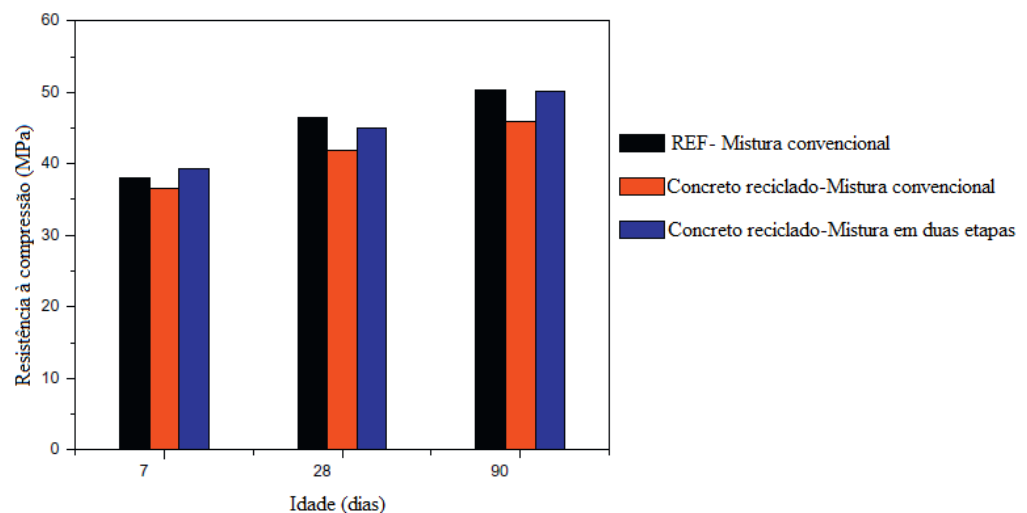


Figura 22: Desenvolvimento da resistência à compressão de concretos produzidos como diferentes métodos de mistura (Fonte: LI *et al.*, 2012)

Segundo Brito (2005), a substituição de agregados naturais por agregados reciclados na produção de concretos, mantendo a curva granulométrica e a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, pode conduzir a resistências semelhantes às do concreto convencional, desde que sejam seguidos requisitos, como: menor percentual de substituição de agregados naturais por reciclados; menor teor de substituição de agregados finos reciclados, em detrimento de

agregados graúdos reciclados; agregados com melhores características e menor quantidade de impurezas; uso de aditivos, de modo a compensar as piores características dos agregados reciclados.

3.4 CONSIDERAÇÕES

Apesar do interesse de alguns autores em definir um método de dosagem específico para o concreto reciclado, conforme descrito no Item 3.2, observa-se que ainda não existe consenso a respeito da metodologia mais adequada para ser utilizada. Os resultados apresentados mostram que os métodos de dosagem escolhidos não apresentaram influência nos resultados obtidos, uma vez que alguns problemas de trabalhabilidade e redução da resistência mecânica foram comuns a trabalhos com diferentes metodologias de dosagem. Observou-se nesses estudos que tais problemas foram consequência das características, tipo e teor do agregado reciclado. Bem como, da metodologia de avaliação da trabalhabilidade utilizada.

Desse modo, conclui-se que para dosagem de concretos reciclados algumas características como taxa de absorção de água, massa específica, forma e textura do agregado de RCD influenciam de forma significativa, e por esse motivo devem ser parâmetros para a aplicação de uma metodologia de dosagem. Além disso, foi possível observar que aspectos relacionados à produção, como compensação da taxa de absorção de água do agregado, método de mistura e tipos de ensaios para avaliação das propriedades do concreto no estado fresco, também podem influenciar de forma significativa nos resultados. E por esse motivo também devem ser considerados durante a dosagem dos concretos reciclados.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com o intuito de alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foi desenvolvido um programa experimental que contribuísse para o entendimento da dosagem e produção de concretos com agregado reciclado de concreto, utilizando como parâmetro para determinação da trabalhabilidade o ensaio de espalhamento na mesa de Graff (NBR NM 68, ABNT, 1998). Além disso, foram realizados a coleta e beneficiamento do resíduo de concreto, bem como, a sua caracterização e dos demais materiais utilizados no estudo. Os concretos produzidos foram avaliados também no estado endurecido, quanto a resistência à compressão axial em diferentes idades. Os resultados obtidos no estudo foram avaliados estatisticamente, através de análise de variância, utilizando o software Statistica®.

4.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Cimento

Para a produção dos concretos, foi utilizado o cimento Portland composto com pozolana, resistente à sulfatos (CP II Z 32 RS), classe 32 MPa. Este tipo de cimento foi escolhido em virtude de sua disponibilidade na região. A caracterização do cimento foi realizada de acordo com as prescrições normativas vigentes e os resultados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Propriedades físicas e mecânicas do cimento Portland CP II Z 32 RS

Propriedades avaliadas - Método de ensaio		Resultados	Limites NBR 11578 (ABNT, 1991a)
Massa específica - NBR NM 23 (ABNT, 2001a)		3,00 g/cm	-
Índice de finura - NBR 11579 (ABNT, 1991b)		0,5%	≤ 12%
Pasta de consistência normal - NBR NM 43 (ABNT, 2003a)		29,3%	-
Início de pega - NBR NM 65 (ABNT, 2003e)		2:45 h	≥ 1 h
Fim de pega - NBR NM 65 (ABNT, 2003e)		3:45 h	≤ 10h
Resistência à compressão - NBR 7215 (ABNT, 1996)	Idade	3	≥ 10 MPa
	(dias)	7	≥ 20 MPa
		28	≥ 32 MPa

Observou-se, em função dos resultados obtidos, que o cimento Portland utilizado neste estudo atendeu aos limites especificados na NBR 11578 (ABNT, 1991a).

4.1.2 Agregados miúdos

Foram utilizados dois tipos de agregados miúdos naturais: uma areia fina quartzosa (AMN1), proveniente de jazidas da cidade de Alagoinhas/BA e uma areia média quartzosa (AMN2),

proveniente do rio Paraguaçu - Santos Estevão/BA. Esses agregados são comumente utilizados na produção de concretos na região.

A caracterização dos agregados miúdos foi realizada de acordo com as prescrições normativas descritas na Tabela 13. Os resultados obtidos atendem aos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005).

Tabela 13: Resultados da caracterização dos agregados miúdos

Propriedades Avaliadas		AMN1		AMN2		NBR 7211 (ABNT, 2005)
		%RI	%RA	%RI	%RA	
Abertura da peneira (mm)						
4,8		1	1	0	0	
2,4		0	1	0	0	
1,2		1	2	21	21	
0,6		11	13	48	69	-
0,3		54	67	28	97	
0,15		26	93	2	99	
Menor que 0,15		7	100	1	100	
Dimensão máxima característica (mm) NBR NM 248 (ABNT, 2003f)		1,2		2,4		-
Módulo de finura NBR NM 248 (ABNT, 2003f)		1,77		2,86		zona ótima - 2,20 a 2,90 zona utilizável inferior - 1,55 a 2,20
Massa específica (kg/dm ³) NBR NM 52 (ABNT, 2003c)	Aparente	2,61		2,54		-
	S.S.S.	2,62		2,57		-
	Agregado Seco	2,62		2,61		-
Massa unitária (kg/dm ³) NBR 7251 (ABNT, 1982)		1,60		1,42		-
Absorção de água (%) NBR NM 30 (ABNT, 2001b)		0,1		0,8		-
Inchamento NBR 6467(ABNT, 2006b)	Coefficiente de inchamento médio	1,30		1,24		-
	Umidade crítica (%)	1,5		2,5		-
Material pulverulento (%) NBR NM 46 (ABNT, 2003b)		2,1		0,6		Concreto submetido a desgaste superficial Concretos protegidos do desgaste superficial do
Impurezas orgânicas NBR NM 49 (ABNT, 2001c)		Mais clara		Mais clara		≤ 3 ≤ 5 Mais clara que a solução-padrão

Nota: AMN1 – agregado miúdo natural fino; AMN2 – agregado miúdo natural médio; RI – massa retida individual; RA – massa retida acumulada

Para produção dos concretos foi utilizada uma mistura de 75% de AMN1 e 25% de AMN2, com o objetivo de obter um agregado miúdo com melhor composição granulométrica, e garantir, para as misturas, melhor desempenho. A curva de distribuição granulométrica, com os respectivos limites normativos, está apresentada no gráfico da Figura 23. A dimensão

máxima característica do agregado miúdo obtido (75%AMN1-25%AMN2) foi de 2,4 mm, e o módulo de finura igual a 2,00.

Observa-se que a composição utilizada para o agregado miúdo atende aos limites da zona utilizável, estabelecida pela NBR 7211 (ABNT, 2005).

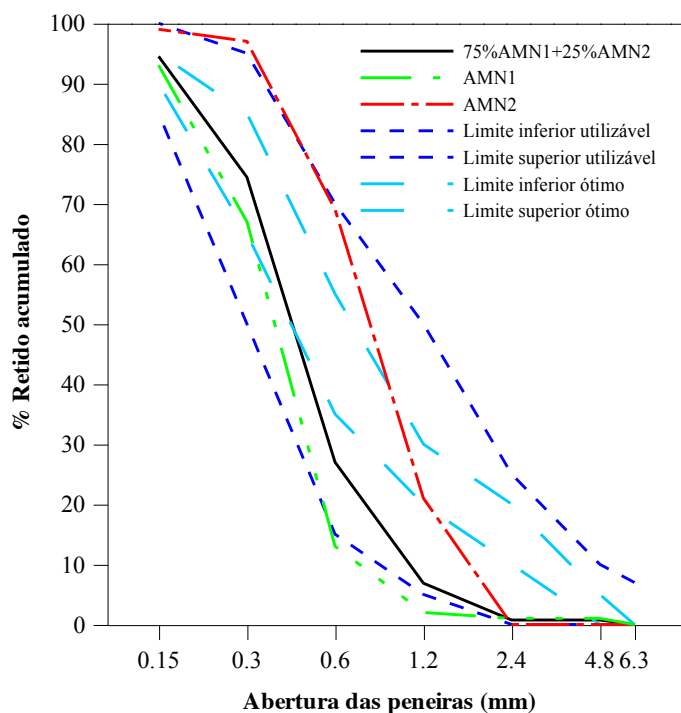


Figura 23: Curva de composição granulométrica do agregado miúdo natural e respectivos limites especificados pela NBR 7211 (ABNT, 2005)

4.1.3 Agregados graúdos

Agregado graúdo natural: Como agregado graúdo natural foi utilizada uma brita de origem granítica, com dimensão máxima característica de 19 mm, proveniente do município de Conceição do Jacuípe-Ba. O agregado foi lavado, para retirada do material pulverulento ou qualquer impureza que o mesmo pudesse conter, e posteriormente colocado ao ar livre para secar.

Agregado graúdo reciclado: O agregado graúdo reciclado utilizado neste estudo foi obtido a partir do beneficiamento de corpos de prova de concreto, com resistência à compressão variando entre 25 e 40 MPa, obtidos na fábrica de pré-moldados PREFAZ, situada na cidade de Feira de Santana/BA. O material foi coletado junto a empresa e transportado até o Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Feira de Santana. Após a coleta iniciou-se o processo de beneficiamento para a produção do agregado graúdo reciclado (AGR).

O processo de beneficiamento consistiu na britagem do resíduo, que foi realizada em laboratório, utilizando um britador de mandíbulas (marca PRINCEMAQ®, linha C M-170, modelo 20-15C) com alimentação manual (Figura 24).

Por fim, todo material britado foi peneirado manualmente (Figura 25a) para a separação da fração graúda (material passante na peneira de 19 mm e retido na peneira de 4,8 mm). Nesse estudo, apenas o agregado graúdo reciclado foi utilizado para a produção dos concretos. O aspecto final do AGR pode ser observado na Figura 25b.



Figura 24: Alimentação do britador de mandíbulas utilizado para produção do AGR



(a)



(b)

Figura 25: Obtenção do AGR: a) peneiramento; b) aspecto final do AGR obtido

4.1.3.1 Caracterização dos agregados graúdos

Todos os agregados graúdos foram caracterizados de acordo com as normas técnicas, e avaliados de acordo a NBR 7211 (ABNT, 2005), conforme está apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Resultados da caracterização dos agregados graúdos

Propriedades Avaliadas-Métodos de Ensaio	AGN		AGR		NBR 7211 (2005)
	%RI	%RA	%RI	%RA	
Abertura da peneira (mm)					
25,0	0	0	0	0	
19,0	0	0	0	0	
12,5	28	28	51	51	
9,5	46	74	26	77	-
6,3	22	97	16	93	
4,8	2	99	6	99	
Fundo	1	100	1	100	
Dimensão máxima característica (mm)					
NM 248 (ABNT, 2003)		19,0		19,0	-
Módulo de finura – NBR NM 248 (ABNT, 2003f)		6,68		6,71	-
Massa específica (kg/dm ³)	Aparente	2,79		2,76	-
NBR NM 53 (ABNT, 2003d)	S.S.S.	2,77		2,56	-
	Seco	2,76		2,45	-
Massa específica (kg/dm ³) – Método de Leite (2001)		-		2,72	-
Massa unitária (kg/dm ³) – NBR 7251 (ABNT, 1982)		1,50		1,30	-
Absorção de água (%) - NBR NM 53 (ABNT, 2003d)		0,4		4,5	-
Absorção de água (%) – Método de Leite (2001)		-		5,0	-
Abrasão Los Angeles (%) – NBR NM 51 (ABNT, 2001d)		39,4		27,1	≤ 50
Índice de forma – NBR 7809 (ABNT, 2006a)		2,6		2,5	≤ 3
Material pulverulento (%) - NBR NM 46 (ABNT, 2003b)		0,2		0,0	< 1

Nota: AGN – agregado graúdo natural; AGR – agregado graúdo reciclado; RI – retida individual; RA – retida acumulada

Observa-se que o agregado graúdo reciclado apresentou módulo de finura semelhante ao do agregado natural. E, embora tenha apresentado também a mesma dimensão máxima característica (19 mm), esses resultados não indicam, necessariamente, que os agregados são iguais, pois a composição granulométrica desses agregados é diferente. Essa semelhança também não é suficiente para garantir que a necessidade de água para o agregado reciclado deve ser igual a do agregado natural, visto que, conforme observado por Leite (2001), para essa avaliação outras propriedades dos agregados devem ser levadas em consideração, a exemplo do formato e da textura das partículas. Observa-se ainda, que a fração granulométrica com dimensão acima de 12,5mm representa mais de 50% da massa da amostra do agregado reciclado, o que aponta para uma composição com grãos de maior dimensão. Esse resultado pode indicar agregados com menor teor de argamassa aderida, pois, como discutido anteriormente, existe uma tendência à diminuição do conteúdo de argamassa aderida com o aumento o tamanho das partículas dos agregados.

Na Figura 26 observa-se que o AGR apresentou uma granulometria mais próxima dos limites das faixas granulométricas especificadas, com base na NBR 7211 (ABNT, 2005). Essa característica promove um melhor arranjo entre as partículas do agregado, proporcionando maior empacotamento dos grãos, se comparada a composição mais descontínua apresentada pelo AGN. Verifica-se também, que as composições granulométricas apresentadas pelos agregados não se enquadram nos limites normativos especificados e em nenhuma das outras graduações prescritas pela NBR 7211 (ABNT, 2005). Porém, esse agregado natural foi utilizado por ser comumente empregado na produção de concretos na região.

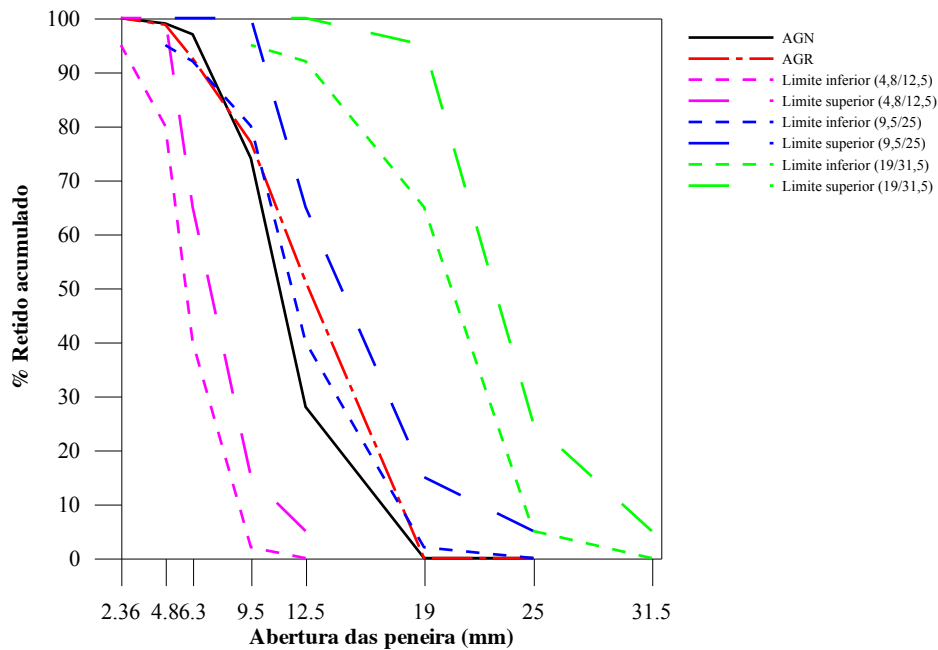


Figura 26: Curvas granulométricas dos agregados graúdos, natural e reciclado, e respectivos limites inferior e superior da zona granulométrica (4,8/12,5; 9,5/25,0; 19/31,5) especificada pela NBR 7211 (ABNT, 2005)

A massa específica aparente do agregado graúdo reciclado é apenas 1% inferior a do agregado graúdo natural. Enquanto que a taxa de absorção de água do AGR (4,5%) apresentou-se cerca de 11 vezes maior que a do agregado natural (0,4%). Esses resultados seguem o comportamento apontado pela literatura, e estão diretamente associados com a porosidade do agregado reciclado, bem como, com a sua origem, tendo em vista que o AGR é constituído essencialmente por agregado natural e alguma fração de argamassa antiga aderida. Todavia, observa-se que a redução da massa específica aparente em apenas 1%, evidencia a melhor qualidade do agregado reciclado de concreto utilizado, quando comparado a agregados reciclados provenientes de outros materiais. Além disso, verifica-se que o valor de taxa de absorção de água do AGR apresentou-se inferior aos valores comumente encontrados na literatura, que, como visto no Item 2.3.5, varia de 6 a 7% para agregados graúdos reciclados de concreto. Esses resultados também podem ser possivelmente atribuídos ao menor conteúdo

de argamassa antiga aderida presente no AGR utilizado. Diversos autores apontam para uma intensa relação entre o teor de argamassa antiga aderida e a qualidade do AGR. Agregados com menor teor de argamassa aderida apresentam maior massa específica e menor capacidade de absorção de água, se comparado a agregados com maior teor de argamassa antiga aderida (TAM; TAM, 2009; GOKCE *et al.*, 2011; YOUNIS; PILAKOUTAS, 2013; DUAN *et al.*, 2014; PEPE *et al.*, 2015). Adicionalmente, a qualidade do concreto utilizado para a produção do AGR pode ter contribuído para o melhor desempenho observado. Visto que, de modo geral concretos produzidos em fábricas de pré-moldados apresentam boa qualidade. Dessa forma, espera-se que a sua utilização como fonte de matéria-prima para agregados reciclados forneça vantagens sobre a produção de agregados reciclados oriundos de concretos comuns (SOARES *et al.*, 2014b).

A Figura 27 apresenta a curva com o percentual do total da taxa de absorção de água do AGR em função do tempo. Como pode ser observado, o agregado graúdo reciclado absorve 42% do total da água absorvida em 24h (1440 minutos), nos primeiros 10 minutos de imersão. Esse resultado difere dos valores obtidos por outros pesquisadores, que apontam para uma taxa de absorção inicial, do agregado graúdo reciclado de concreto, variando entre 70 e 93% da taxa de absorção de água total desses agregados (FERREIRA, 2007; CORDEIRO, 2013; AMARIO, 2015; RANGEL, 2015).

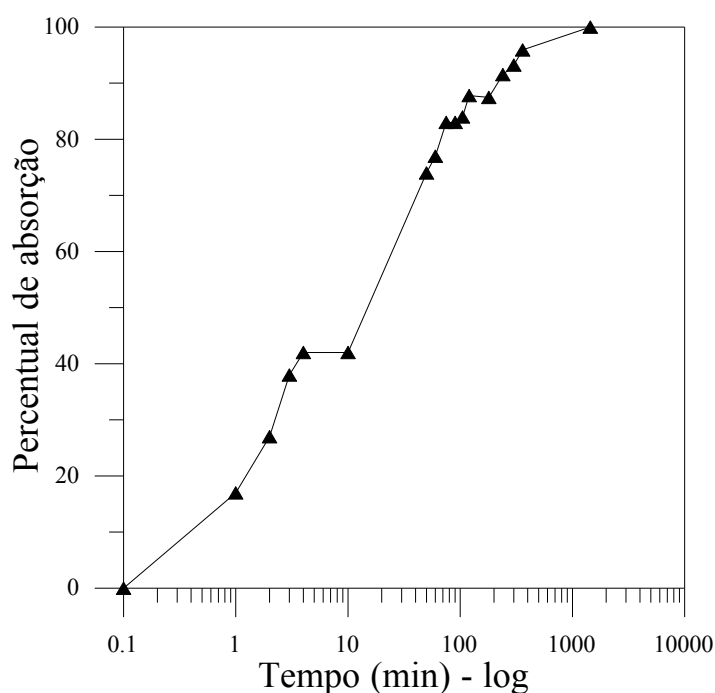


Figura 27: Percentual de absorção de água no tempo para o AGR

Os resultados mostram também uma redução de 13% para a massa unitária do AGR. A maior redução ocorrida para esta propriedade pode ser explicada pela forma mais irregular dos grãos do AGR, que aumenta o volume de espaços vazios existentes entre grãos, e que em conjunto com a porosidade característica dos agregados reciclados, contribuem para a redução da sua massa unitária.

Os resultados de índice de forma apresentados pelos agregados graúdos atendem ao limite normativo, que é de 3. Esses agregados podem ser classificados como lamelares, pois apresentam relação entre comprimento e espessura maior que 2. O AGR não apresentou, em sua composição, a presença de material pulverulento. Atribuiu-se esse resultado a eliminação dos finos durante o processo de beneficiamento do agregado reciclado, uma vez que a fração utilizada nesta pesquisa foi composta pelo material passante na peneira de 19mm e retido na peneira de 4,8mm. Dessa forma, os finos, que normalmente compõem a fração miúda, foram removidos da fração utilizada.

O índice de perda por abrasão Los Angeles apresentado pelo agregado reciclado foi de 27,1%, inferior ao apresentado pelo agregado natural, que foi de 39,4%. Esse resultado difere do esperado, uma vez que agregados reciclados normalmente apresentam menor resistência ao desgaste por abrasão, quando comparado ao agregado natural. Porém, é possível supor que o desempenho do material reciclado pode ter sido influenciado pela melhor qualidade do agregado natural presente no concreto que deu origem ao agregado reciclado, se comparado ao agregado natural utilizado nessa pesquisa. Como visto no estudo realizado por Zega e Maio (2009), descrito no Item 2.3.4, concretos produzidos com agregados naturais de melhor qualidade podem gerar agregados reciclados mais resistentes ao desgaste por abrasão que alguns agregados naturais. Além disso, o possível baixo teor de argamassa dos agregados de concreto utilizados pode ter contribuído para o menor índice de perda por abrasão obtido. A Figura 28 apresenta os agregados antes e depois do ensaio de abrasão, na qual observa-se a maior quantidade de finos na amostra de AGN. Ainda assim, os índices de perda por abrasão Los Angeles dos agregados, natural e reciclado, estão abaixo do limite estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2005), que é de 50%.

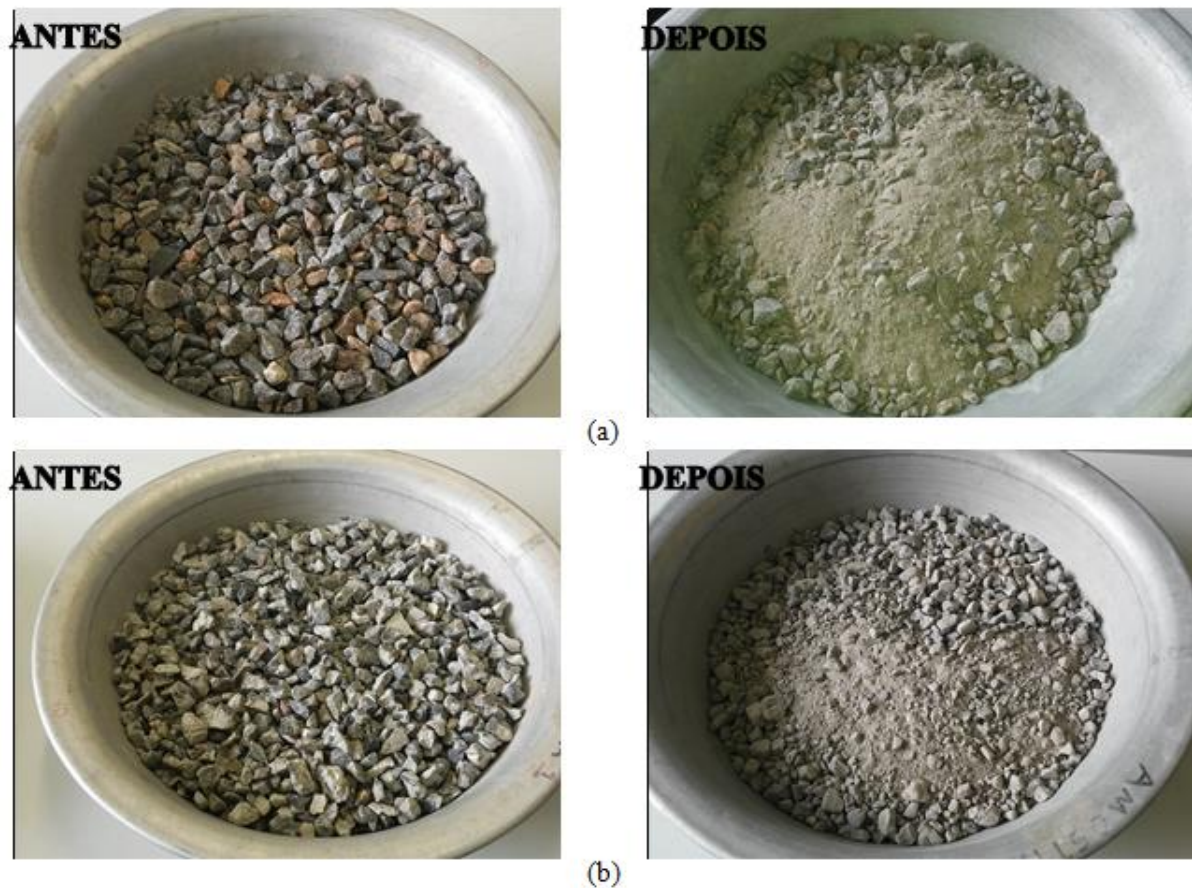


Figura 28: Amostra do agregado graúdo antes e depois do ensaio de abrasão “Los Angeles”: a) Agregado natural; b) Agregado reciclado

4.1.4 Aditivo

Para a produção de algumas das misturas de concreto foi necessária a utilização de um aditivo superplastificante, com a finalidade de reduzir a demanda de água e contribuir com a sua trabalhabilidade. O aditivo utilizado foi o Adiment da marca Vedacit, composto basicamente por resina melamina-formaldeído, com densidade de 1,12g/cm (informação fornecida pelo fabricante) e teor de sólidos de 19%. O teor de aditivo recomendado pelo fabricante varia entre 0,5 a 1,5%, sobre a massa de cimento.

4.1.5 Água

Utilizou-se água potável proveniente da rede de abastecimento da Universidade Estadual de Feira de Santana.

4.2 PARÂMETROS DE ESTUDO

As variáveis utilizadas como parâmetro de controle para o desenvolvimento do estudo de dosagem e produção dos concretos reciclados estão listadas a seguir:

- método de dosagem: foram utilizados dois métodos, o IPT/EPUSP e o ABCP;
- teor de agregado reciclado: o agregado graúdo reciclado de concreto foi usado em dois diferentes teores (20 e 40%) na proporção de agregados graúdos de cada traço;
- níveis de espalhamento: foram testados dois níveis de espalhamento medido na mesa de Graff (350 e 400mm).

4.3 DOSAGEM

O estudo de dosagem dos concretos reciclados foi realizado de acordo com os métodos IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1992) e ABCP (RODRIGUES, 1995). Para cada método foram produzidos 4 tipos de mistura, cada mistura foi identificada de acordo com o teor de agregado graúdo reciclado, e com o nível de espalhamento requerido (Figura 29). Para o método de dosagem do IPT/EPUSP as misturas foram produzidas com três diferentes relações cimento:agregados (1:m), conforme preconiza o método. No caso do método da ABCP foram produzidas misturas para alcançar resistências de dosagem de 25, 30 e 40 MPa, aos 28 dias de idade. Portanto, foram executados 12 traços de concreto reciclado, para cada um dos métodos propostos.

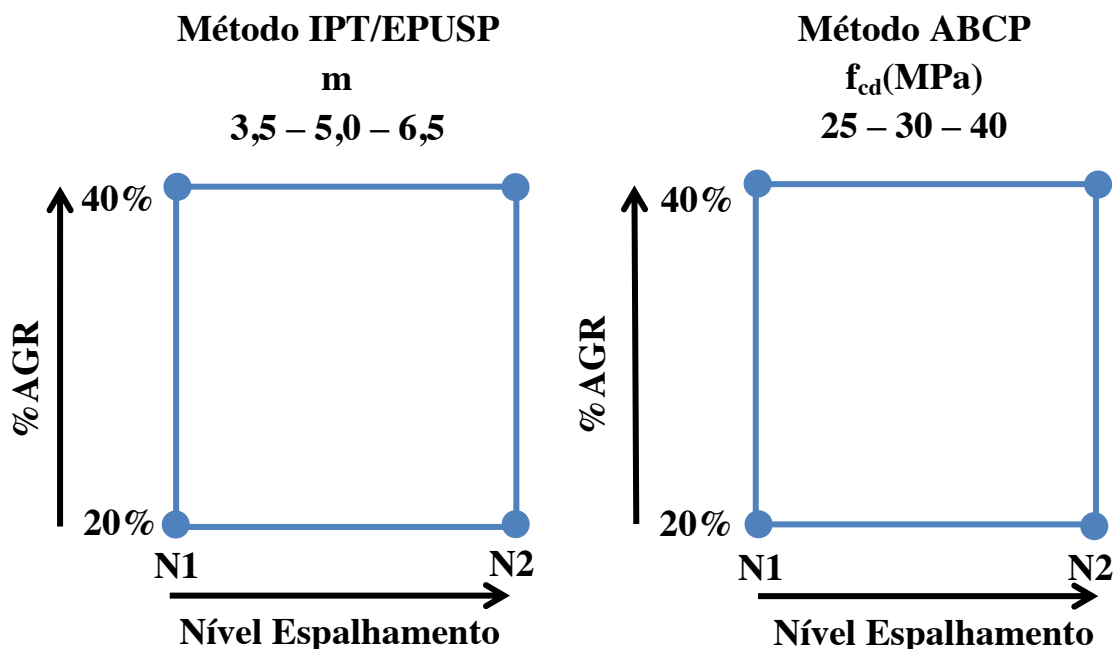


Figura 29: Representação das variáveis a serem estudadas para produção dos concretos reciclados, por método de dosagem.

A trabalhabilidade dos concretos foi medida através do espalhamento na mesa de Graff, prescrito pela NBR NM 68 (ABNT, 1998). Foram adotados dois intervalos de estudo, assim estabelecidos:

- N1 – espalhamento de 350 ± 20 mm;
- N2 – espalhamento de 400 ± 20 mm.

Os intervalos foram estabelecidos para obtenção de concretos de consistência plástica (N1) e concretos de consistência fluída (N2), conforme critérios estabelecidos por Leite *et al.* (2013).

4.3.1 Método de dosagem IPT/EPUSP

Essa metodologia é proposta no Manual de Dosagem e Controle do Concreto (HELENE; TERZIAN, 1992), que apresenta como resultado final um diagrama de dosagem. Este diagrama correlaciona resistência à compressão (f_c), a relação água/cimento (a/c), o teor de agregados secos (m) e o consumo de cimento (c) por metro cúbico de concreto.

A aplicação do método deu-se, primeiramente, pelo estudo experimental. A partir da determinação do teor ideal de argamassa (α) para o traço intermediário de 1:5,0, em massa. Os ajustes para a determinação de α foram realizados para alcançar misturas com os espalhamentos previamente especificados (Item 4.3). Durante essas determinações foram avaliados ainda aspectos como, homogeneidade, compacidade e a coesão das misturas. O teor ideal de argamassa foi determinado por tentativas e observações. De acordo com Helene e Terzian (1992), essa é uma fase importante no estudo de dosagem. Um baixo teor de argamassa numa mistura ocasiona maior porosidade ou o surgimento de falhas durante a concretagem. Por outro lado, o seu excesso pode causar fissuração de origem térmica ou fissuração devido a retração por secagem, causada pelo alto consumo de cimento, além de aumentar o custo final do concreto.

Com base no teor ideal de argamassa, obtido para o traço intermediário (1:5,0), foram calculados os traços auxiliares 1:3,5 (traço rico em cimento) e 1:6,5 (traço pobre em cimento). Além disso, foram obtidas duas relações água/cimento teóricas distintas, uma para cada traço, que foram previamente estimadas em função do H% (relação água/materiais secos) apresentado pelo traço 1:5,0. As misturas experimentais foram então produzidas, com o intuito de confirmar ou ajustar estas relações a/c , de modo a atingir o espalhamento preestabelecido (Item 4.3) para cada mistura.

Os traços obtidos através do estudo experimental descrito estão apresentados no Capítulo 5.

4.3.2 Método de dosagem ABCP

Esse é um método de dosagem experimental, desenvolvido pelo ACI (Instituto Americano de Concreto³) e adaptado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) às condições brasileiras, abrangendo a utilização de agregados que atendam aos limites especificados na NBR 7211 (ABNT, 2005).

A primeira etapa de aplicação do método deu-se pelo estudo teórico, através do qual foi definido o traço unitário, em massa, para cada mistura. Esse traço inicial foi obtido a partir de informações da caracterização dos materiais utilizados na produção dos concretos, e da utilização de quadros, ábacos, tabelas e equações fornecidas pelo método.

No estudo teórico considerou-se a produção de concretos com resistências de dosagem de 25, 30 e 40MPa e para atender aos critérios de durabilidade preconizados pela NBR 6118 (ABNT, 2014) foi considerado que os concretos seriam aplicados em ambientes urbanos, classe de agressividade II. Para esse ambiente a maior relação a/c permitida é de 0,60.

Além disso, foi necessário uma adaptação da metodologia indicada para a determinação do consumo de água das misturas, tendo em vista que o método recomenda a utilização do ensaio de abatimento do tronco de cone para medir de trabalhabilidade dos concretos. Porém, nesse estudo a trabalhabilidade dos concretos reciclados foi medida através do ensaio de espalhamento na mesa de Graff. Dessa forma, com base na Tabela 15, para um espalhamento de 350 ± 20 mm foi adotado um consumo de água de 200 l/m de concreto, e para um espalhamento de 400 ± 20 mm o consumo de água adotado foi de 205 l/m de concreto.

Tabela 15: Consumo de água aproximado (l/m)

	Abatimento (mm)	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (mm)				
		9,5	19	25	31,5	37,5
1	40 a 60	220	195	190	185	180
2	60 a 80	225	200	195	190	185
3	80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Adaptado de Rodrigues (1995)

Os resultados referentes a esta primeira etapa de aplicação do método estão apresentados na Tabela 16.

Porém, salienta-se que os valores encontrados nesta fase representam apenas uma estimativa teórica das proporções dos concretos. Conforme Neville (2015), a determinação exata das proporções de uma mistura de concreto de maneira essencialmente teórica geralmente não é possível, já que os materiais utilizados são, sobretudo, variáveis, e diversas de suas

³ Do original em inglês *American Concrete Institute (ACI)*.

propriedades não podem ser determinadas de maneira quantitativa. Em virtude disso, foi necessária a execução de misturas experimentais para a realização de ajuste dos traços teóricos encontrados.

É importante enfatizar ainda, que para esses traços, os valores obtidos para p_2 (proporção de agregado reciclado em massa, em relação à massa de cimento) não correspondem exatamente aos percentuais de 20 e 40% de p (proporção de agregado graúdo em massa, em relação à massa de cimento), como estabelecido no estudo experimental. Isso ocorre por que no método da ABCP os traços são definidos em função do consumo de materiais, que, no caso dos agregados, é determinado em função do seu volume na composição de 1m³ de concreto. Para o agregado graúdo, especificamente, o consumo de agregado é obtido pelo produto entre o volume de agregado graúdo e a sua massa unitária compactada. Dessa forma, foi possível observar uma redução do percentual de aplicação do agregado graúdo reciclado, uma vez que a massa unitária do agregado reciclado é 13% inferior a do agregado natural.

Os resultados do estudo experimental realizado a partir da dosagem pelo método da ABCP estão apresentados no Capítulo 5.

Tabela 16: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca, relação água/materiais secos, teor de pasta e consumo de materiais das misturas produzidas pelo método da ABCP – Estudo teórico

Mistura	AGR (%)	Traço						m	α (%)	H(%)	P(%)	Vc (%)	Aditivo (%)	Consumo de materiais (kg/m ³)					
		c	a ₁	a ₂	p ₁	p ₂	a/c							Cimento	AMN ₁	AMN ₂	AGN	AGR	Água
20%-N1	18	1	1,02	0,34	1,89	0,41	0,42	3,7	50	8,9	35,9	15,9	-	476	486	162	900	195	200
	18	1	1,42	0,47	2,34	0,51	0,52	4,7	51	9,1	32,8	12,8	-	385	547	181	901	196	200
	18	1	1,74	0,58	2,70	0,59	0,60	5,6	50	9,1	31,1	11,1	-	333	579	193	899	196	200
20%-N2	18	1	0,96	0,32	1,84	0,40	0,42	3,5	51	9,3	36,8	16,3	-	489	469	156	900	196	205
	18	1	1,35	0,45	2,28	0,49	0,52	4,6	50	9,3	33,7	13,1	-	394	532	177	898	193	205
	18	1	1,66	0,55	2,63	0,57	0,60	5,4	50	9,4	31,9	11,4	-	342	568	188	899	195	205
40%-N1	37	1	1,06	0,35	1,42	0,82	0,42	3,7	51	8,9	35,9	15,9	-	477	506	167	677	391	200
	37	1	1,48	0,49	1,76	1,01	0,52	4,7	52	9,1	32,8	12,8	-	385	566	189	678	389	200
	37	1	1,80	0,60	2,03	1,17	0,60	5,6	52	9,1	31,1	11,1	-	333	599	200	676	390	200
40%-N2	37	1	1,00	0,33	1,38	0,80	0,42	3,5	52	9,3	36,8	16,3	-	489	489	161	675	391	205
	37	1	1,40	0,46	1,71	0,99	0,52	4,6	51	9,3	33,7	13,1	-	394	552	181	674	390	205
	37	1	1,71	0,57	1,98	1,14	0,60	5,4	51	9,4	31,9	11,4	-	342	585	195	677	390	205

Nota: AGR - teor final de agregado graúdo reciclado; a₁- agregado miúdo natural fino; a₂ - agregado miúdo natural grosso; p₁ – agregado graúdo natural; p₂ - agregado graúdo reciclado; a/c - relação água/cimento; m – teor de agregados secos; α – teor de argamassa; H – relação água/materiais secos; P–teor de pasta; Vc – volume de cimento.

4.4 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Os concretos foram produzidos utilizando-se uma betoneira de eixo inclinado com capacidade de 320 litros. A sequência e o tempo de mistura foram realizados conforme estabelecido no método descrito por Tam *et al.* (2005) e identificado na Figura 20, do Item 3.3.

4.5 PROPRIEDADES AVALIADAS

Além da trabalhabilidade, os concretos foram avaliados quanto a resistência à compressão axial, que foi determinada de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007b). Para cada mistura foram produzidos 8 corpos de prova cilíndricos (100mm de diâmetro x 200mm de altura), moldados, adensados e curados de acordo as prescrições da NBR 5738 (ABNT, 2007a). Aos 7 e 28 dias foram ensaiados à compressão axial 4 corpos de prova/idade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DOSAGEM E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Os procedimentos realizados durante a dosagem experimental tiveram como objetivo a determinação da composição de cada mistura com base nos parâmetros estabelecidos. Para isso, foi necessário a realização de ajustes, de modo a garantir que as propriedades requeridas dos concretos no estado fresco e endurecido fossem alcançadas. Deste modo, como resultado desse estudo foram obtidos os traços definitivos para a produção dos concretos reciclados, tendo como base a metodologia proposta em cada um dos métodos de dosagem utilizados, como descrito nos Itens 4.3.1 e 4.3.2.

5.1.1 Resultados da dosagem usando o método IPT/EPUSP

Para o método do IPT/EPUSP, a determinação dos traços foi realizada com a definição prévia do teor ideal de argamassa (α) para o traço intermediário, 1:5,0, em massa. Na Figura 30 pode ser visualizado o aspecto do concreto ao variar o teor ideal de argamassa para uma mistura com 20% de AGR, e um espalhamento de $350 \pm 20\text{mm}$ (N1). Para um teor de argamassa de 49%, observou-se um concreto com uma superfície porosa e heterogênea (Figura 30a), indicando falta de argamassa, verificando-se ainda que com esse teor não foi possível atingir o espalhamento requerido. Com o aumento de α para 51% observou-se melhoria no aspecto do concreto, que apresentou uma superfície compacta e mais homogênea (Figura 30b), sendo este teor escolhido como o ideal para essa mistura. Após o alcance do teor ideal de argamassa, foram determinadas as relações a/c e teor de superplastificante das misturas, necessários para obtenção dos níveis de espalhamento requeridos na mesa de Graff (Item 4.3).

Para todos os traços produzidos foi utilizado o aditivo redutor de água, de modo a alcançar a trabalhabilidade requerida sem que fosse necessário aumentar excessivamente a quantidade final de água das misturas, o que traria grandes prejuízos as propriedades dos concretos reciclados no estado endurecido.

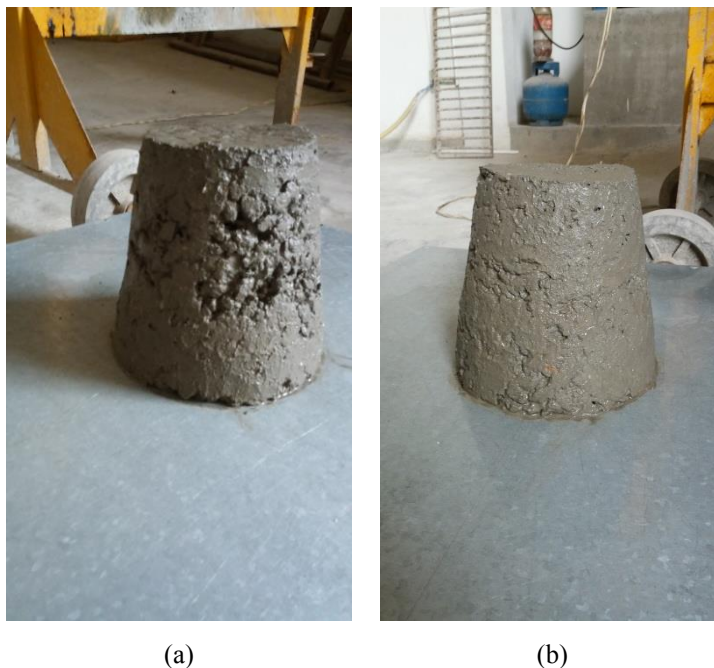


Figura 30: Aspecto dos concretos durante a determinação do teor ideal de argamassa da mistura 20%AGR-N1:
a) Teor de argamassa inicial = 49%; b) Teor ideal de argamassa = 51%

Em seguida, foram executados os ajustes dos traços auxiliares (1:3,5 e 1:6,5) para cada família de concreto. Observou-se, que para que fosse alcançada a trabalhabilidade desejada, medida pelo espalhamento na mesa de Graff, para esses traços, foi necessária alteração de suas relações a/c, aumentando ou reduzindo o teor de água das misturas. Esse comportamento foi observado para todas as misturas produzidas. Os traços obtidos nesta etapa estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca, relação água/materiais secos, teor de pasta, consumo de materiais e resultados de espalhamento das misturas produzidas pelo método do IPT/EPUSP

Mistura	Traço						m	α (%)	H(%)	P(%)	Vc (%)	Aditivo (%)	Consumo de materiais (kg/m ³)						Espalhamento (mm)
	c	a ₁	a ₂	p ₁	p ₂	a/c							Cimento	AMN ₁	AMN ₂	AGN	AGR	Água	
20%-N1	1	0,98	0,32	1,76	0,44	0,41	3,5	51	9,1	36,6	16,4	0,3	493	483	158	868	217	202	350
	1	1,55	0,51	2,35	0,59	0,50	5,0	51	8,3	31,2	12,5	0,3	374	580	191	879	221	187	350
	1	2,12	0,71	2,94	0,73	0,62	6,5	51	8,3	28,4	9,9	0,3	298	632	212	876	218	185	345
20%-N2	1	1,01	0,33	1,73	0,43	0,42	3,5	52	9,3	36,9	16,3	0,4	490	495	162	848	211	206	385
	1	1,59	0,53	2,30	0,58	0,51	5,0	52	8,5	31,4	12,4	0,4	372	592	197	856	216	190	395
	1	2,18	0,72	2,88	0,72	0,63	6,5	52	8,4	28,6	9,9	0,4	297	648	214	855	214	187	390
40%-N1	1	1,04	0,35	1,27	0,84	0,41	3,5	53	9,1	36,6	16,4	0,4	492	512	172	625	413	202	355
	1	1,64	0,54	1,69	1,13	0,52	5,0	53	8,7	31,5	12,3	0,4	370	607	200	625	418	192	370
	1	2,23	0,75	2,11	1,41	0,64	6,5	53	8,5	28,8	9,9	0,4	296	660	222	625	417	189	360
40%-N2	1	1,07	0,36	1,24	0,83	0,42	3,5	54	9,3	36,8	16,3	0,5	489	523	176	606	406	205	405
	1	1,68	0,56	1,66	1,10	0,54	5,0	54	9,0	32,0	12,2	0,5	367	617	206	609	404	198	405
	1	2,29	0,76	2,07	1,38	0,65	6,5	54	8,7	29,0	9,8	0,5	295	676	224	611	407	192	400

Nota: a₁- agregado miúdo natural fino; a₂- agregado miúdo natural grosso; p₁ - agregado graúdo natural; p₂ - agregado graúdo reciclado; a/c - relação água/cimento; m - teor de agregados secos; α - teor de argamassa; H - relação água/materiais secos; P - teor de pasta; Vc - volume de cimento.

Os resultados mostram que o teor de argamassa seca aumenta com o aumento do teor de agregado reciclado, e com o nível de espalhamento das misturas. Esse comportamento pode ser atribuído à textura mais rugosa e forma mais irregular do agregado reciclado. Essas características provocam um efeito de travamento entre grãos do agregado, reduzindo a mobilidade das misturas, e por isso necessitando de maior teor de argamassa para envolver os grãos e melhorar o comportamento das misturas. Esse comportamento também foi observado nos trabalhos de Amario (2015) e Rodrigues e Fucale (2014).

Observa-se que o aumento do teor de argamassa apontado anteriormente, não provocou, necessariamente, o aumento do consumo de cimento por metro cúbico de concreto, para misturas produzidas com maior teor de agregados reciclados e maior nível de espalhamento. Isso ocorreu por consequência do aumento da relação a/c, evitando assim o maior consumo de cimento dessas misturas, o que resulta positivamente no custo e em algumas propriedades do concreto no estado endurecido, embora seja importante ressaltar o efeito prejudicial do aumento da relação a/c na resistência do concreto.

O aumento dos teores do AGR e dos níveis de espalhamento provocou, também, o aumento da relação a/c e do teor de aditivo SP dos concretos. Esse resultado era esperado em virtude da maior capacidade de absorção de água apresentada pelos agregados reciclados, que aumentam a demanda de água das misturas. Entretanto, observa-se que concretos com traços ricos em cimento (1:3,5) apresentaram a mesma relação a/c, independente do teor de agregado gráudo reciclado. O maior teor de pasta combinado com o uso do aditivo superplastificante, que proporciona um efeito lubrificante nas partículas dos agregados, pode ter contribuído para trabalhabilidade dessas misturas, reduzindo o efeito prejudicial do material reciclado nessa propriedade. Chidiac *et al.* (2000) explicam que, além de ser influenciada por fatores como teor de água e características dos agregados, a trabalhabilidade do concreto também será intensamente afetada pela quantidade e plasticidade da pasta de cimento. Adicionalmente, Vieira *et al.* (2005) afirmam que a trabalhabilidade desejada pode ser alcançada, também, pelo completo envolvimento dos agregados pela pasta de cimento, uma vez que a pasta funciona como um lubrificante para evitar o travamento dos grãos.

5.1.2 Resultados da dosagem usando o método da ABCP

Durante realização do estudo experimental, a partir do estudo teórico utilizando o método de dosagem da ABCP, observou-se que as misturas apresentavam-se pouco homogêneas e sem coesão (Figura 31), para teores de argamassa que variavam de 50 a 52% (Tabela 16). Desse modo, o teor de argamassa dessas misturas foi alterado com o aumento do consumo de areia, tendo em vista que o método utilizado fornece traços com baixos consumos de agregado miúdo (Tabela 16). Além disso, o estudo experimental permitiu observar que:

- mesmo com o aumento do teor de argamassa, e melhoria do aspecto das misturas, estas apresentavam leve tendência a exsudação, demonstrando um certo excesso de água presente nos concretos (Figura 32b), o que pode ter sido consequência da maior faixa de trabalhabilidade adotada para estabelecer o consumo de água inicial das misturas, como apresentado no Item 4.3.2;
- os limites estabelecidos para o espalhamento foram superados em função da elevada fluidez;
- adicionalmente foi possível verificar também o excesso de pasta em algumas misturas produzidas.

Optou-se então por reduzir o consumo de água e de cimento, mantendo fixa a relação a/c dessas misturas, uma vez que havia o interesse em avaliar a resistência dos concretos com a relação a/c fornecida pelo método. E a simples redução do consumo de água para reduzir o espalhamento iria modificar a relação a/c previamente estabelecida. Logo, a redução do teor de pasta reduziu a fluidez dos concretos, além disso, diminuiu a exsudação das misturas, por consequência da redução do teor de água. Concomitantemente, a redução do teor de pasta provocou a diminuição do consumo de cimento, resultando positivamente no custo do concreto e nas propriedades no estado endurecido.

Deve-se salientar que durante o estudo experimental não foi realizada a modificação nos valores de p (proporção de agregado graúdo em massa, em relação à massa de cimento) através do aumento ou redução do consumo do agregado graúdo. Portanto, as reduções nos percentuais de agregado reciclado, apontadas no Item 4.3.2, foram mantidas. O que resultou em menores consumos de material reciclado para as misturas produzidas pelo método da ABCP, quando comparada as misturas produzidas pelo método do IPT/EPUSP.

As proporções encontradas para cada uma das misturas, após o ajuste realizado no estudo experimental, estão apresentadas na Tabela 18.



Figura 31: Ensaio de espalhamento da mistura com fcd de 25MPa-20%AGR-N1, com traço inicial na qual observa-se falta de coesão e segregação da mistura



Figura 32: Aspectos das misturas de concreto reciclado durante o estudo experimental - traço fcd 25MPa-20%AGR-N2: a) Teor de argamassa inicial = 50%; b) Teor ideal de argamassa = 52%, apresentando leve exsudação de água

Tabela 18: Traços unitários, em massa, teor de argamassa seca, relação água/materiais secos, teor de pasta e consumo de materiais das misturas – Estudo experimental do método ABCP

Mistura	AGR (%)	Traço						m	α (%)	H(%)	P(%)	Vc(%)	Aditivo (%)	Consumo de materiais (kg/m ³)					Espalhamento (mm)	
		c	a ₁	a ₂	p ₁	p ₂	a/c							Cimento	AMN ₁	AMN ₂	AGN	AGR		Água
20%-N1	18	1	1,10	0,36	1,93	0,42	0,42	3,8	51	8,8	35,0	15,5	-	464	510	167	896	195	195	350
	18	1	1,73	0,56	2,57	0,56	0,52	5,4	51	8,1	30,0	11,7	-	351	607	197	902	197	183	360
	18	1	2,08	0,69	2,94	0,64	0,60	6,4	51	8,1	28,5	10,2	-	305	634	210	897	195	183	355
20%-N2	18	1	1,04	0,34	1,81	0,39	0,42	3,6	52	9,1	36,4	16,1	-	483	502	164	874	188	203	385
	18	1	1,48	0,49	2,28	0,49	0,52	4,7	52	9,1	32,8	12,8	-	385	570	189	878	189	200	395
	18	1	1,95	0,65	2,70	0,58	0,60	5,9	52	8,7	30,0	10,7	-	322	628	209	869	187	193	415
40%-N1	37	1	1,13	0,37	1,42	0,82	0,42	3,7	53	8,9	35,3	15,6	-	469	530	174	666	385	197	345
	37	1	1,77	0,59	1,87	1,08	0,52	5,3	53	8,3	30,3	11,8	-	355	628	209	664	383	185	340
	37	1	2,17	0,72	2,16	1,25	0,60	6,3	53	8,2	28,6	10,2	-	306	664	220	661	383	184	370
40%-N2	37	1	1,08	0,36	1,32	0,76	0,42	3,5	54	9,3	36,7	16,3	0,4	487	526	175	643	370	205	390
	37	1	1,56	0,52	1,64	0,95	0,52	4,7	54	9,1	33,1	12,9	-	388	605	202	636	369	202	415
	37	1	1,99	0,66	1,98	1,14	0,60	5,8	54	8,8	30,5	10,9	-	326	649	215	645	372	196	400

Nota: AGR– teor final de agregado graúdo reciclado; a₁- agregado miúdo natural fino; a₂– agregado miúdo natural grosso; p₁ – agregado graúdo natural; p₂– agregado graúdo reciclado; a/c – relação água/cimento; m – teor de agregados secos; α – teor de argamassa; H – relação água/materiais secos; P–teor de pasta; Vc – volume de cimento.

Com a análise da Tabela 18 é possível verificar que, assim como ocorreu com concretos produzidos pelo método do IPT/EPUSP, há um aumento do teor ideal de argamassa relacionado ao aumento do percentual de agregado reciclado e do nível de espalhamento das misturas. Nesse caso, comparado aos traços obtidos no estudo teórico em que os teores de α variavam entre 50 e 52% (Tabela 16), houve um aumento de até 3% do teor de argamassa para algumas misturas, os maiores aumentos foram, de modo geral, observados em misturas com maior nível de espalhamento e maior teor de AGR. Além disso, para uma mesma relação a/c, observa-se que a relação água/materiais secos (H%) das misturas também aumenta com o aumento do nível de espalhamento e o teor de material reciclado dos concretos. Esses resultados já eram esperados em virtude das características do agregado reciclado, como já mencionadas, forma irregular, textura rugosa e elevada capacidade de absorção de água.

Verifica-se que, de modo geral, não foi necessária a utilização do aditivo superplastificante nas misturas dosadas pelo método da ABCP, para que fosse alcançado o espalhamento desejado, exceto para a mistura 40%AGR-N2 para um f_{cd} de 40MPa. É possível notar que, quando comparado aos concretos produzidos pelo método do IPT/EPUSP, estas misturas apresentam menor consumo de agregado reciclado (17 e 38%), reduzindo assim a influência deste material na trabalhabilidade dos concretos. E em alguns casos verifica-se também, para estas misturas, menor teor de agregados secos (m), e por consequência maior relação água/materiais secos (H%), o que justifica a maior fluidez dos concretos produzidos por este método. Para a mistura 40%AGR-N2-40MPa, o aumento do teor de AGR associado ao aumento do nível de espalhamento, que tendem a aumentar a demanda de água das misturas, pode justificar a necessidade do uso do aditivo.

Como esperado, o aumento do teor de argamassa seca, para uma relação a/c fixa, resultou no aumento do consumo de cimento das misturas produzidas com maior teor de agregado reciclado e maior nível de espalhamento.

5.1.3 Considerações sobre os métodos de dosagem

Com o intuito de examinar comparativamente os métodos utilizados, foram avaliados parâmetros relacionados à capacidade de adequação destes métodos à dosagem dos concretos reciclados, avaliando as vantagens e limitações de cada um dos métodos.

O método do IPT/EPUSP, apresentando-se como um método fundamentalmente experimental, no qual a determinação do teor ideal de argamassa e posteriormente do traço foram realizadas de maneira prática, permitiu proporções mais precisas e condizentes com as características dos agregados utilizados. Evitando, portanto, dosagens de misturas com falta

ou excesso de argamassa, e evitando ainda a necessidade de maiores ajustes dos traços encontrados. Adicionalmente, a determinação do consumo de água de forma experimental sofreu a influência da utilização de aditivos redutores de água na definição da relação a/c das misturas, possibilitando a sua redução. O que produz efeitos positivos sobre as propriedades mecânicas do concreto.

Por outro lado, o método da ABCP, apesar de oferecer um estudo teórico inicial de fácil aplicação, proporcionou traços iniciais condicionados a tabelas e quadros que não contemplam a influência de algumas características qualitativas dos agregados utilizados, principalmente do agregado reciclado, como por exemplo, forma, textura e capacidade de absorção, sobre as propriedades do concreto. E por isso, as proporções inicialmente encontradas nesse estudo teórico apresentaram necessidade de grandes ajustes. Além disso, a fixação da relação a/c com base na resistência e durabilidade dos concretos limitou sua adequação aos parâmetros de trabalhabilidade das misturas.

Dessa forma, é possível inferir que do ponto de vista da adequabilidade a dosagem de concretos reciclados, o método do IPT/EPUSP, utilizando como medida de trabalhabilidade o espalhamento medido na mesa de Graff, apresentou-se mais exequível, uma vez que o maior trabalho dispensado aos ajustes dos traços obtidos pelo método da ABCP pode dificultar sua aplicabilidade à utilização proposta.

Todavia, salienta-se que a comparação feita neste item diz respeito a aspectos relacionados ao processo de dosagem, e que a escolha do melhor método deve ser pautada também nas propriedades dos concretos produzidos, discutidas a seguir.

5.1.4 Considerações sobre a produção e trabalhabilidade das misturas

Os resultados de trabalhabilidade obtidos mostram a eficiência do ensaio de espalhamento como parâmetro de controle da trabalhabilidade na dosagem e produção do concreto reciclado, tendo sido possível alcançar as faixas de espalhamento estabelecidas com os ajustes realizados para ambos os métodos de dosagem. Nesse ensaio, a energia de vibração imposta ao material reduz o atrito interno e a viscosidade das misturas, aumentando a mobilidade das mesmas. Evidenciando assim, que o travamento provocado pela textura rugosa e forma irregular do agregado reciclado pode ser minimizado com a aplicação de um ensaio dinâmico. Portanto, como apontado por Leite (2001), pode-se afirmar que a introdução de uma componente dinâmica ao sistema de medição da trabalhabilidade dos concretos reciclados, permite uma melhor avaliação do comportamento desses concretos no estado fresco. Salienta-se ainda que, conforme observado por Leite *et al.* (2013), assim como no ensaio de

abatimento do tronco de cone, o equipamento utilizado para o ensaio de espalhamento na mesa de Graff pode ser considerado simples e de fácil manuseio, além de apresentar pouca influência do operador na obtenção dos resultados. E por isso, torna-se perfeitamente aplicável aos canteiros de obras.

Os resultados alcançados também podem ser atribuídos ao método de mistura utilizado na produção dos concretos. A redução da capacidade de absorção de água do agregado reciclado, consequência do procedimento de mistura em duas etapas proposto por Tam *et al.* (2005), pode ter reduzido a influência negativa dessa característica sobre a trabalhabilidade das misturas. Além disso, para algumas misturas, o uso do superplastificante contribuiu para a melhoria da trabalhabilidade. A maior da trabalhabilidade do concreto, promovida pela incorporação de aditivos redutores de água, é obtida através da desfloculação e dispersão das partículas de cimento. O que permite a liberação da água aprisionada em um sistema anteriormente floculado, fornecendo maior quantidade de água livre à mistura sem o aumento da relação a/c (NEVILLE, 2015).

Nas Figuras 33 e 34 pode ser visualizado o aspecto dos concretos durante a execução do ensaio de espalhamento na mesa de Graff. É possível verificar que as misturas apresentaram-se coesas, e com pouca ou nenhuma segregação durante a realização do ensaio. Tais aspectos comprovam que os concretos apresentaram-se trabalháveis, uma vez que, como destacado por Figueirêdo Filho (2011), esse ensaio mostra-se mais sensível a questões relacionadas com a falta de coesão e segregação das misturas, quando estas possuem baixa ou muito baixa trabalhabilidade.

Foi possível observar ainda que as misturas mantiveram-se homogêneas durante os procedimentos de lançamento e adensamento, apresentando também facilidade no processo de acabamento da superfície dos concretos. No entanto, cabe salientar que durante o processo de moldagem dos corpos de prova optou-se pela realização do adensamento em duas camadas, com o intuito de garantir maior compacidade para os concretos produzidos. Além disso, vale ressaltar que durante a produção dos concretos foi possível observar uma perda de argamassa, que fica aderida aos equipamentos utilizados. Dessa forma, sugere-se, conforme preconiza o método IPT/EPUSP, um acréscimo de 2% no teor de argamassa final dos traços a serem utilizados para a produção dos concretos reciclados.

A partir da análise visual dos concretos nota-se que misturas produzidas com o método do IPT/EPUSP, para um mesmo nível de espalhamento, apresentam-se semelhantes no que tange a medidas qualitativas como homogeneidade e coesão, independente dos valores de espalhamento obtidos (Figura 33a e 33b ou Figura 33c e 33d).

Por outro lado, para concretos produzidos pelo método da ABCP, percebe-se que misturas plásticas (N1), Figura 34a e 34b, com valores de espalhamento abaixo de 360mm apresentaram uma tendência a manutenção da forma tronco-cônica, mostrando-se, aparentemente, mais coesas que as demais misturas. Apesar disso, não foi possível observar qualquer dificuldade para a execução do adensamento dessas misturas.



Figura 33: Aspecto dos concretos no ensaio de espalhamento na mesa de Graff, para misturas produzidas pelo método IPT/EPUSP: a) 20%AGR-N1; b) 40%AGR-N1; b) 20%AGR-N2; d) 40%AGR-N2

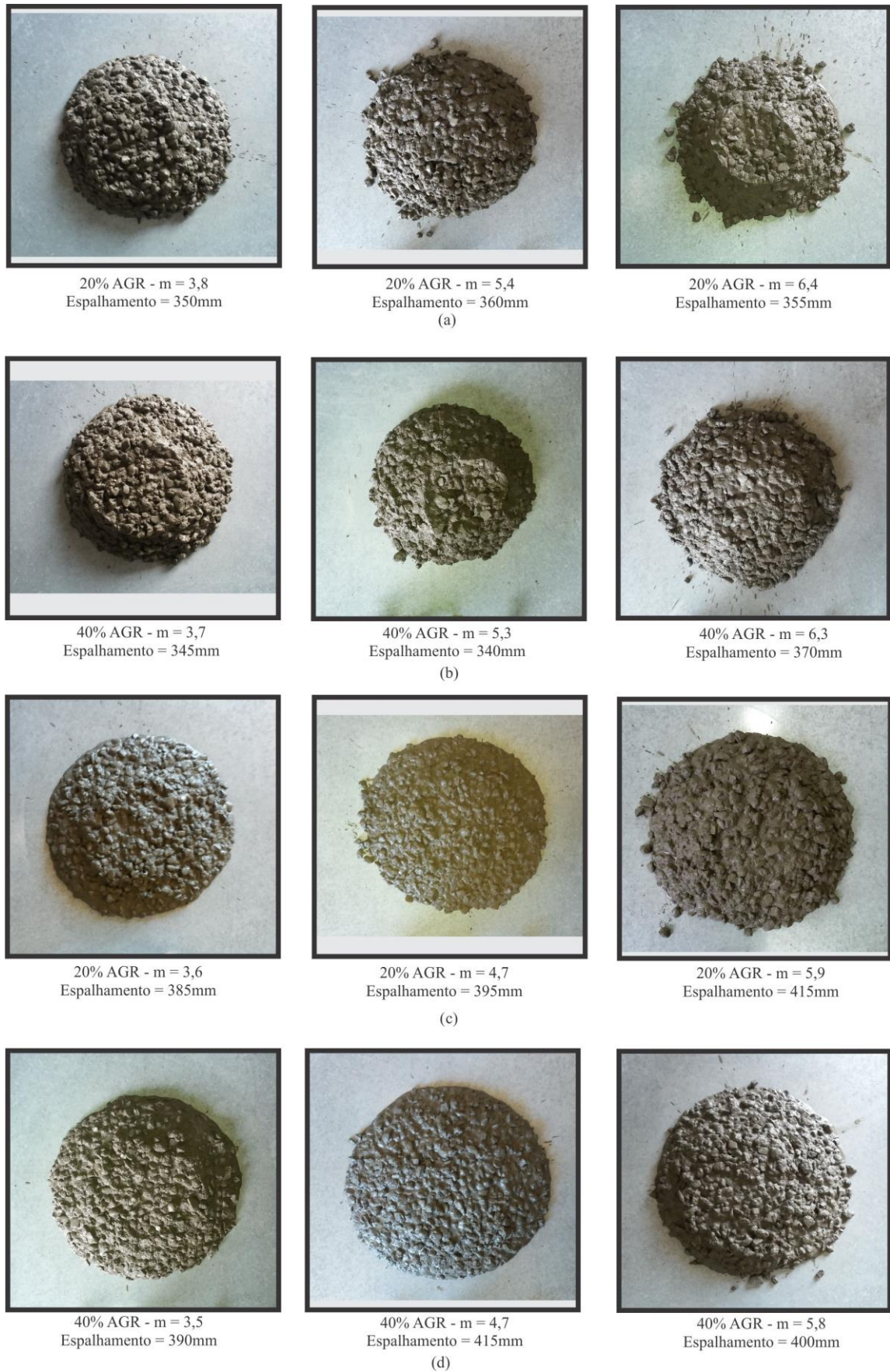


Figura 34: Aspecto dos concretos no ensaio de espalhamento na mesa de Graff, para misturas produzidas pelo método ABCP: a) 20%AGR-N1; b) 40%AGR-N1; b) 20%AGR-N2; d) 40%AGR-N2

5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A resistência à compressão axial é uma das propriedades mais importantes para a avaliação do desempenho mecânico de uma estrutura, pois serve de parâmetro para a análise de outras propriedades do concreto, tais como resistência à tração, módulo de elasticidade e durabilidade. Por isso é a propriedade mais representativa na avaliação da qualidade do concreto no estado endurecido. No concreto convencional, os parâmetros de maior influência na resistência à compressão são a relação a/c e o grau de hidratação. Porém, quando o concreto reciclado é produzido, o teor e a qualidade do agregado reciclado tornam-se fatores adicionais e fundamentais na análise dessa propriedade.

5.2.1 Método de dosagem IPT/EPUSP

Os resultados da resistência à compressão dos concretos produzidos com o método de dosagem do IPT/EPUSP estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19: Resultados de resistência à compressão dos concretos produzidos com o método IPT/EPUSP

Mistura	m	fcm ±Sd (CV)	
		MPa ±MPa (%)	
		7 dias	28 dias
20%-N1	3,5	34,7±0,3(0,9)	47,3±1,5(3,2)
	5,0	32,0±0,7(2,3)	38,6±1,6(4,2)
	6,5	21,6±0,4(1,8)	25,9±0,8(3,1)
20%-N2	3,5	36,2±0,3(0,8)	44,2±1,4(3,1)
	5,0	30,4±0,9(3,0)	37,6±1,1(2,8)
	6,5	23,1±1,3(5,6)	26,5±1,0(3,6)
40%-N1	3,5	39,9±1,4(3,5)	45,2±1,1(2,4)
	5,0	31,5±1,1(3,5)	36,1±1,2(3,2)
	6,5	21,5±0,8(3,6)	27,5±1,0(3,8)
40%-N2	3,5	38,9±0,6(1,5)	47,4±1,7(3,6)
	5,0	31,3±0,6(2,0)	34,8±1,3(3,7)
	6,5	21,1±0,9(4,3)	27,5±0,2(0,5)

Nota: fcm - resistência média à compressão (MPa); sd - desvio padrão (MPa) ; cv -coeficiente de variação (%)

As resistências à compressão apresentadas na Tabela 19 representam a média de três resultados individuais por idade. Para algumas misturas, em algumas idades havia apenas três resultados, como pode ser visto na Tabela 36 do Apêndice 1. Por isso, para efeito de comparação do comportamento quanto a resistência à compressão, foram considerados apenas

os três resultados mais próximos da resistência média para todas as misturas, tornando a amostra mais adequada a análise que é apresentada nos itens a seguir.

5.2.1.1 Diagramas de dosagem

Com base nos resultados da dosagem e dos ensaios de resistência à compressão, realizado nos corpos de prova moldados com as misturas produzidas, foram traçados diagramas de dosagem dos concretos estudados, que podem ser visualizados na Figura 35 e Figura 36, para os concretos com 20 e 40% de AGR, respectivamente.

De um modo geral, observa-se que para quaisquer dos teores de AGR (20 e 40%) estudados, foi possível obter concretos com resistência média à compressão, aos 28 dias de idade, variando numa faixa de cerca de 27 a 45 MPa, para os concretos dosados pelo método IPT/EPUSP.

Além disso, com base no diagrama de dosagem verifica-se que, para ambos os teores de AGR, as maiores diferenças entre os consumos de cimento, entre misturas plásticas (N1) e fluidas (N2), são verificadas para concretos com resistência à compressão de 40MPa (Tabela 20). Para concretos produzidos com 20% de AGR, misturas fluidas demandam um aumento de 18kg no consumo total de cimento por metro cúbico para alcançar a resistência apontada (40MPa), quando comparado a misturas plásticas. De forma inversa, nos concretos produzidos com 40% de AGR, as misturas fluidas apresentaram menor consumo de cimento (408kg/m³) que misturas produzidas para uma consistência plástica (419kg/m³) (Tabela 21).

Por outro lado, para resistências abaixo de 40MPa, as diferenças entre os consumos de cimento, para misturas com diferentes níveis de espalhamento, tendem a ser atenuadas. Com variações máximas, entre misturas plásticas e fluidas, em torno de 6 e 4kg/m³ para concretos produzidos com 20 e 40% de AGR, respectivamente. Nesse caso, não é possível perceber maiores influências do nível de espalhamento, ou seja, da consistência, no consumo de cimento das misturas. Esse comportamento pode influenciar positivamente as propriedades do concreto, uma vez que permite a produção de misturas mais fluidas, proporcionando melhor adensamento e, conseqüentemente, melhoria das propriedades do concreto no estado endurecido, sem grandes aumentos do custo final da mistura.

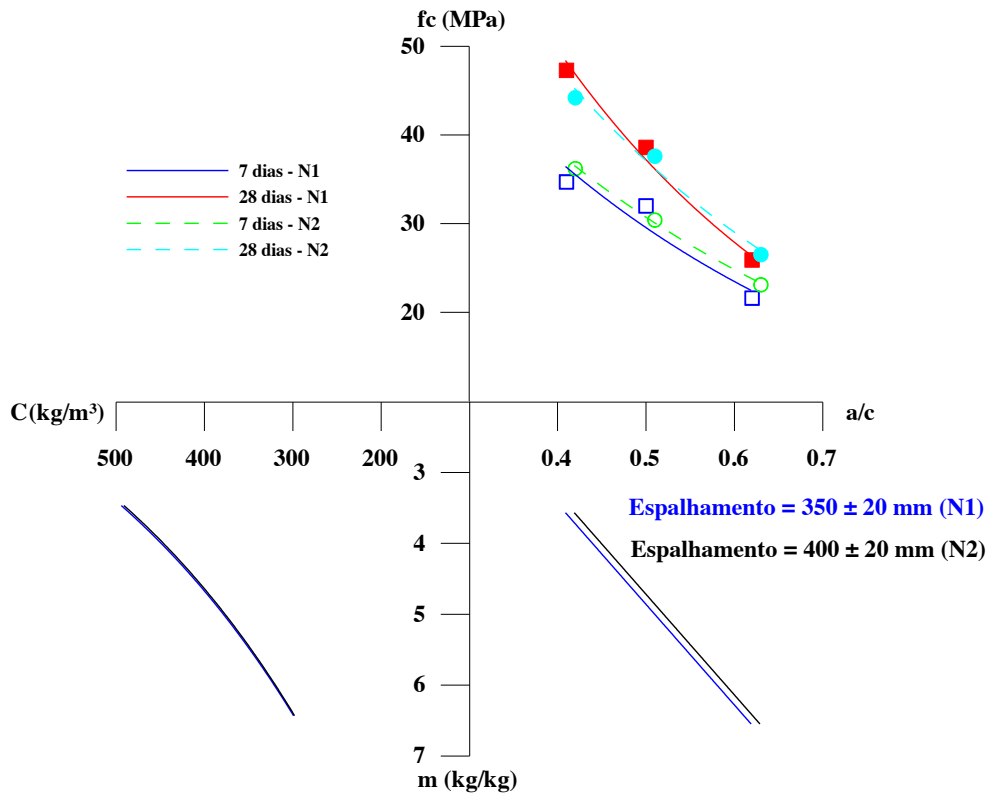


Figura 35: Diagrama de dosagem dos concretos produzidos com 20% de AGR - método IPT/EPUSP

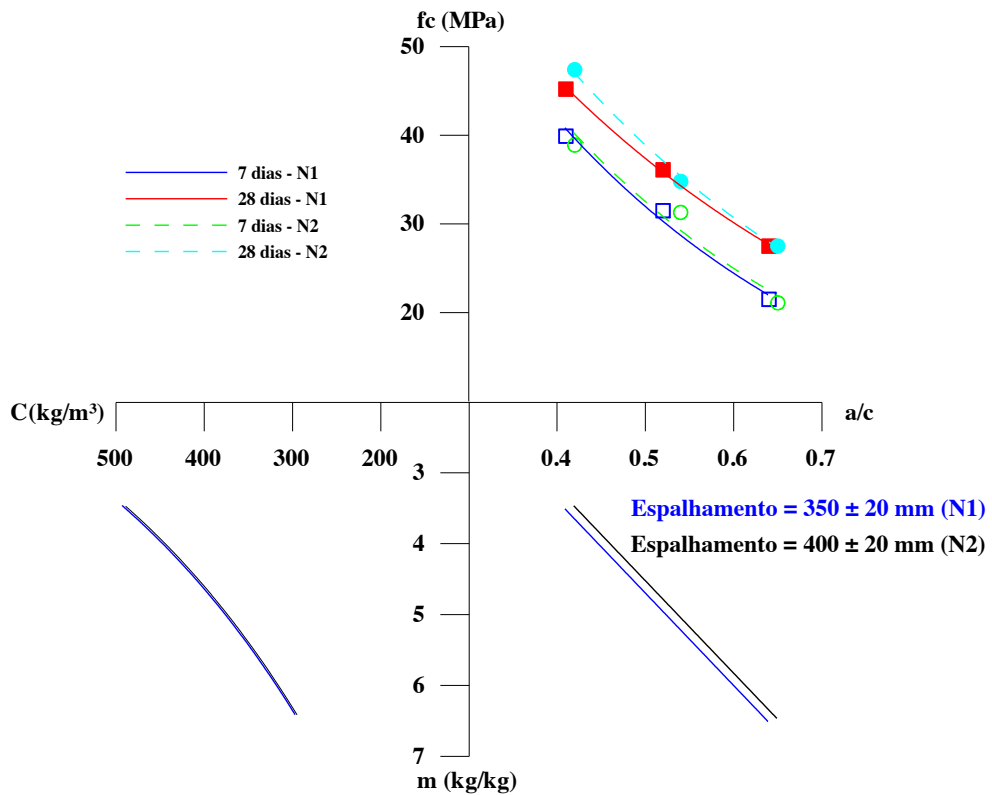


Figura 36: Diagrama de dosagem dos concretos produzidos com 40% de AGR - método IPT/EPUSP

Tabela 20: Consumo de cimento por m³ de concreto para misturas produzidas com 20% de AGR- método IPT/EPUSP

fc ₂₈ (MPa)	Nível de espalhamento	Relação a/c	C _{cimento} (kg/m ³)
40	N1	0,48	400
	N2	0,47	418
35	N1	0,52	366
	N2	0,52	371
30	N1	0,57	324
	N2	0,59	318

Tabela 21: Consumo de cimento por m³ de concreto para misturas produzidas com 40% de AGR- método IPT/EPUSP

fc ₂₈ (MPa)	Nível de espalhamento	Relação a/c	C _{cimento} (kg/m ³)
40	N1	0,47	419
	N2	0,49	408
35	N1	0,53	364
	N2	0,54	368
30	N1	0,60	317
	N2	0,61	316

5.2.1.2 Análise estatística

Os resultados de resistência à compressão dos concretos dosados pelo método IPT/EPUSP (Apêndice 1, Tabela 36) foram avaliados estatisticamente, utilizando-se a ANOVA. As variáveis analisadas estatisticamente foram: teor de AGR, nível de espalhamento, relação a/c e idade. Nas Tabelas 22 e 23 estão apresentadas as análises da influência dos fatores estudados e suas possíveis interações sobre a resistência à compressão.

Tabela 22: Resultados da ANOVA para a resistência à compressão quando avaliadas as variáveis teor de AGR, relação a/c e idade- Método IPT/EPUSP

Fator	GDL	MQ	Fcalculado	F0,05	Significância
A - Teor de AGR	1	3,00	1,98	4,001	NS
B – Relação a/c	2	1825,80	1206,32	3,150	S
C – Idade	1	726,44	479,96	4,001	S
AB	2	18,41	12,17	3,150	S
AC	1	7,41	4,90	4,001	S
BC	2	23,20	15,33	3,150	S
ABC	2	14,87	9,83	3,150	S
ERRO	60	1,51			

Nota: GDL – Graus de Liberdade; MQ – Media Quadrada; Fcalculado – Valor calculado de F; F0,05 – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5%; S – Significativo; NS – Não Significativo

Como era de se esperar, os fatores relação a/c e idade apresentaram influência significativa sobre os resultados de resistência à compressão. Bem, como a interação entre esses dois fatores. A Figura 37 mostra essa influência.

Tabela 23: Resultados da ANOVA para a resistência à compressão quando avaliadas as variáveis nível de espalhamento, relação a/c e idade – Método IPT/EPUSP

Fator	GDL	MQ	Fcalculado	F0,05	Significância
A – Nível de espalhamento	1	0,96	0,36	4,001	NS
B – Relação a/c	2	1825,80	687,88	3,150	S
C – Idade	1	726,44	273,69	4,001	S
AB	2	3,36	1,27	3,150	NS
AC	1	0,66	0,25	4,001	NS
BC	2	23,20	8,74	3,150	S
ABC	2	0,10	0,04	3,150	NS
ERRO	60	2,65			

Nota: GDL – Graus de Liberdade; MQ – Media Quadrada; Fcalculado – Valor calculado de F; F0,05 – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5%; S – Significativo; NS – Não Significativo

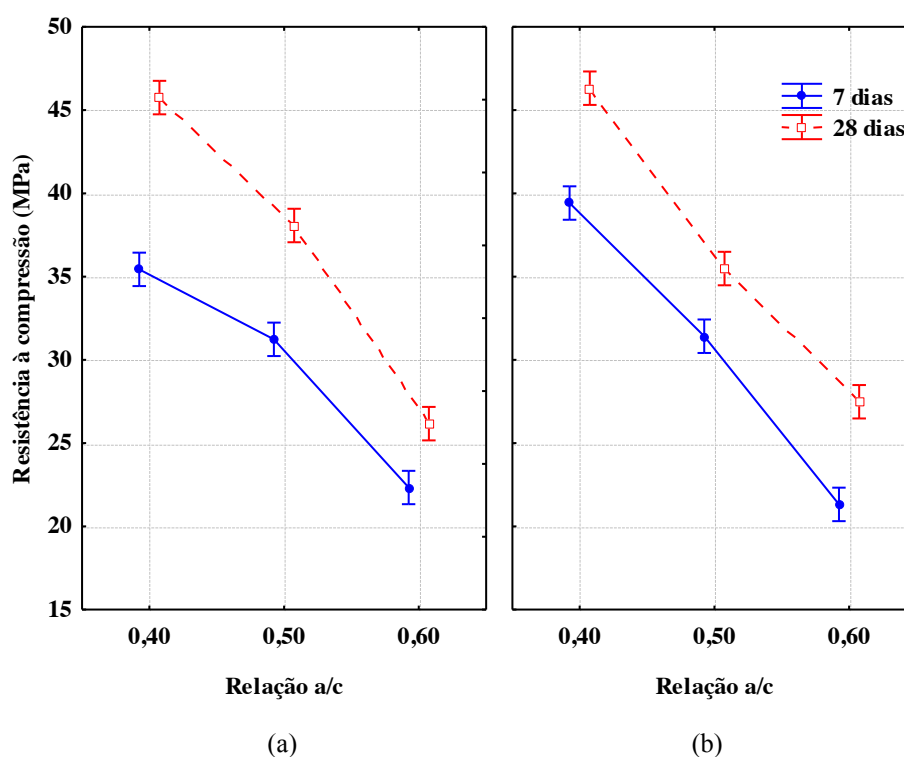


Figura 37: Influência do efeito significativo da idade sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos para diferentes relações a/c, para concretos produzidos pelo método IPT/EPUSP: a) Misturas com 20% de AGR; b) Misturas com 40% de AGR

Na Figura 37 observa-se que os concretos com relação a/c mais baixa apresentaram maior resistência à compressão. Esse comportamento obedece a Lei de Abrams, que estabelece que a resistência de um concreto, em uma determinada idade, é inversamente proporcional a sua relação a/c.

Além disso, verifica-se que o grau de hidratação apresenta-se como um dos principais fatores na determinação da resistência mecânica dos concretos reciclados. Um aumento do grau de hidratação do concreto implica na redução da sua porosidade, e, conseqüentemente, no aumento da sua resistência à compressão. A Figura 38 apresenta a relação entre as resistências dos concretos aos 7 e 28 dias. É possível perceber que os concretos atingem aos 7 dias, entre

80 e 90% da resistência total alcançada aos 28 dias de idade. Exceto para concretos produzidos com um traço rico (1:3,5) e 20%AGR-N1, nos quais observa-se que a resistência aos 7 dias corresponde a 70% da resistência aos 28 dias. Esse comportamento pode estar associado ao tipo de cimento Portland utilizado nesse estudo, que apresenta aos 7 dias 80% da resistência à compressão alcançada aos 28 dias de idade, conforme visto na Tabela 12, item 4.1.1. Além disso, esse desempenho deve-se a melhor aderência e maior travamento mecânico entre a pasta de cimento e o AGR, nas primeiras idades, que é provocado pela textura rugosa desses materiais. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), nas primeiras idades, quando o efeito da interação química entre o agregado e a pasta de cimento ainda não está completamente desenvolvido, deve ser considerada a influência da ligação física entre esses componentes, na determinação da resistência dos concretos. Assim, esta ligação deverá ser mais pronunciada em agregados com superfície rugosa, como é o caso do AGR. A tendência para um rápido crescimento da resistência à compressão do concreto reciclado com a idade também foi observado por outros autores (LEITE, 2001; AMORIM, 2008; PEPE *et al.*, 2014; BRAVO *et al.*, 2015b; MOITINHO; LEITE, 2015; RANGEL, 2015).

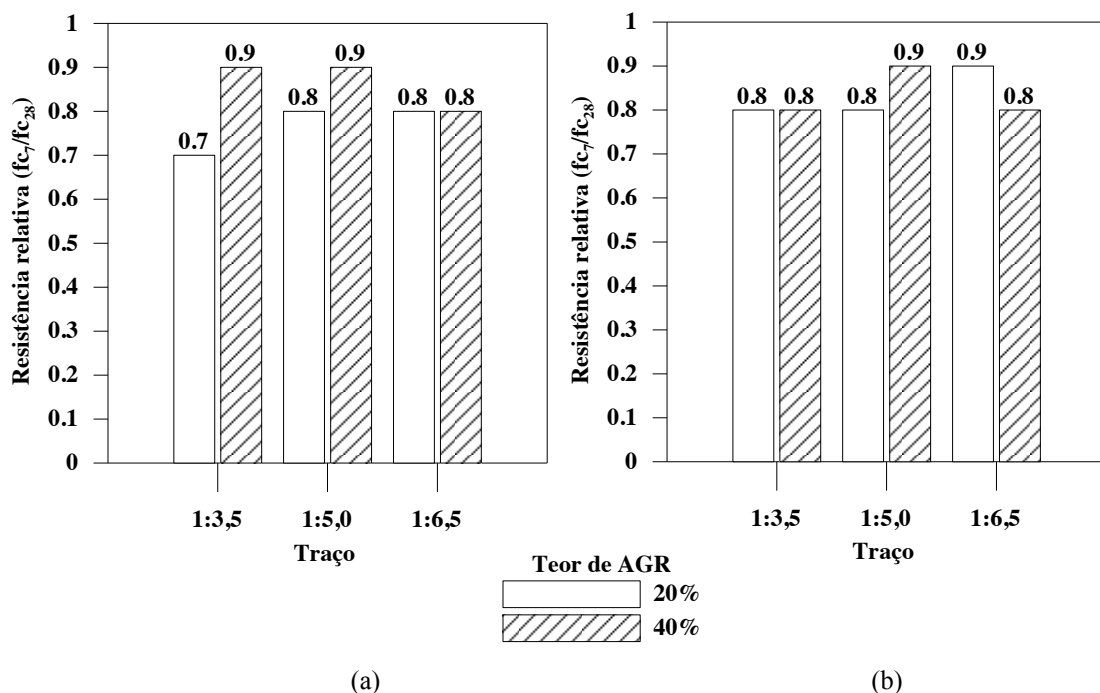


Figura 38: Relação entre as resistências dos concretos aos 7 e 28 dias, para misturas produzidas pelo método IPT/EPUSP: a) Nível de espalhamento -N1; b) Nível de espalhamento -N2

Adicionalmente, pela análise estatística realizada, pode-se observar que o aumento no teor de agregado reciclado não influenciou a resistência à compressão dos concretos estudados, apesar de diversos autores apontarem para uma tendência da redução da resistência à compressão, provocada pelo aumento do teor do agregado graúdo reciclado no concreto

(FERREIRA *et al.*, 2011; KWAN *et al.*, 2012; MATIAS *et al.*, 2013; SEARA-PAZ *et al.*, 2014; BRAVO *et al.*, 2015b; CEIA *et al.*, 2016; entre outros). Destaca-se ainda que para determinados teores de agregado reciclado de concreto, os fatores que contribuem para a melhoria da resistência do concreto reciclado desempenham um papel importante, e podem compensar o efeito prejudicial da fragilidade do agregado reciclado na resistência à compressão do concreto (ZAETANG *et al.*, 2016). Além disso, é possível inferir que nesse estudo fatores como densidade, método de mistura e origem do agregado reciclado podem ter contribuído para uma melhoria da resistência à compressão dos concretos, minimizando a possível influência prejudicial do aumento do teor do agregado reciclado sobre essa propriedade.

Como discutido no Item 5.1.1, o aumento do teor de agregado reciclado provocou o aumento do teor de argamassa das misturas, o que proporciona maior densidade ao concreto. E é sabido que o aumento da densidade dos concretos conduz a um ganho de resistência à compressão.

Outra explicação para o comportamento observado está relacionada ao emprego do método de mistura estabelecido por Tam *et al.* (2005), que proporciona o preenchimento dos poros e fissuras superficiais do agregados com uma fina camada de pasta de cimento. Desse processo, resulta uma zona de transição mais forte e um aumento da resistência à compressão do concreto (GOMES; BRITO, 2009), e por isso uma menor influência do aumento do teor de AGR. Além disso, a não compensação da taxa de absorção de água do material reciclado pode ter reduzido a relação a/c efetiva dos concretos com 40%AGR, mantendo o seu desempenho quanto à resistência mecânica semelhante ao das misturas 20%AGR para qualquer nível de espalhamento.

Adicionalmente, como mencionado por Fonseca *et al.* (2011) e Leite e Costa (2014), outros dois fatores podem ser apontados como responsáveis por uma melhoria da resistência de misturas com agregados reciclados de concreto, sendo estes: a presença de partículas de cimento anidro na argamassa antiga aderida, que podem ter sido hidratadas durante a nova concretagem, contribuindo para um ganho de resistência; e a melhor aderência pasta/agregado causada pela rugosidade superficial do agregado reciclado.

Percebe-se também que o nível de espalhamento não influenciou, de maneira significativa, os resultados de resistência à compressão das misturas. Nesse caso, o efeito do aumento da relação a/c, em misturas com maior nível de espalhamento (Tabela 17), pode ter sido compensado pelo maior teor de argamassa, e conseqüentemente maior densidade dessas misturas. Bem como, pelo uso de um maior teor do aditivo superplastificante nas misturas mais fluidas (nível de espalhamento - N2), que como discutido anteriormente contribui mais

intensamente com a desfloculação do sistema (cimento + água), contribuindo para a formação de mais produtos resistentes.

5.2.2 Método de dosagem ABCP

A Tabela 24 apresenta os resultados médios de resistência dos concretos produzidos pelo método de dosagem da ABCP. Também para esse método, as resistências médias foram obtidas com os três resultados que mais se aproximavam do resultado médio (Apêndice 1, Tabela 37), de modo a tornar a análise mais confiável e adequada.

Tabela 24: Resultados de resistência à compressão dos concretos produzidos com o método ABCP

Mistura	m	fcm ±Sd (CV)	
		MPa ±MPa (%)	
		7 dias	28 dias
20%-N1	3,8	30,1±1,2(4,0)	43,4±1,4(3,2)
	5,4	25,8±1,3(5,1)	35,1±1,5(4,3)
	6,2	20,6±0,4(2,1)	26,5±0,8(3,0)
20%-N2	3,6	34,8±0,5(1,4)	41,6±1,2(2,8)
	4,8	27,1±1,2(4,5)	33,4±0,4(1,2)
	5,9	21,7±0,1(0,6)	25,9±1,1(4,3)
40%-N1	3,7	27,9±1,5(5,2)	39,3±0,6(1,5)
	5,3	25,8±0,7(2,6)	30,2±1,0(3,2)
	6,3	22,0±0,7(3,4)	28,5±1,1(3,9)
40%-N2	3,5	32,9±0,9(2,7)	44,9±1,2(2,7)
	4,7	27,3±0,2(0,6)	33,8±0,8(2,4)
	5,8	23,0±0,9(3,9)	27,6±0,9(3,2)

Nota: fcm - resistência média à compressão (MPa); sd - desvio padrão (MPa) ; cv -coeficiente de variação (%)

5.2.2.1 Diagramas de dosagem

Como pôde-se observar no Item 5.1.2 os traços obtidos com a utilização do método de dosagem da ABCP também apresentaram, para uma dada mistura (mesmo teor de AGR e nível de espalhamento), o mesmo teor ideal de argamassa. Compondo, portanto, uma mesma família de concretos (concretos produzidos com os mesmos materiais, mesmo α -alfa e mesma consistência). Assim, também foi possível traçar para cada mistura produzida um diagrama de dosagem (Figura 39 e Figura 40).

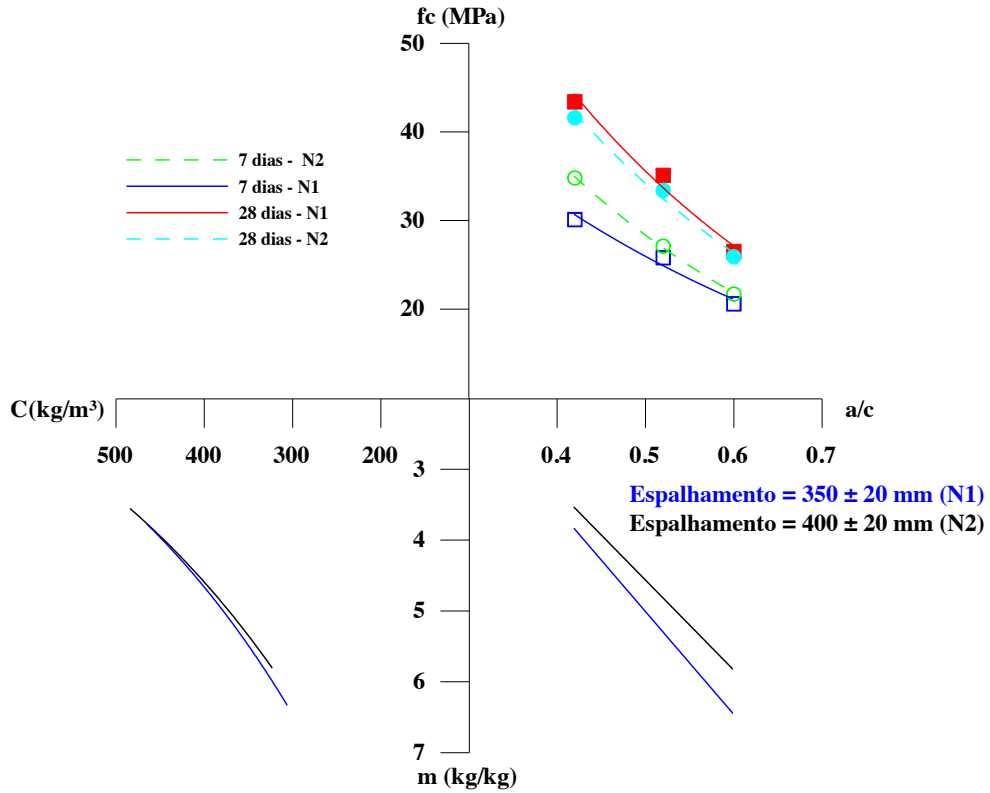


Figura 39: Diagrama de dosagem das misturas produzidas com 20% de AGR - método ABCP

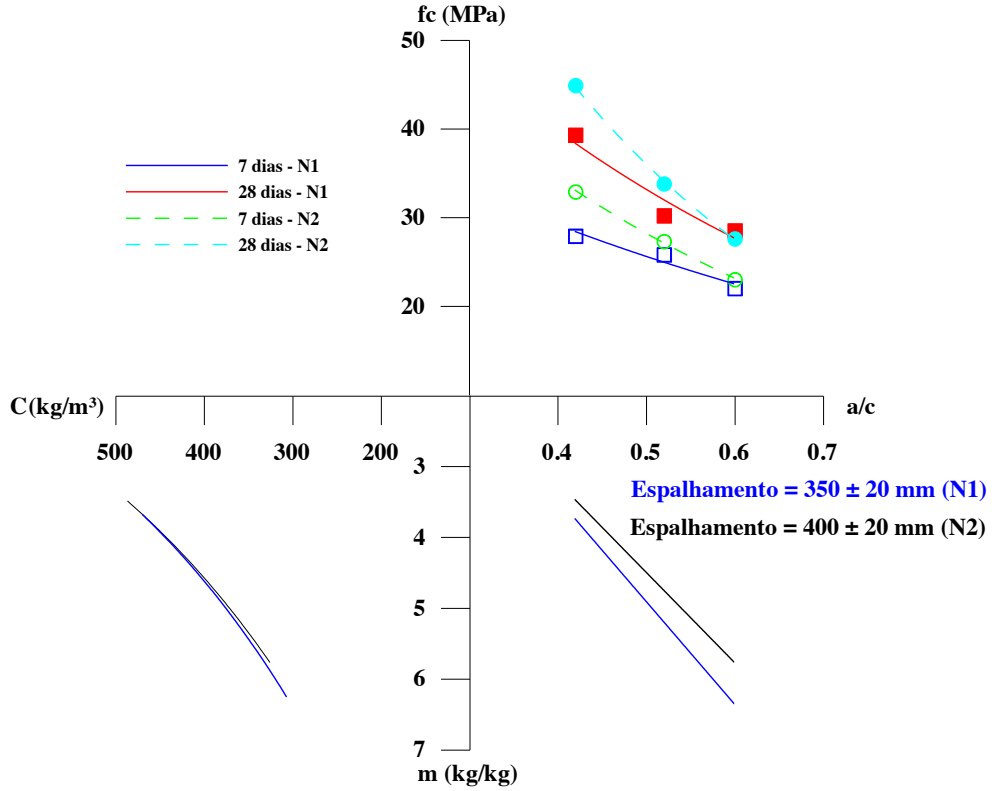


Figura 40: Diagrama de dosagem das misturas produzidas com 40% de AGR - método ABCP

A análise dos diagramas de dosagem mostram que para os concretos com 20% de AGR é possível estabelecer traços de concreto com resistência à compressão, aos 28 dias, variando de cerca de 27 a 45MPa (Figura 39). Mas, para os concretos com 40% de AGR, esse intervalo variou em função no nível de espalhamento, sendo de cerca de 28 a 40MPa para os concretos plásticos (nível de espalhamento N1), e de cerca de 28 a 46MPa para os concretos de consistência fluida (nível de espalhamento N2).

Além disso, para os concretos produzidos com 20% de AGR, para uma dada resistência à compressão aos 28 dias de idade, o aumento da consistência resulta em um aumento do consumo de cimento por m de concreto. É possível verificar, por exemplo, que misturas fluidas (N2) demandam um aumento de 30kg/m no consumo de cimento para uma resistência média de 35 MPa, quando comparada a misturas plásticas (N1), conforme pode ser visto na Tabela 25.

Tabela 25: Consumo de cimento por m de concreto para misturas produzidas com 20% de AGR- método ABCP

$f_{c_{28}}$ (MPa)	Nível de espalhamento	Relação a/c	C_{cimento} (kg/m)
39	N1	0,47	406
	N2	0,45	432
35	N1	0,51	372
	N2	0,49	402
30	N1	0,56	339
	N2	0,55	362

Por outro lado, para concretos produzidos com 40% de AGR existe uma tendência para a redução do consumo de cimento com o aumento do nível de espalhamento, para concretos com uma mesma resistência à compressão, aos 28 dias de idade. Como observado na Tabela 26, estas diferenças podem chegar a 54kg/m de concreto.

Tabela 26: Consumo de cimento por m de concreto para misturas produzidas com 40% de AGR- método ABCP

$f_{c_{28}}$ (MPa)	Nível de espalhamento	Relação a/c	C_{cimento} (kg/m)
39	N1	0,41	477
	N2	0,47	423
35	N1	0,47	411
	N2	0,51	395
30	N1	0,55	351
	N2	0,57	357

5.2.2.2 Análise estatística

Os resultados de resistência à compressão apresentados na Tabela 36 (Apêndice 1) também foram submetidos à análise estatística através da ANOVA. O resultado da análise de influência dos fatores estudados (teor de AGR, nível de espalhamento, relação a/c e idade) e suas possíveis interações sobre a resistência dos concretos estão apresentados nas Tabelas 27 e 28.

Tabela 27: Resultados da ANOVA para a resistência à compressão quando avaliadas as variáveis teor de AGR, relação a/c e idade – Método ABCP

Fator	GDL	MQ	Fcalculado	F0,05	Significância
A - Teor de AGR	1	1,28	0,37	4,001	NS
B – Relação a/c	2	928,65	271,58	3,150	S
C – Idade	1	1042,72	304,93	4,001	S
AB	2	15,02	4,39	3,150	S
AC	1	0,02	0,01	4,001	NS
BC	2	51,15	14,96	3,150	S
ABC	2	6,33	1,85	3,150	NS
ERRO	60	3,42			

Nota: GDL – Graus de Liberdade; MQ – Média Quadrada; Fcalculado – Valor calculado de F; F0,05 – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5%; S – Significativo; NS – Não Significativo

Tabela 28: Resultados da ANOVA para a resistência à compressão quando avaliadas as variáveis nível de espalhamento, relação a/c e idade – Método ABCP

Fator	GDL	MQ	Fcalculado	F0,05	Significância
A – Nível de espalhamento	1	45,44	17,98	4,001	S
B – Relação a/c	2	928,65	367,43	3,150	S
C – Idade	1	1042,72	412,56	4,001	S
AB	2	16,53	6,54	3,150	S
AC	1	14,22	5,63	4,001	S
BC	2	51,15	20,24	3,150	S
ABC	2	2,40	0,95	3,150	NS
ERRO	60	2,53			

Nota: GDL – Graus de Liberdade; MQ – Média Quadrada; Fcalculado – Valor calculado de F; F0,05 – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5%; S – Significativo; NS – Não Significativo

A resistência à compressão foi significativamente influenciada pelo grau de hidratação das misturas, essa influência pode ser visualizada na Figura 41. Como observado, quanto maior o grau de hidratação, maior a resistência à compressão dos concretos. Além disso, para os resultados vinculados a idade, assim como ocorreu com os concretos produzidos pelo método IPT/EPUSP, verificou-se uma tendência a um alto nível de resistência já nas primeiras idades de hidratação (Figura 42).

A relação a/c também exerceu influência significativa sobre os resultados de resistência à compressão. Observando-se a redução da resistência dos concretos, com o aumento da relação a/c (Figura 41), conforme estabelecido pela Lei de Abrams.

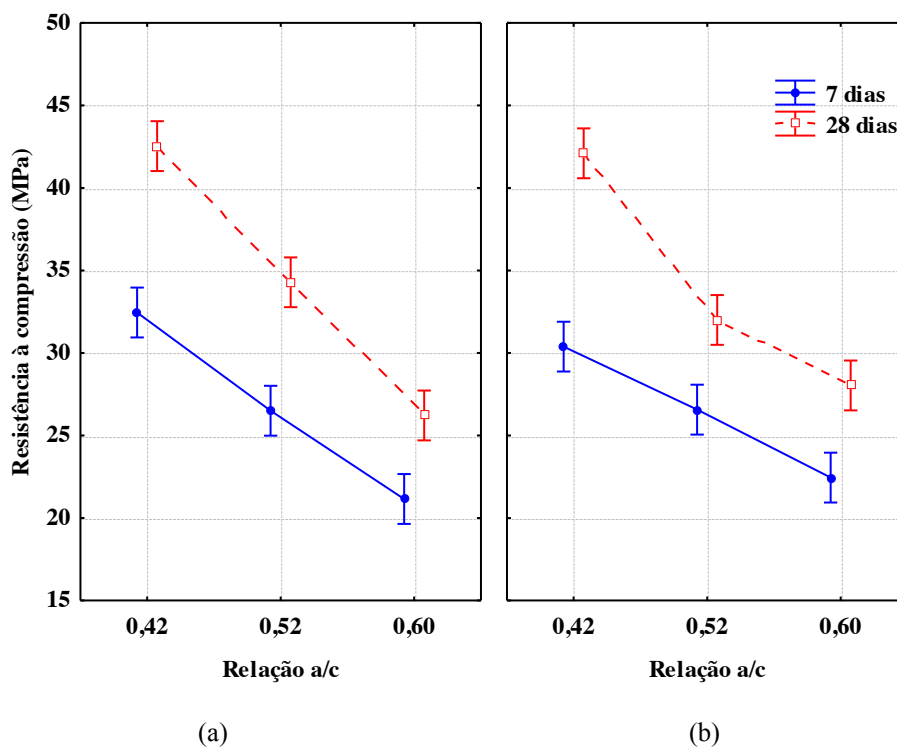


Figura 41: Influência do efeito significativo da idade sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos para diferentes relações a/c- Método ABCP: a) Misturas com 20% de AGR; b) Misturas com 40% de AGR

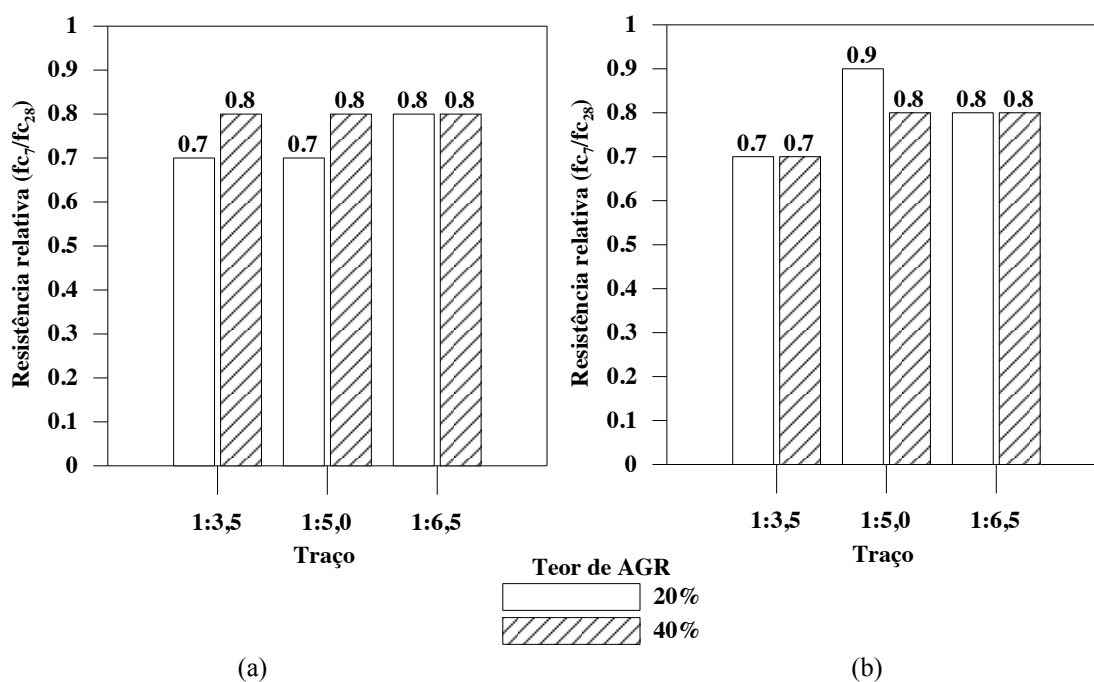


Figura 42: Relação entre as resistências dos concretos aos 7 e 28 dias, para misturas produzidas pelo método ABCP: a) Nível de espalhamento $N1=350\pm 20$ mm; b) Nível de espalhamento $N2=400\pm 20$ mm

Os resultados da análise estatística demonstram, ainda, que para misturas produzidas pelo método da ABCP, o fator nível de espalhamento influencia de forma significativa a resistência à compressão dos concretos. A Figura 43 mostra uma tendência para o melhor desempenho das misturas com maior nível de espalhamento, tanto para 7 dias (Figura 43a)

quanto para 28 dias de idade (Figura 43b). Como discutido no Capítulo 4, para esse método, as misturas foram produzidas com a mesma relação a/c , independentemente do nível de espalhamento. Todavia, misturas mais fluidas (N2) apresentaram a necessidade do aumento do teor de argamassa, para que o espalhamento desejado fosse alcançado. Dessa forma, pode-se concluir que o maior teor de argamassa, sem a influência negativa de um aumento da relação a/c , foi o responsável pela maior resistência à compressão apresentada por misturas com maior nível de espalhamento. Além disso, misturas mais fluidas (Nível de espalhamento $N2=400\pm 20\text{mm}$) apresentam maior dispersão das partículas de cimento, o que acarreta em maior desenvolvimento da quantidade de produtos resistentes e assim, melhoria da resistência final.

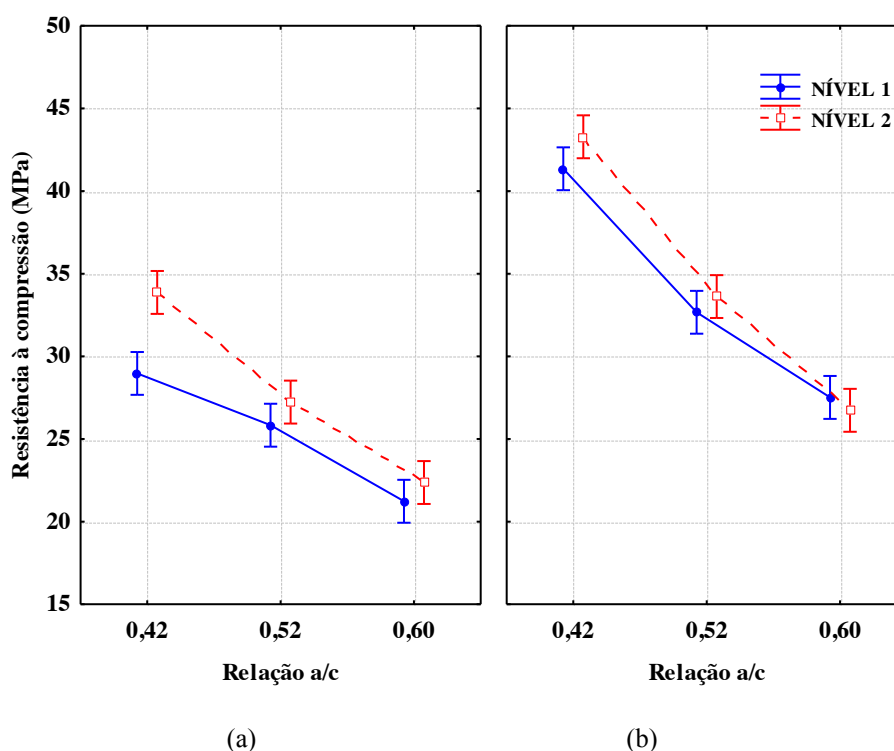


Figura 43: Influência do efeito significativo do nível de espalhamento sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos em diferentes idades: a) 7 dias; b) 28 dias

Verifica-se que também para o método de dosagem da ABCP, que o teor de AGR não apresentou influência significativa na resistência à compressão das misturas. Do mesmo modo, pode-se afirmar que é possível aplicar até 40% de AGR de concreto para produção de novos concretos sem prejuízo sobre a resistência à compressão. A melhor densidade das misturas produzidas, o método de mistura utilizado na produção dos concretos, a melhoria na zona de transição e características do agregado reciclado utilizado, como menor fragilidade do grão e maior rugosidade superficial, permitiram que o aumento do teor de AGR não apresentasse influência negativa sobre os resultados de resistência.

5.2.3 Comparativo entre os métodos de dosagem

Com o objetivo de avaliar a influência dos métodos de dosagem utilizados sobre a resistência dos concretos produzidos, foi realizada uma análise comparativa entre os resultados de resistência à compressão, aos 28 dias de idade, obtidos nos concretos produzidos por cada método.

5.2.3.1 Análise estatística

Os resultados obtidos para a resistência à compressão, aos 28 dias, (Apêndice 1) foram submetidos à análise estatística através da ANOVA. E as variáveis analisadas estatisticamente foram: método de dosagem (IPT/EPUSP e ABCP), teor de AGR (20 e 40%), nível de espalhamento (N1 e N2) e traço (rico, intermediário e pobre em cimento). A Tabela 29 apresenta os resultados das análises da influência dos fatores estudados e suas interações sobre os resultados de resistência aos 28 dias de idade.

Tabela 29: Resultados da ANOVA para a resistência à compressão quando avaliadas as variáveis método de dosagem, teor de AGR, nível de espalhamento e traço

Fator	GDL	MQ	Fcalculado	F0,05	Significância
A – Método de dosagem	1	99,41	77,03	4,043	S
B – Teor de AGR	1	1,28	0,99	4,043	NS
C – Nível de espalhamento	1	0,35	0,27	4,043	NS
D – Traço	2	1778,08	1377,91	3,191	S
AB	1	0,02	0,02	4,043	NS
AC	1	5,67	4,39	4,043	S
BC	1	34,72	26,91	4,043	S
AD	2	31,61	24,50	3,191	S
BD	2	24,50	18,99	3,191	S
CD	2	1,81	1,40	3,191	NS
ABC	1	8,00	6,20	4,043	S
ABD	2	1,00	0,77	3,191	NS
ACD	2	5,41	4,19	3,191	S
BCD	2	17,26	13,37	3,191	S
ABCD	2	2,70	2,09	3,191	NS
ERRO	48	1,29			

Nota: GDL – Graus de Liberdade; MQ – Media Quadrada; Fcalculado – Valor calculado de F; F0,05 – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5%; S – Significativo; NS – Não Significativo

Conforme observado na Tabela 29, o método de dosagem influenciou de forma significativa os resultados de resistência à compressão. De um modo geral, os concretos reciclados dosados pelo método IPT/EPUSP apresentaram um aumento médio de resistência da ordem de 11%. A Figura 44a mostra essa tendência para o melhor desempenho das misturas produzidas pelo método do IPT/EPUSP, exceto para concretos produzidos com traços pobres em cimento (Figura 44b). Esse comportamento pode ser atribuído as proporções apresentadas pelas misturas produzidas pelo método do IPT/EPUSP que, de modo geral, apresentaram menor

relação a/c e/ou maior consumo de cimento quando comparada as misturas produzidas pelo método da ABCP, como visto nos Itens 5.1.1 e 5.1.2. Além disso, em alguns casos, o uso do aditivo superplastificante pode ter contribuído para um ganho de resistência das misturas produzidas pelo método do IPT/EPUSP. De acordo com Neville (2015), outro efeito da desfloculação e dispersão dos grãos de cimento provocada pela ação do superplastificantes, mencionada anteriormente, é a exposição de uma maior área superficial do cimento à hidratação, proporcionando um aumento da resistência do concreto, quando comparado a um concreto com mesma relação a/c e sem a incorporação do aditivo. Para as misturas produzidas com traços pobres em cimento foi realizada uma comparação múltipla de médias (CMM), e o resultado obtido através dessa análise mostrou que não há diferença significativa entre as resistências apresentadas pelos concretos produzidos por ambos os métodos de dosagem. Ou seja, para misturas pobres o método de dosagem não influenciou a resistência à compressão dos concretos.

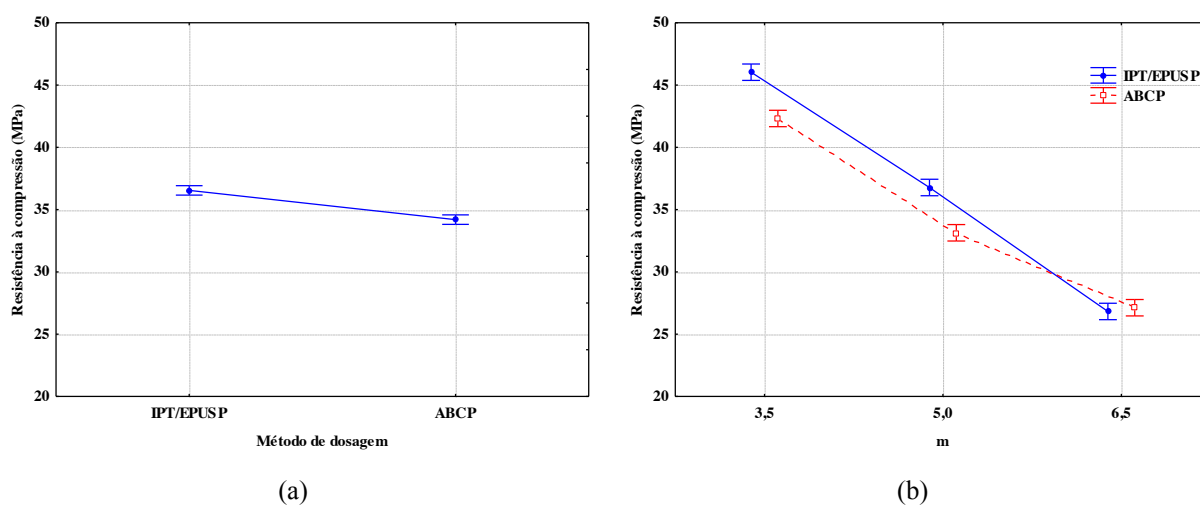


Figura 44: Influência do efeito significativo do método de dosagem sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos: a) efeito isolado da variável método de dosagem; b) interação método de dosagem e traço

Além disso, o fator traço apresentou influência significativa nos resultados de resistência obtidos, sendo este o principal fator de influência sobre a resistência à compressão dos concretos. Observa-se que, como esperado, maiores resistências foram obtidas por concretos com traços mais ricos em cimento (Figura 44b).

Percebe-se ainda que os fatores teor de AGR e nível de espalhamento não apresentaram influência significativa na resistência à compressão dos concretos. A interação desses fatores com o método de dosagem está apresentada nas Figuras 45 e 46.

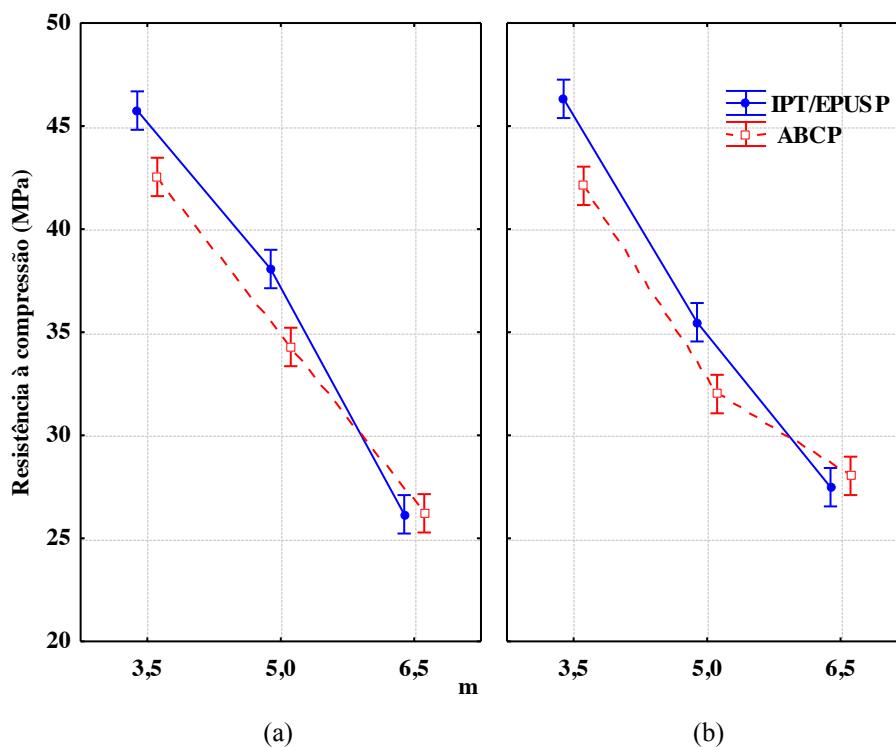


Figura 45: Efeito da interação do método de dosagem e teor de AGR sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos: a) Misturas com 20% de AGR; b) Misturas com 40% de AGR

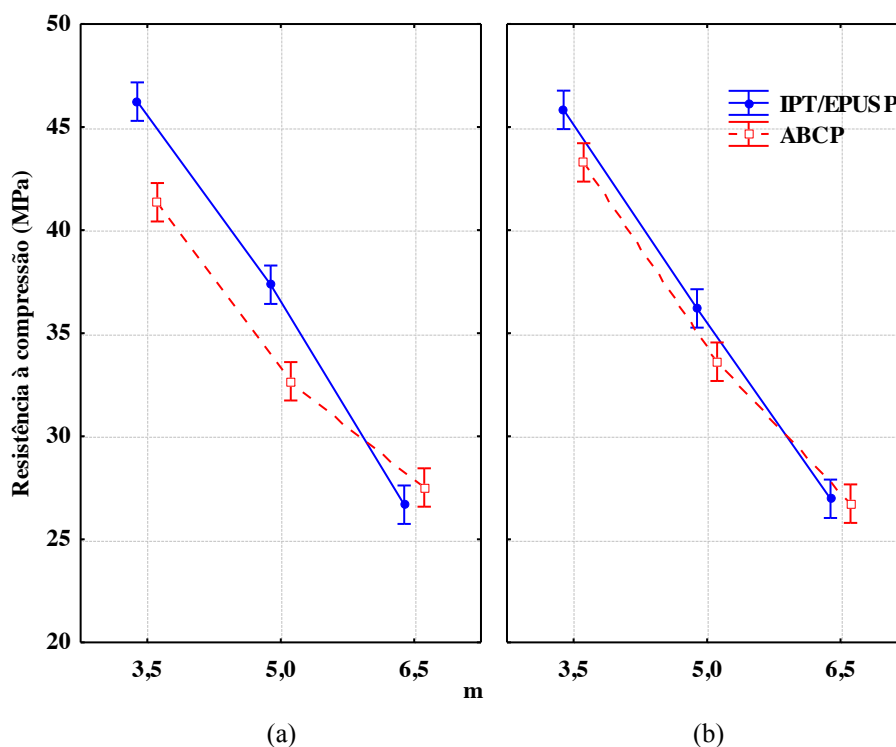


Figura 46: Efeito da interação do método de dosagem e nível de espalhamento sobre os resultados de resistência à compressão dos concretos: a) N1=350±20mm b) N2=400±20mm

Pode-se notar que a tendência ao melhor desempenho de misturas produzidas pelo método do IPT/EPUSP ocorreu independentemente do teor de agregado reciclado, bem como do nível de espalhamento das misturas. Do mesmo modo, a influência do fator traço na resistência dos

concretos foi observada para misturas com diferentes teores de AGR e níveis de espalhamento.

5.2.4 Estudo teórico do comportamento dos concretos

Com base nas equações de dosagem (Leis de comportamento), obtidas a partir dos resultados alcançados para cada mistura produzida, foi possível estabelecer modelos que permitem uma estimativa das propriedades teóricas dos concretos estudados, para ambos os métodos de dosagem.

5.2.4.1 Método de dosagem IPT/EPUSP

A Tabela 30 apresenta as equações de dosagem obtidas a partir dos resultados alcançados para as misturas produzidas pelo método do IPT/EPUSP.

Tabela 30: Leis de comportamento para os concretos produzidos pelo método do IPT/EPUSP

Concreto	Lei de Abrams		Lei de Lyse	Lei de Molinari
	7 dias	28 dias		
20%-N1	$fc_7 = \frac{93,788}{10,095 \frac{a}{c}}$ $r = 0,923155$	$fc_{28} = \frac{158,104}{18,047 \frac{a}{c}}$ $r = 0,989387$	$m = 14,189 * \frac{a}{c} - 2,236$ $r = 0,995902$	$C = \frac{1000}{0,476 + 0,442 * m}$
20%-N2	$fc_7 = \frac{89,808}{8,560 \frac{a}{c}}$ $r = 0,997929$	$fc_{28} = \frac{127,044}{11,728 \frac{a}{c}}$ $r = 0,983976$	$m = 14,189 * \frac{a}{c} - 2,378$ $r = 0,993243$	$C = \frac{1000}{0,489 + 0,442 * m}$
40%-N1	$fc_7 = \frac{123,013}{14,820 \frac{a}{c}}$ $r = 0,987954$	$fc_{28} = \frac{110,170}{8,688 \frac{a}{c}}$ $r = 0,999112$	$m = 13,035 * \frac{a}{c} - 1,822$ $r = 0,999370$	$C = \frac{1000}{0,459 + 0,449 * m}$
40%-N2	$fc_7 = \frac{122,132}{14,112 \frac{a}{c}}$ $r = 0,964111$	$fc_{28} = \frac{127,253}{10,697 \frac{a}{c}}$ $r = 0,997218$	$m = 13,035 * \frac{a}{c} - 1,996$ $r = 0,999370$	$C = \frac{1000}{0,480 + 0,448 * m}$

Nota: fc - resistência média à compressão (MPa); a/c -relação água/cimento; m - teor de agregados secos; c - consumo de cimento (kg/m³)

Observa-se que as equações obtidas para estimativa das resistências e respectivos traços de concreto apresentam coeficientes de determinação (r^2) acima de 0,90, indicando que os modelos obtidos apresentam grande capacidade de explicar os valores observados no estudo experimental. Contudo, é importante ressaltar que esses modelos se aplicam aos concretos estudados, utilizando os mesmos materiais e parâmetros de dosagem.

Para a avaliação dos concretos também foram utilizadas relações a/c escolhidas com base em critérios de durabilidade estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 12655 (ABNT, 2015), de modo que os concretos produzidos pudessem cumprir parâmetros mínimos de desempenho, relacionados com a resistência à compressão, sob condições de exposição específicas para todas as classes de agressividade estabelecidas pelas referidas normas. Como base nos valores de resistência à compressão dos concretos estudados, estimou-se ainda a resistência à tração por compressão diametral e o módulo de elasticidade dos concretos com base nas relações estabelecidas pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e pela norma ACI 318 (NEVILLE, 2015). Essas relações estão descritas pelas equações apresentadas na Tabela 31. A Tabela 32 apresenta os resultados obtidos através da estimativa realizada.

Tabela 31: Equações para estimar a resistência à tração e o módulo de elasticidade, em função da resistência à compressão dos concretos

Referência	Resistência à tração	Módulo de elasticidade
1-NBR 6118	$f_{td} = \frac{0,3f_{ck}^{2/3}}{0,9}$	$E_{ci} = \alpha_E * 5600\sqrt{f_{ck}} \therefore E_{ci}, MPa$ $E_C = \alpha_i * E_{ci} \therefore E_C, MPa$ $\alpha_i = 0,8 + 0,2 * \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0$
2-ACI 318	$f_{td} = 0,3f_c^{1/2}$	$E_C = 4,73 * f_c^{1/2}$

Fontes: (1) ABNT (2014); (2) Neville (2015).

Nota: E_c – módulo de deformação secante (GPa); E_{ci} – módulo de deformação tangente inicial (MPa); f_c – resistência à compressão (MPa); f_{td} - resistência média à tração por compressão diametral (MPa); α_E – constante determinada em função da natureza do agregado, neste trabalho foi utilizado $\alpha_E = 1$ (referente a agregado granítico).

Tabela 32: Propriedades teóricas dos concretos estudados fixando-se as relações a/c

Relação a/c	Concreto	f_{c28} (MPa)	m	$C_{cimento}$ (kg/m)	f_{t28} (MPa)		E_c (GPa)	
					NBR 6118 (ABNT, 2014)	ACI 318 (2014)	NBR 6118 (ABNT, 2014)	ACI 318 (2014)
0,45	20%-N1	43,0	4,1	437	4,1	2,0	33,3	31,0
	20%-N2	42,0	4,0	443	4,0	1,9	32,8	30,6
	40%-N1	41,6	4,0	443	4,0	1,9	32,7	30,5
	40%-N2	43,8	3,9	449	4,2	2,0	33,7	31,3
0,55	20%-N1	32,2	5,6	339	3,4	1,7	28,0	26,8
	20%-N2	32,8	5,4	348	3,4	1,7	28,3	27,1
	40%-N1	33,5	5,3	352	3,5	1,7	28,7	27,4
	40%-N2	34,6	5,2	356	3,5	1,8	29,2	27,8
0,60	20%-N1	27,9	6,3	307	3,1	1,6	25,7	25,0
	20%-N2	29,0	6,1	314	3,1	1,6	26,3	25,5
	40%-N1	30,1	6,0	317	3,2	1,6	26,9	26,0
	40%-N2	30,7	5,8	325	3,3	1,7	27,2	26,2
0,65	20%-N1	24,1	7,0	280	2,8	1,5	23,7	23,2
	20%-N2	25,6	6,8	286	2,9	1,5	24,5	24,0
	40%-N1	27,0	6,7	288	3,0	1,6	25,3	24,6
	40%-N2	27,3	6,5	295	3,0	1,6	25,4	24,7

Com base no comportamento estimado para todas as misturas, observa-se que os concretos produzidos, com resistências que variam de 24 a 44MPa, além de cumprirem a critérios de durabilidade através das máximas relações a/c permitidas para cada classe de agressividade, cumprem também requisitos de classe de resistência mínima e consumo mínimo de cimento por m³ de concreto, conforme estabelecido pela NBR 12655 (ABNT, 20015), também com base em critérios de durabilidade e qualidade do concreto.

A partir da análise de resultados experimentais obtidos em pesquisas com concretos reciclados (Tabela 33), verificou-se que para a estimativa da resistência à tração por compressão diametral, o modelo matemático proposto pela NBR 6118 (ABNT, 2014) tende a majorar os resultados obtidos. Por outro lado, a equação descrita pela norma ACI 318 minora os valores apresentando para relação f_t/f_c , de modo que a resistência à tração é subestimada quando calculada pelo modelo matemático apresentado por essa norma. Porém, a majoração ou minoração dessa propriedade não deve ocasionar prejuízos ao cálculo estrutural, tendo em vista que no dimensionamento de uma peça em concreto armado a resistência à tração do concreto é desprezada, e o aço é utilizado para suportar as cargas de tração.

Para o módulo de elasticidade, as relações apresentadas por ambas as normas superestimam os valores teóricos apresentados para essa propriedade, quando comparados aos valores obtidos experimentalmente. Sendo, portanto, necessário a adequação das relações apresentadas por essas normas à concretos reciclados.

Tabela 33: Resultados de resistência à tração por compressão diametral e de módulo de elasticidade obtidos em pesquisas com concretos reciclados

Referência	Agregado reciclado		a/c	C _{cimento} (kg/m ³)	f _{c28} (MPa)	f _{t28} (MPa)	E _c (GPa)
	Tipo	Teor (%)					
Etxeberria <i>et al.</i> (2007)	Concreto	25	0,55	300	38,8	3,0	32,8
		50	0,52	318	39,4	3,4	32,5
Leite e Monteiro (2014)	Concreto	50	0,60	360	38,8	-	24,2
Amario (2015)	Concreto	22	0,46	392	45,8	3,9	26,9
		40	0,48	385	46,0	3,8	26,6
Ceia <i>et al.</i> (2016)	Concreto	20	0,52	350	47,5	4,0	37,2
		50	0,52	350	46,1	3,6	34,5

5.2.4.2 Método de dosagem ABCP

A Tabela 34 apresenta as equações de dosagem (Leis de comportamento) obtidas com resultados experimentais das misturas produzidas pelo método da ABCP. Assim como foi feito para o método do IPT/EPUSP, foi realizada uma estimativa do comportamento de

concretos com relações a/c escolhidas com base em critérios de durabilidade da NBR 6118 (ABNT, 2014). Todavia, nesse caso, não foi possível realizar a análise com a relação a/c de 0,65, pois a relação a/c máxima de dosagem para essas misturas, no estudo experimental, foi de 0,60.

Tabela 34: Leis de comportamento para os concretos produzidos pelo método da ABCP

Concreto	Lei de Abrams		Lei de Lyse	Lei de Molinari
	7 dias	28 dias		
20%-N1	$fc_7 = \frac{73,432}{8,037^{\frac{a}{c}}}$ r = 0,970830	$fc_{28} = \frac{138,259}{15,105^{\frac{a}{c}}}$ r = 0,979291	$m = 14,508 * \frac{a}{c} - 2,248$ r = 0,995330	$C = \frac{1000}{0,736 + 0,375 * m}$
20%-N2	$fc_7 = \frac{104,918}{13,722^{\frac{a}{c}}}$ r = 0,999099	$fc_{28} = \frac{126,361}{13,667^{\frac{a}{c}}}$ r = 0,988722	$m = 12,705 * \frac{a}{c} - 1,789$ r = 0,992072	$C = \frac{1000}{0,970 + 0,345 * m}$
40%-N1	$fc_7 = \frac{48,891}{3,662^{\frac{a}{c}}}$ r = 0,934603	$fc_{28} = \frac{82,314}{6,172^{\frac{a}{c}}}$ r = 0,918470	$m = 14,508 * \frac{a}{c} - 2,348$ r = 0,995330	$C = \frac{1000}{0,730 + 0,379 * m}$
40%-N2	$fc_7 = \frac{75,965}{7,272^{\frac{a}{c}}}$ r = 0,998436	$fc_{28} = \frac{139,521}{15,014^{\frac{a}{c}}}$ r = 0,998968	$m = 12,746 * \frac{a}{c} - 1,876$ r = 0,998482	$C = \frac{1000}{0,977 + 0,338 * m}$

Nota: fc - resistência média à compressão (MPa); a/c-relação água/cimento; m – teor de agregados secos; c - consumo de cimento (kg/m)

Também para dosagem utilizando o método ABCP, as equações obtidas a partir dos resultados experimentais apresentaram elevados coeficientes de determinação (r^2), valores acima de 0,90.

Do mesmo modo, as misturas foram avaliadas quanto a resistência à compressão, com base nas equações de dosagem. A resistência à tração por compressão diametral e o módulo de elasticidade foram estimados utilizando as equações apresentadas na Tabela 31. A Tabela 35 apresenta os resultados obtidos no estudo realizado.

Para essas misturas, assim como ocorreu para análise teórica realizada para o método do IPT/EPUSP, observa-se o cumprimento de critérios de qualidade e durabilidade estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 12655 (ABNT, 2015), com concretos que podem ser produzidos para resistências à compressão variando de 26 a 41 MPa.

Adicionalmente, verifica-se que os resultados teóricos de resistência à tração por compressão diametral são superestimados quando calculados pelo modelo matemático proposto pela NBR

6118 (ABNT, 2014). E que, em contrapartida, há uma minoração dos valores encontrados para relação f_t/f_c descrita pela norma ACI 318. Todavia, como discutido anteriormente, essa majoração ou minoração não deverá influenciar de maneira negativa o cálculo estrutural.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 35, destaca-se ainda a ineficiência das relações descritas por ambas as normas para estimar o módulo de elasticidade dos concretos produzidos pelo método ABCP, tendo em vista a majoração dos valores teóricos apresentados, quando comparados aos valores obtidos experimentalmente (Tabela 33). O que corrobora a necessidade da adequação dessas relações à concretos reciclados.

Tabela 35: Propriedades teóricas dos concretos estudados fixando-se as relações a/c

Relação a/c	Concreto	f_{c28} (MPa)	m	C_{cimento} (kg/m ³)	f_{t28} (MPa)		E_c (GPa)	
					NBR 6118 (ABNT, 2014)	ACI 318 (2014)	NBR 6118 (ABNT, 2014)	ACI 318 (2014)
0,45	20%-N1	40,7	4,3	426	3,9	1,9	32,2	30,2
	20%-N2	39,0	3,9	432	3,8	1,9	31,4	29,5
	40%-N1	36,3	4,2	431	3,7	1,8	30,0	28,5
	40%-N2	41,2	3,9	436	4,0	1,9	32,5	30,4
0,55	20%-N1	31,1	5,7	348	3,3	1,7	27,4	26,4
	20%-N2	30,0	5,2	362	3,2	1,6	26,8	25,9
	40%-N1	30,3	5,6	351	3,2	1,7	27,0	26,0
	40%-N2	31,4	5,1	370	3,3	1,7	27,6	26,5
0,60	20%-N1	27,1	6,5	315	3,0	1,6	25,3	24,6
	20%-N2	26,3	5,8	337	2,9	1,5	24,9	24,3
	40%-N1	27,6	6,4	317	3,0	1,6	25,6	24,9
	40%-N2	27,5	5,8	340	3,0	1,6	25,5	24,8

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

Com intuito de minimizar a influência prejudicial de algumas características do agregado reciclado sobre as propriedades dos concretos, a dosagem e produção do concreto reciclado devem ser estabelecidas de modo a considerar aspectos relacionados com o tipo e o teor de agregado reciclado utilizado, a utilização de aditivos químicos, a melhor sequência e tempo de mistura e a melhor forma de avaliar a trabalhabilidade desses concretos.

Nesse sentido, esta pesquisa avaliou a dosagem e produção de concretos com diferentes teores de agregado graúdo reciclado de concreto (20 e 40%), utilizando como medida de trabalhabilidade o ensaio de espalhamento na mesa de Graff, a diferentes níveis de espalhamento (350 e 400mm). As dosagens foram estabelecidas conforme métodos de dosagem do IPT/EPUSP e ABCP e os concretos foram avaliados ainda quanto à resistência à compressão. Através da análise dos resultados obtidos foi possível chegar as seguintes conclusões:

- Dosagem

As metodologias propostas pelos diferentes métodos de dosagem utilizados influenciaram a capacidade de adequação desses métodos à dosagem dos concretos reciclados. As vantagens e limitações apresentadas em cada metodologia permitiu uma análise comparativa e, conseqüentemente, a avaliação do melhor desempenho de um determinado método, já durante o estudo experimental.

O estudo mostrou que a dosagem das misturas com o método IPT/EPUSP permitiu a produção dos concretos sem a necessidade da realização grandes ajustes dos traços encontrados, uma vez que esses traços foram determinados de modo essencialmente experimental, e por isso as proporções obtidas foram mais condizentes com as características dos agregados reciclados utilizados.

Diferentemente, o método da ABCP apresentou a necessidade de maior trabalho dispensado aos ajustes dos traços que, conforme preconiza o método, foram obtidos de forma teórica e não contemplaram a influência de algumas características qualitativas dos agregados sobre as propriedades do concreto. Tornando, portanto, o método pouco adequado para a dosagem de concretos reciclados.

A análise estatística mostrou que o método de dosagem apresentou influência significativa sobre os resultados. A utilização do método IPT/EPUSP permite a obtenção de concretos reciclados com uma resistência cerca de 11%, em média, mais elevada que os mesmos concretos obtidos pelo método da ABCP, exceto para as misturas pobres em cimento (concretos de maior relação a/c).

Portanto, foi possível concluir que o método do IPT/EPUSP, utilizando como medida de trabalhabilidade o ensaio de espalhamento pela mesa de Graff, apresentou-se mais aplicável para a dosagem dos concretos reciclados.

Para os parâmetros de estudo estabelecidos, não foi possível a dosagem de concretos com teores de argamassa seca inferior a 51%, para qualquer método de dosagem utilizado.

- Produção e trabalhabilidade

Os resultados desse estudo mostraram que o ensaio de espalhamento na mesa de Graff apresentou-se adequado como medida da trabalhabilidade do concreto reciclado, tendo sido possível alcançar as faixas de espalhamento estabelecidos, sem que para isso os concretos necessitassem de grandes aumentos nos consumos iniciais de água. Além disso, o procedimento de mistura utilizado (TSMA – mistura em duas etapas) pode ter provocado a redução da capacidade de absorção de água do agregado reciclado, contribuindo para a melhoria da trabalhabilidade das misturas.

Somado a isso, recomenda-se para dosagem e produção desses concretos o uso de aditivos redutores de água (plastificantes e superplastificantes), que irão contribuir com a melhoria do comportamento do concreto no estado fresco.

O ajuste da coesão, homogeneidade e acabamento do concreto durante a dosagem, por qualquer dos métodos utilizados, usando o espalhamento na mesa de Graff, foi realizado de modo plenamente satisfatório, sem apresentar qualquer dificuldade ou ampliação do número de etapas da dosagem. Desse modo, o ensaio de espalhamento na mesa de Graff foi considerado adequado e deve ser adotado para a dosagem de concretos reciclados, qualquer que seja o método de dosagem a ser utilizado.

- Resistência à compressão

Com base nos resultados de resistência à compressão dos concretos foi possível verificar que o uso do agregado graúdo reciclado de concreto, para os teores estudados (20 e 40%), não apresentou efeito significativo sobre os resultados para qualquer dos métodos de dosagem utilizados. Fatores como densidade, método de mistura e tipo e teor do agregado reciclado

podem ter contribuído para esse comportamento nos concretos, e minimizado a possível influência prejudicial do aumento do teor do agregado reciclado sobre essa propriedade.

Apenas para as misturas produzidas pelo método da ABCP, o nível de espalhamento influenciou a resistência à compressão dos concretos, sendo constatado um melhor desempenho para misturas com maior nível de espalhamento. A fixação da relação a/c, independentemente do nível de espalhamento, em conjunto com aumento do teor de argamassa para misturas mais fluidas (N2) foi responsável pela maior resistência à compressão apresentada por essas misturas. Esse resultado também é atribuído a maior dispersão das partículas de cimento das misturas mais fluidas, que acarreta em maior desenvolvimento da quantidade de produtos resistentes e a melhoria da resistência final dos concretos.

O método de dosagem influenciou significativamente os resultados de resistência à compressão, havendo uma tendência para o melhor desempenho das misturas produzidas pelo método do IPT/EPUSP, exceto para misturas produzidas com traços pobres em cimento. No caso das misturas pobres em cimento, uma análise múltipla de médias demonstrou que não havia diferenças entre os resultados de resistência obtidos pelos métodos IPT/EPUSP e ABCP.

As leis de comportamento dos concretos estudados, obtidas com qualquer dos métodos avaliados, apresentaram coeficientes de determinação (r^2) maiores que 0,90, demonstrando a grande capacidade dos modelos em explicar os resultados observados. Além disso, constatou-se que o estudo de dosagem dos concretos reciclados permitiu a obtenção de traços de concreto aplicáveis as exigências em termos de relação a/c máxima, classe de resistência mínima e consumos de cimento mínimos estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e pela NBR 12655 (ABNT, 2015). Observou-se que, considerando-se os dois teores de AGR (20-40%) e os dois níveis de espalhamento (N1 e N2) estudados:

- os concretos dosados pelo método IPT/EPUSP apresentaram resistências que variam de 44 a 24MPa, quando a relação a/c varia de 0,45 a 0,65;
- os concretos dosados pelo método da ABCP apresentaram resistências que variam de 41 a 26MPa, quando a relação a/c varia de 0,45 a 0,60.

De modo geral, conclui-se que é viável a dosagem e produção de concretos reciclados com até 40% de agregado graúdo reciclado de concreto, utilizando o método IPT/EPUSP para obtenção de concretos que apresentam bom desempenho mecânico, no que tange a resistência à compressão. Salienta-se a importância da adoção de um ensaio de medida da

trabalhabilidade mais adequado ao concreto reciclado, como é o caso do ensaio de espalhamento na mesa de Graff, bem como, o uso de aditivos redutores de água e do procedimento de mistura em duas etapas.

É importante ressaltar que os resultados aqui apresentados se aplicam aos concretos estudados, utilizando os materiais descritos e a metodologia de dosagem e produção propostos. Desse modo, é importante a realização de outras pesquisas utilizando metodologia semelhante para confirmar e complementar os resultados aqui obtidos.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de contribuir para a ampliação do conhecimento sobre o assunto estudado, alguns temas que poderão ser abordados em trabalhos futuros são:

- Realizar um estudo de dosagem e produção de concretos com agregado reciclado de concreto, usando como medida de trabalhabilidade o ensaio de espalhamento na mesa de Graff e o método de misturas em duas etapas na produção das misturas, avaliando experimentalmente outras propriedades mecânicas dos concretos, como resistência à tração e módulo de elasticidade.
- Avaliar aspectos de durabilidade dos concretos com agregados graúdos reciclados de concreto, usando como medida de trabalhabilidade o ensaio de espalhamento na mesa de Graff e o método de misturas em duas etapas para a produção dos concretos.
- Avaliar a influência dos agregados miúdos reciclados de concreto na dosagem de concretos reciclados, usando o ensaio de espalhamento na mesa de Graff como medida da trabalhabilidade e o método de mistura em duas etapas na produção dos concretos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. V.; VIEIRA, T. F.; BRITO, J.; CORREIA, J. R. Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 64, p.103-113, 2014.

AMARIO, M. **Dosagem científica de concretos estruturais contendo agregado de resíduo de concreto (ARC)**. 2015. 213f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

AMORIM, P. M. E. **Influência das condições de cura no desempenho em termos de durabilidade de betões com agregados reciclado de betão**. 2008. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.

ANDREU, G.; MIREN, E. Experimental analysis of properties of high performance recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 52, p. 227-235, 2014.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregado de resíduos de construção e demolição reciclados e a influencia de suas características no comportamento de concretos**. 2005. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção de demolição reciclados**. 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014**. São Paulo, 2015. Disponível em: < [HTTP://www.abrelpe.org.br/panorama_envio_2.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_envio_2.cfm)>. Acesso em 20 DE JUNHO DE 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2007a.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7809:** Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11578:** Cimento Portland Composto - Especificação. Rio de Janeiro, 1991a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11579:** Determinação do índice de Finura. Rio de Janeiro, 1991b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 23:** Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 30:** Determinação da Absorção de Água. Rio de Janeiro, 2001b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 43:** Cimento portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 46:** Determinação do Material Pulverulento. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 49:** Determinação de Impurezas Orgânicas. Rio de Janeiro, 2001c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 51:** Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro, 2001d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 52:** Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 2003c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 65:** Determinação do Tempo de Pega. Rio de Janeiro, 2003e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 68:** Concreto – Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248:** Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 6467:** Determinação do Inchamento de Agregado Miúdo. Rio de Janeiro, 2006b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). **Relatório Pesquisa Setorial 2014/2015**. São Paulo, 2015. Disponível em: < HTTP://www.abrecon.org.br. > Acesso em 30 DE JUNHO DE 2016.

BAIRAGI, N. K.; VIDYADHARA, H. S.; RAVANDE, K. Mix design procedure for recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 4, n. 4, p. 188- 193, 1990.

BARROS, M. C. **Avaliação de um resíduo da construção civil beneficiado como material alternativo para sistema de cobertura**. 2005. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência em Engenharia Civil) - Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BENETTI, J. K. **Avaliação do módulo de elasticidade dinâmico de concreto produzido com agregado graúdo reciclado de concreto**. 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2012.

BRAND, A. S.; ROESLER, J.R.; SALAS, A. Initial moisture and mixing effects on higher quality recycled coarse aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 79, p. 83–89, 2015.

BRAVO, M.; BRITO, J.; PONTES, J.; EVANGELISTA, L. Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants. **Construction and Building Materials**, v.77, p.357-369, 2015a.

BRAVO, M.; BRITO, J.; PONTES, J.; EVANGELISTA, L. Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 99, p. 59-74, 2015b.

BRITO, J. **Agregados reciclados e sua influência nas propriedades dos betões**, Lição de Síntese, Provas de Agregação em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2005.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. 254 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D. Mechanical properties modeling of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v.24, n.4, p. 421-430, 2010.

CARDOSO, J. R. A. **Uso do agregado de entulho da construção civil de Manaus – AM para obtenção de bloco de argamassa celular**. 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Manaus, 2010.

CARNEIRO, J.A. **Uso de agregado reciclado e fibras de aço em concreto simples e concreto armado sob flexão**. 2011. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

CARNEIRO, J. A.; LIMA, P. R. L.; LEITE, M.B.; TOLEDO FILHO; R. D. Compressive stress-strain behavior of steel fiber reinforced-recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 46, p. 65-72, 2014.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005.129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CARTUXO, F.; BRITO, J.; EVANGELISTA, L.; JIMÉNEZ, J. R.; LEDESMA, E. F. Rheological behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates-Influence of the superplasticizer. **Construction and Building Materials**,v. 89, p. 36-47, 2015.

CASTRO, A. L. de. **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho**. 2007. 302 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CAVALHEIRO, A.P. **Contribuição para a implementação de agregado reciclado de concreto em uma empresa de pré-fabricados de concreto**. 2011. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

CEIA, F.; RAPOSO, J.; GUERRA, M.; JÚLIO, E.; BRITO, J. Shear strength of recycled aggregate concrete to natural aggregate concrete interfaces. **Construction and Building Materials**, v. 109, p. 139-145, 2016.

CHIDIAC, S. E.; MAADANI, O.; RAZAQPUR, A. G.; MAILVAGANAM, N. P. Controlling the quality of fresh concrete-A new approach. **Magazine of Concrete Research**, v.52,n.5,p. 353-364, 2000.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307 de 05 de julho de 2002**. Brasília, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 348 de 16 de agosto de 2004**. Brasília, 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 431 de 24 de maio de 2011**. Brasília, 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 448 de 18 de janeiro de 2012**. Brasília, 2012.

CORDEIRO, L.N.P. **Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto**. 2013. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CORDEIRO, G. C.; MAIOLI, G. V.; VIEIRA, A. P.; LEITE, M. B. Recycled concrete aggregates from different sources: characterization and use in structural concrete. In: **PROGRESS OF RECYCLING IN THE BUILT ENVIRONMENT**, 3., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2015. p. 176-185.

DAHLBO, H.; DAHLBO, J.; LÄHTINEN, K.; JOUTTIJÄRVI, T.; SUOHEIMO, P.; MATTILA, T.; SIRONEN, S.; MYLLYMAA, T.; SARAMÄKI, K. Construction and demolition waste management – a holistic evaluation of environmental performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 333–341, 2015.

DAMINELI, B. L. **Estudo de métodos para caracterização de propriedades físicas de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

DUALIBE, G. J. **Avaliação de propriedades hidrodinâmicas em materiais granulares e argamassas com cinza pesada e agregado reciclado**. 2008. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

DUAN, Z. H.; POON, C. S. Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars. **Materials and Design**, v.58, p. 19-29, 2014.

ELHAKAM, A. A.; MOHAMED, A. E.; AWAD, E. Influence of self-healing, mixing method and adding silica fume on mechanical properties of recycled aggregates concrete. **Construction and Building Materials**, v. 35, 2012, p. 421-427, 2012.

ETXEBERRIA, M.; VÁZQUEZ, E.; A. BARRA, M. M. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 37, p.735-742, 2007.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v.29, p. 397-401, 2007.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v, 32, p 9-14, 2010.

EVANGELISTA, L.; GUEDES, M.; BRITO, J.; FERRO, A. C.; PEREIRA, M. F. Physical, chemical and mineralogical properties of fine recycled aggregates made from concrete waste. **Construction and Building Materials**, v. 86, p. 178-188, 2015.

EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D. B.; ZANTA, V. M. Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 3, p. 23-40, 2010.

FATHIFAZL, G.; ABBAS, A.; RAZAQPUR, A. G.; ISGOR, O. B.; FOURNIER, B.; FOO, S. New Mixture Proportioning Method for Concrete Made with Coarse Recycled Concrete Aggregate. **Journal of Materials In Civil Engineering**, v. 21, p.601-611, 2009.

FERREIRA, L. M. M. **Betões estruturais com incorporação de agregados grossos reciclados de betão: Influência da pré-saturação**. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

FERREIRA, L.; BRITO, J.; BARRA, M. Influence of the pre saturation of recycled coarse concrete aggregates on concrete properties. **Magazine of Concrete Research**, v. 63, n. 8, p.617-627, 2011.

FIGUEIRÊDO FILHO, J.G.L. **Avaliação da trabalhabilidade de concreto contendo agregado reciclado de argamassa**. 2011. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

FONSECA, A. P. **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo reciclado de telha cerâmica e agregado graúdo natural**. 2006. 200f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

FONSECA, N.; BRITO, J.; EVANGELISTA, L.; The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste. **Cement and Concrete Composites**, v. 33, p. 637-643, 2011.

GALVÍN, A. P.; AGRELA, F.; AYUSO, J.; BELTRÁN, M. G.; BARBUDO, A. Leaching assessment of concrete made of recycled coarse aggregate: physical and environmental characterisation of aggregates and hardened concrete. **Waste Management**, v. 34, p. 1693-1704, 2014 .

GOKCE, A.; NAGATAKI, S.; SAEKI, T.; Hisada, M. Identification of frost-susceptible recycled concrete aggregates for durability of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 25, p. 2426-2431, 2011.

GOMES, M.; BRITO, J. Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates: durability performance. **Materials and Structures**,v 42, 2009, p. 663-675.

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. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

GONZÁLEZ-FONTEBOA, B.; MARTÍNEZ-ABELLA, F.; CARRO, L. D.; SEARA-PAZ S. Stress-strain relationship in axial compression for concrete using recycled saturated coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 25, n.5, p. 2335-2342, 2011.

GONZÁLEZ-FONTEBOA, B.; MARTINEZ-ABELLA, F.; HERRADOR, M. F.; SEARA-PAZ, S. Structural recycled concrete: Behaviour under low loading rate. **Construction and Building Materials**, v. 28, p. 111-116, 2012.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. 1.ed.São Paulo: PINI, 1992. 349p.

HUDA, S. B.; ALAM, M. S. Mechanical behavior of three generations of 100% repeated recycled coarse aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 65, p. 574-582, 2014.

ISMAIL, S.; RAMLI, M. Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications. **Construction and Building Materials**, v. 44, p. 464–476, 2013.

JIMÉNEZ, A. M. G. **Estudo experimental de um resíduo de construção e demolição (RCD) para utilização em pavimentação**. 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

JOCHEM, L. F. **Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de rcd: características físicas e propriedades da microestrutura**. 2012. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

JUAN, M. S.; GUTIÉRREZ, P. A. Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 23, p. 872-877, 2009.

KATZ, A.; BAUM H.; Effect of High Levels of fines content on concrete properties. **Aci Materials Journal**, v. 6, p.474- 482, 2006.

KONIN, A; KOUADIO, D. M. Mechanical and abrasion resistance of recycled aggregates concrete in relation to the cement content. **Modern Applied Science**, v.6, n. 1, p.88-96, 2012.

KOU, S-C.; POON, C-S.; AGRELA, F. Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures. **Cement and Concrete Composite**, v. 33, p. 788-795, 2011a.

KOU, S.-C.; POON, C.-S.; ETXEBERRIA, M. Influence of recycled aggregates on long term mechanical properties and pore size distribution of concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 33, n. 2, p. 286-291, 2011b.

KRÜGER P., SOUZA A. B., KONOFAL W. U. Estudo da trabalhabilidade em argamassas e concretos com utilização de RCD. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 8., 2013, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, 2013. p. 1-8.

KWAN W. H.; RAMLI, M. KAM, K. J.; SULIEMAN M. Z. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties. **Construction and Building Materials**, v. 26, p. 565-573, 2012.

LEDESMA, E.F.; JIMÉNEZ, J.R.; FERNÁNDEZ, J.M.; GALVÍN, A.P.; AGRELA, F.; BARBUDO, A. Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 71, p. 289-298, 2014.

LEITE, M.B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa Pós-graduação em engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEITE, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, J.G. L.; LIMA, P. R. L. Workability study of concretes made with recycled mortar aggregate. **Materials and Structure**, v.46, n.10, 2013, p.1765-1778.

LEITE, M. B.; COSTA, J. A. Estudo da influência do agregado reciclado de concreto de pré-moldados na resistência do concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais...** Maceió:IBRACON, 2014. p. 1-10.

LEITE, M.B.; MONTEIRO, P.J.M.; Microstructural analysis of recycled concrete using X-ray microtomography. **Cement and Concrete Research**, v. 81, p. 38-48, 2016.

LEITE, M.B.; MONTEIRO, P.J.M. Avaliação da influência do concreto de origem na produção de concretos reciclados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56., 2014, Natal. **Anais...** Natal: ANTAC, 2014. p. 1-13.

LEVY, S.M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LI, W.; XIAO, J.; SUN, Z.; KAWASHIMA, S.; SHAH, S.P. Interfacial transition zones in recycled aggregate concrete with different mixing approaches. **Construction and Building Materials**, v. 35, p.1045-1055, 2012.

LIU, K.; YAN, J.; HU, Q.; SUN, Y.; ZOU, C. Effects of parent concrete and mixing method on the resistance to freezing and thawing of air-entrained recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 106, p. 264–273, 2016.

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

LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MALTA, J. O. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição**. 2012. 1792 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana)- Escola Politécnica, Universidade federal da Bahia, Salvador, 2012.

MARTÍN-MORALES, M.; ZAMORANO, M.; RUIZ-MOYANO, A.; VALVERDE-ESPINOSA, I. Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08. **Construction and Building Materials**, v. 25, n.2, p. 742-748, 2011.

MAS,B.; CLADERA, A.; OLMO, T.; PITARCH, F. Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. **Construction and Building Materials**, v. 27, p. 612-622, 2012.

MATIAS, D.; BRITO, J.; ROSA, A. PEDRO, D. Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers. **Construction and Building Materials**, v. 44, p. 101-109, 2013.

MCNEIL, K.; KANG, T. H.-K. Recycled Concrete Aggregates: A Review. **Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 1, p.61-69, 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2.ed.São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.

MIRANDA, L. F. R.; ÂNGULO, S. C.; CARELI, E. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.

MOITINHO, B.L.R; LEITE, M. B. Estudo da produção de concretos reciclados utilizando agregados de argamassa. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2015. p.1-15.

MOREIRA, L. H. H. **Avaliação da influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MYMRIN, V.A.; ALEKSEEV K. P.; CATAI, R. E.; IZZO, R.L.S.; ROSE, J. L. NAGALLI A; ROMANO, C. A. Construction material from construction and demolition debris and lime production wastes. **Construction and Building Materials**, v.79, p. 207–213, 2015.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2015, 888 p.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2.ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2013. 448 p.

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

OLIVEIRA, M. E. D. **Agregado reciclado de construção e demolição: influência em propriedades de argamassas para revestimento**. 2012. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.

OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. 2002. 191f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

OLIVEIRA, V. H. M.; SERRA, S. M. B. Gestão de resíduos perigosos na construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO NA CONSTRUÇÃO CIVIL,4., 2015, São Paulo. **Anais...**São Paulo: USP, 2015.p. 1-15.

OMARY S.; GHORBELM E.; WARDEH, G. Relationships between recycled concrete aggregates characteristics and recycled aggregates concretes properties. **Construction and Building Materials**, v. 108, p. 163-174, 2016.

OTSUKI, N.; YODSUDJAI, W.; NISHIDA, T.; YAMANE, H. Developed method for measuring flexural strength and modulus of elasticity of micro-regions in normal and recycled aggregate concretes. **Magazine of Concrete Research**, v. 55, p. 439-448, 2003.

OYANADEL, V. V. L. **Influencia del contenido de adiciones puzolánicas y del proceso de elaboración de la mezcla en la resistencia mecánica del hormigón**. 2009. 217 f. Memoria para optar al título de ingeniera civil- Departamento de Ingeniería Civil- Universidad de Chile, Santiago, 2009.

ÖZALP, F.; YILMAZ, H. D.; KARA M.; KAYA, Ö.; SAHIN, A. Effects of recycled aggregates from construction and demolition wastes on mechanical and permeability properties of paving stone, kerb and concrete pipes. **Construction and Building Materials**, v. 110, p. 17-23, 2016.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Reusing ceramic wastes in concrete. **Construction and Building Materials**, v.24,n. 5, p. 832–838, 2010.

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

PADOVAN, R. G. **Influência da pré-molhagem nas propriedades de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto**. 2013. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

PEDROZO, R. F. E. **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos**. 2008. 161 f. .Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

PEPE, M.; TOLEDO FILHO, R. D.; KOENDERS, E.A.B.; MARTINELLI, E. Rational mix design approach for recycled aggregate concrete. In: PROGRESS OF RECYCLING IN THE BUILT ENVIRONMENT, 3., 2015. São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2015. p. 85-92.

PEPE, M.; TOLEDO FILHO, R. D. ; KOENDERS, E. A.B. ; MARTINELLI, E. Alternative processing procedures for recycled aggregates in structural concrete. **Construction and Building Materials**, v. 69, p. 124-132, 2014.

PEREIRA, E. ; MEDEIROS, M. H. F.; LEVY, S. M. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 3, p. 125-134. 2012.

POON, C.S; SHUI, Z.H.; LAM, L. H. FOK; KOU, S.C. Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. **Cement and Concrete Research**,v. 34, p. 31-36,2004a.

POON, C.S.; SHUI, Z.H.; LAM, L. Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates. **Construction and Building Materials**,v. 18, p. 461-468, 2004b.

RAHMAN I.A.; HAMDAM H.; ZAIDI, A. M. A. Assessment of Recycled Aggregate Concrete. **Modern Applied Scienc**. v. 3, n. 10, p.47-54, 2009.

RANGEL, C. S. **Influência de agregados graúdos reciclados nas propriedades estruturais de concretos de resistência normal e de alto desempenho**. 2015. 204f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

RAVINDRARAJAH, R. S. Utilization of waste concrete for new construction. **Conservorion e Recycling**, v. 10, n. 2-3, p. 69-74, 1987.

REIS, C. N. S. **Influência da utilização de agregado miúdo de rcd na aderência aço-concreto reciclado**. Feira de Santana, 2009. 151f . Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

REIS, F. J. L. **Avaliação da durabilidade de concreto produzido com agregados graúdos reciclados provenientes de cerâmica vermelhas com diferentes taxas de pré-saturação**. 2013.141f . Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

REIS, N.; BRITO, J.; CORREIA, J. R.; ARRUDA, M. R. Punching behaviour of concrete slabs incorporating coarse recycled concrete aggregates. **Engineering Structures**, v. 100, p. 238-248, 2015.

RODRIGUES, C. R. S.; FUCALE, S. Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 99-111, 2014.

RODRIGUES, P.P.F. **Parâmetros de dosagem do concreto**. 2. ed. São Paulo: ABCP, 1995, 32p.

SAFIUDDIN, MD.; ALENGARAM, U. J.; SALAMB, MD. A. Properties of High-Workability Concrete with Recycled Concrete Aggregate. **Materials Research**, v. 14, n. 2, p. 248-255, 2011.

SANTIAGO, E. Q. R. **Utilização de agregados de EVA e RCD para obtenção de concretos leves**. 2008. 168f . Dissertação (Mestrado Graduação em Engenharia Civil e Ambiental)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

SANTIAGO, E. Q.; LIMA, P. R.; LEITE, M. B.; TOLEDO FILHO, R. D. Mechanical behavior of recycled lightweight concrete using EVA waste and CDW under moderate temperature. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v.2, n.3, p. 211- 221, 2009.

SANTOS, A.A.M; SILVA, A. P. G.; MOURA, W. A. Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado de argamassa e agregado reciclado misto nas propriedades de argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO NA CONSTRUÇÃO CIVIL,4., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2015. p. 1-14.

SANTOS, A.N. **Diagnóstico da situação dos resíduos de construção e demolição (rcd) no município de petrolina (Pe)**. 2008. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

SANTOS, D. R. **Propriedades do concreto produzido com agregado graúdo reciclado de resíduos da etapa de produção das alvenarias**. 2006. 131f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia do Meio Ambiente)- Programa de Pós- Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

SHI, C.; LI, Y.; ZHANG, J.; LI, W.; CHONG, L.; XIE, Z. Performance enhancement of recycled concrete aggregate: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 466-472, 2016.

SCHNEIDER, D.M.; PHILIPPI JR., A. Gestão pública de resíduos da construção civil no município de São Paulo. **Ambiente construído**, v.4 n.4, p.21-32, 2004.

SEARA-PAZ, S ; GONZÁLEZ-FONTEBOA, B ;EIRAS-LÓPEZ, J.; HERRADOR, M. F. Bond behavior between steel reinforcement and recycled concrete. **Materials and Structures**, v. 47, p. 323-334, 2014.

SILVA, K.A. N. **Estudo de propriedades mecânicas de concretos produzidos com diferentes agregados reciclados**. 2011. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

SILVA, R.V.; BRITO, J.; DHIR, R.K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 65, p. 201-217, 2014.

SOARES, D.; BRITO, J.; FERREIRA, J.; PACHECO, J. In situ materials characterization of full-scale recycled aggregates concrete structures. **Construction and Building Materials**, v.71, p. 237-245, 2014a.

SOARES, D.; BRITO, J.; FERREIRA, J.; PACHECO, J. Use of coarse recycled aggregates from precast concrete rejects: Mechanical and durability performance. **Construction and Building Materials**, v. 71, p. 263-272, 2014b.

TABSH, S. W.; ABDELFAH, A. S. Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 23, p. 1163-1167, 2009.

TAM, V.W.Y.; GAO, X.F.; TAM, C.M. Micro-structural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. **Cement and Concrete Research**. v.35, n. 6, p. 1195-1203, 2005.

TAM, V.W. Y.; TAM, C. M. Parameters for assessing recycled aggregate and their correlation. **Waste Management and Research**, v. 27, p. 52-58, 2009.

TAM, V. W.Y.; TAM, C.M.; WANG, Y. Optimization on proportion for recycled aggregate in concrete using two-stage mixing approach. **Construction and Building Materials**, v. 21, p. 1928-1939, 2007.

TEGGUER, A. D. Determining the water absorption of recycled aggregates utilizing hydrostatic weighing approach. **Construction and Building Materials**, v. 27, p. 112-116, 2012.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. 2007.

138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

TSENG, E. **Reciclagem total de pavimentos de concreto como agregados para construção de novos pavimentos de concreto: o caso do Rodoanel Metropolitano Mário Covas.** 2010. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

TOPÇU, B.I.; SENDEL S. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. **Cement and Concrete Research**, v.34, p. 1307-1312, 2004.

TOPÇU, I. B.; GÜNÇAN, N. F. Using waste concrete as aggregate. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 7, p. 1385-1390, 1995.

TROIAN, A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto.** 2010. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Leopoldo, 2010.

VIEIRA, M.C.; KLEMM, D.; EINFELDT, L.; ALBRECHT, G. Dispersing agents for cement based on modified polysaccharides. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 883-890, 2005.

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.** 2003. 150f. Dissertação de (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

VIEIRA, G. L.; Dal Molin, D. C.C. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 4, p. 47-63, 2004.

VIEIRO, E. H. **Aplicação de areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento portland.** 2010. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do sul, 2010.

WEIDMANN, D. F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland.** 2008. 273f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civi, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

WERLE, A. P. **Determinação de propriedades de concretos com agregados reciclados de concreto, com ênfase na carbonatação.** 2010. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

YANG, J.; DU, Q.; BAO Y. Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 1935-1945, 2011.

YOUNIS, K.H.; PILAKOUTAS, K. Strength prediction model and methods for improving recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 49, p. 688-701, 2013.

ZAHARIEVA, R.; BUYLE-BODIN, F.; SKOCZYLAS, F.; WIRQUIN, E. Assessment of the surface permeation of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Composites**. v. 25, p. 223- 232, 2003.

ZAETANG, Y.; SATA, V.; WONGSA, A.; CHINDAPRASIRT, P. Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 111, p. 15-21, 2016.

ZEGA, C. J.; MAIO, A. A. Recycled concrete made with different natural coarse aggregates exposed to high temperature. **Construction and Building Materials**, v. 23, p. 2047-2052, 2009.

ZHU, L.; DAI, J.; BAI, G.; ZHANG, F. Study on thermal properties of recycled aggregate concrete and recycled concrete blocks. **Construction and Building Materials**, v. 94, p. 620-628, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

Tabela 36: Resultados individuais de resistência à compressão axial para misturas produzidas com o método do IPT/EPUSP

Método	Mistura	m	Resistência à Compressão (MPa)							
			7 dias				28 dias			
IPT/EPUSP	20%-N1	3,5	34,9	34,4	34,7	33,1*	48,6	45,6	43,2*	47,6
		5,0	32,4	32,5	31,2	-	37,2	32,7*	38,1	40,4
		6,5	21,3	17,1*	22,0	21,4	26,0	30,0*	25,0	26,6
	20%-N2	3,5	36,5	35,9	36,2	35,7*	42,8	45,5	41,1*	44,4
		5,0	31,4	29,6	30,3	-	38,7	36,6	35,0*	37,4
		6,5	21,7	20,6*	24,2	23,4	25,4	27,2	26,8	-
	40%-N1	3,5	39,4	38,6*	38,8	41,5	45,2	44,1	46,3	-
		5,0	32,4	32,0	30,3	27,5*	36,8	34,8	36,8	31,8*
		6,5	21,2	21,0	22,4	-	26,3	28,2	21,7*	28,0
	40%-N2	3,5	39,6	38,5	38,7	-	47,1	49,3	45,9	-
		5,0	31,2	31,9	30,7	29,2*	30,0*	34,0	34,2	36,3
		6,5	19,8*	21,6	21,4	20,3	27,6	27,3	27,5	-

NOTA: * - Valores excluídos no cálculo das medias para reduzir dispersão.

Tabela 37: Resultados individuais de resistência à compressão axial para misturas produzidas com o método da ABCP

Método	Mistura	m	Resistência à Compressão (MPa)							
			7 dias				28 dias			
ABCP	20%-N1	3,8	35,1*	30,7	30,8	28,7	42,4	42,8	29,9*	45,0
		5,4	28,8*	25,0	25,2	27,3	36,5	31,1*	35,4	33,5
		6,2	20,2	19,5*	21,2	20,2	26,0	25,5*	26,1	27,5
	20%-N2	3,6	35,3	34,3	34,9	32,1*	40,5	41,7	42,8	39,4*
		4,8	26,1	26,9	28,5	-	33,9	33,1	33,3	30,6*
		5,9	21,9	20,8*	21,7	21,7	23,3*	25,7	24,9	27,1
	40%-N1	3,7	29,5	26,8	27,3	31,0*	39,3	39,9	38,7	45,6*
		5,3	25,5	25,4	25,1*	26,6	31,1	34,6*	30,3	29,2
		6,3	21,6	21,4	22,8	21,0*	24,1*	29,3	27,2	29,0
	40%-N2	3,5	33,2	31,1*	33,6	31,9	43,6	45,2	45,9	41,8*
		4,7	27,3	27,1	27,5	-	32,9	34,1	34,4	32,4*
		5,8	22,7	24,0	22,2	21,4*	26,8	27,3	30,4*	28,6

NOTA: * - Valores excluídos no cálculo das medias para reduzir dispersão.