

ARGAMASSA CONTENDO AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Juliana Oliveira Malta

Mestre em Engenharia Ambiental Urbana/UFBA. Grupo de Estudos em Materiais de Construção da Universidade Federal da Bahia. (jumalta@hotmail.com)

Vanessa Silveira Silva

Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais/EESC-IFSC-IQSC/USP. Departamento de Ciências e Tecnologia de Materiais da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. (vanessass@ufba.br)

Jardel Pereira Gonçalves

Doutor em Engenharia Civil/UFRJ. Departamento de Construção e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. (jardelpg@ufba.br)

Resumo

Os diferentes tratamentos dados aos agregados reciclados influenciam nas propriedades das argamassas, nos estados fresco e endurecido. Como esses agregados também possuem características peculiares, tais como, elevada absorção, forma lamelar, textura áspera e menor massa específica, surge a necessidade de estudar as diferentes práticas empregadas na dosagem de misturas contendo resíduos. Este trabalho visa avaliar a influência da incorporação de agregado miúdo reciclado em argamassas nos estados fresco e endurecido. Foram realizadas misturas de referência, com teores de 25% e 50% de substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado. Para avaliar a influência da adição do resíduo nas argamassas no estado fresco, utilizou-se o ensaio da mesa de consistência e no estado endurecido, os ensaios de resistência à compressão axial nas idades de 3, 7 e 28 dias, além do ensaio de absorção por imersão, na idade de 28 dias. Os resultados mostram que as misturas com agregado miúdo reciclado apresentaram-se menos resistentes e mais absorventes em relação às de referência. Este fato pode endossar a ideia de que a água de compensação utilizada para misturar as argamassas recicladas pode não permanecer no interior do agregado reciclado, migrando para a pasta, aumentando a relação água/cimento da mesma, tornando-a mais porosa e menos resistente.

Palavras-chave: Argamassas, resistência à compressão, agregado miúdo reciclado.

Abstract

The different treatments given to recycled aggregates influence the properties of mortars in fresh and hardened states. As these aggregates have peculiar characteristics such as high absorption, lamellar form, rough texture and lower density, there is a need to study the different practices used in the determination of mixtures containing waste. This paper aims to evaluate the influence of incorporation of recycled fine aggregates in mortars in fresh and hardened states. Reference mixtures were made, as well as mixtures with levels of 25% and 50% substitution of natural fine aggregate for recycled fine aggregate. To evaluate the influence of addition of the waste in mortars in the fresh state, the flow table was used. To estimate this effect in the hardened state, compressive strength tests at ages 3, 7 and 28 days were performed, in addition to absorption by immersion test at 28 days. The results showed that mixtures with recycled fine aggregates were more absorbent and less resistant in relation to the reference mortar. This fact can endorse the idea that the compensation water used to mix the recycled mortars probably does not remain inside the recycled aggregate. It may go to the paste, increasing the w/c relationship of it, making it more porous and less resistant.

Keywords: Mortar, mix design, recycled fine aggregate.

INTRODUÇÃO

O déficit habitacional brasileiro passou para 5,8 milhões em 2010, segundo divulgação do Ministério das Cidades, durante o 5º. Fórum Urbano Mundial, no Rio de Janeiro, com base nos dados da Fundação João Pinheiro (2010). Todavia, a resolução dos problemas relacionados ao mercado de habitação ainda se constitui num grande desafio do setor da construção civil no Brasil. A indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais, sendo responsável por um consumo em torno de 50% dos recursos naturais utilizados (AGOPYAN; JOHN, 2011). A utilização desses recursos naturais se dá, principalmente, na produção de cimento e no beneficiamento de agregados, pedra britada e areia, visando à produção de argamassas e concretos e, conseqüentemente, as edificações.

Com relação à indústria de agregados, esta é responsável por 16,51% da produção mineral brasileira, sendo 5,62% desse total destinado à produção de areia e cascalho e 10,89% ao setor de pedra britada (TOLMASQUIN; SZKLO, 2000). Estima-se que no Brasil, em 2007, a produção de agregados naturais foi de 496 milhões de toneladas, sendo que 279 milhões de toneladas de areias e 217 milhões de toneladas de pedra britada (LA SEMA *et al.*, 2008). O processo de beneficiamento de agregados utiliza, principalmente, a energia elétrica como força motriz para acionamento de motores elétricos, britadores, esteiras, peneiras vibratórias, caminhões para transporte e iluminação. A queima de combustível, utilizada para a produção dos agregados, também é responsável por emissões de gases (CO, CH₄, CO₂, etc.).

Analisados sob aspectos técnicos, os impactos gerados pela construção civil se agravam pelo uso e desenvolvimento insuficiente de novas tecnologias mais racionalizadas, desperdício de materiais e baixa qualificação profissional. O consumo excessivo de materiais e o alto índice de perdas promovem um acréscimo no custo total dos empreendimentos, visto que muitos materiais e elementos construtivos não atendem as especificações técnicas.

Assim, o setor envolve processos com o consumo de grandes quantidades de energia,

além de gerar poluição e resíduos. A geração de resíduos sólidos municipais, notadamente os de construção e demolição (RCD), tem sido um dos grandes problemas enfrentados pelas municipalidades e pelo setor da construção civil, visto que a Resolução CONAMA n. 307/2002, obriga, por parte dos geradores, à correta destinação e beneficiamento dos RCD, os quais não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de "bota fora", em encostas, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei. Sob uma ótica social, o reaproveitamento desse material reflete-se em uma ótima oportunidade de transformação de uma fonte importante de despesa, com disposição e manejo de resíduo, em uma fonte de faturamento, com capacitação de pessoal de baixa renda para aproveitamento do material e fabricação de produtos de maior valor agregado.

O mercado da construção civil apresenta-se, dessa forma, como uma das melhores alternativas para reaproveitar materiais reciclados, pois o grande volume de novas construções necessita de elevada quantidade e diversidade de materiais. A incorporação do RCD na produção de materiais e elementos construtivos reduz, significativamente, o consumo de energia e de agregados naturais, o que permitirá a redução do custo final das habitações. Entretanto, para a viabilidade técnica do RCD como material de construção, alguns estudos ainda necessitam serem desenvolvidos. Este trabalho contribui nessa direção, avaliando a influência da incorporação do agregado miúdo reciclado (AMR), produzido a partir de RCD, em argamassas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No Brasil, a Gestão de Resíduos da Construção Civil (GRCC) teve início em municípios das regiões Sudeste e Nordeste, destacando-se, inicialmente, Belo Horizonte e Salvador. A partir de 2002, com a Resolução CONAMA nº 307/2002, houve crescimento das legislações municipais. Contudo, elas não apresentam parâmetro comum em relação à geração, desfavorecendo o beneficiamento em usinas de reciclagem de Resíduo de Construção Civil (RCC). Os municípios brasileiros necessitam, também, de metodologia

adequada que possibilite determinar a geração de RCC, de modo que se favoreça a atividade industrial da reciclagem (MELO, 2011).

Com relação à cidade de Salvador/Bahia, a coleta diferenciada e integrada dos resíduos sólidos realizada pelo Poder Público Municipal, apresentou no ano de 2011, uma média diária de 5.302 t/dia, o que corresponde a: 54,31% de resíduos sólidos urbanos, 44,08% de resíduos da construção e demolição (RCDs), 1,61% de resíduos sólidos vegetais (RSVs), aqueles provenientes das podas das árvores e de feiras livres, e 0,002% referentes a animais mortos recolhidos em vias e logradouros públicos, caracterizados como resíduos de serviços de saúde (RSSs) (LIMPURB, 2011).

Apesar das iniciativas públicas do município de Salvador/BA, como o Projeto de Gestão Diferenciada do Entulho da Empresa de Limpeza Urbana de Salvador (LIMPURB) e das Resoluções do CONAMA (2002) nº 307 e 431, específicas para o setor da construção civil, ainda é muito pequena a quantidade de empresas de construção civil da capital baiana que realizam a gestão eficiente dos resíduos em seus canteiros. (EVANGELISTA, 2010).

Entretanto, algumas empresas e prefeituras têm tido iniciativas que visam o beneficiamento e o reaproveitamento do RCD em diversas aplicações, como, por exemplo, em Belo Horizonte, onde a Prefeitura usa na pavimentação, desde 1994, os agregados reciclados produzidos em suas usinas. Em 2005, a Prefeitura de São Bernardo do Campo consumiu cerca de 4.800 m³ de agregado reciclado do tipo bica corrida para a manutenção de ruas não pavimentadas. Para o mesmo tipo de uso e na mesma época, a Prefeitura de Mauá consumiu cerca de 4.000 m³. Ambas as obras foram realizadas com êxito. Ainda em 2005, a sub-base do Campus Zona Leste da USP, em São Paulo, foi realizada com agregados reciclados (MIRANDA *et al.*, 2009).

Para a aplicação do RCD na Construção Civil, os critérios para beneficiamento devem ser observados em função do tipo de aplicação, pois cada agregado reciclado deve apresentar características compatíveis com as respectivas aplicações. Além disso, os resíduos gerados são específicos de cada obra e diferentes em função da fase da construção. Para o uso em argamassas e concretos, alguns estudos ainda precisam ser

desenvolvidos para sua viabilidade técnica, pois os agregados produzidos a partir do RCD apresentam características específicas, tais como: a) composição definida a partir da composição do RCD (fases de cerâmica, concreto, rocha e argamassa); b) o processo de britagem (tipo de britador e classificação granulométrica) define a granulometria do agregado reciclado (AR) e teor de finos; c) elevada porosidade e absorção; d) forma lamelar e textura mais áspera; e e) massa específica em média 14% a menos na condição seca e 9% a menos na condição saturado superfície seca, em relação aos agregados convencionais (GÓMEZ-SÓBERON 2002). Essas características mencionadas foram verificadas por alguns autores, como Barra (1996), Lima (1999), Gonçalves (2001), Leite (2001), Gómez-Sóberon (2002), Vieira (2003), Pedrozo (2008), Reis (2009) e Brito & Evangelista (2010).

Assim, são necessários estudos específicos devido à grande variabilidade do RCD produzido em cada região, a fim de se obter uma utilização segura do AR em diversas aplicações, tais como pavimentação, blocos, concretos, argamassas etc. Em função disso, para se produzir materiais cimentícios utilizando o AR, é necessário definir procedimentos específicos, pois a elevada porosidade do agregado reciclado interfere na quantidade de água das misturas, influenciando as propriedades das misturas, nos estados fresco e endurecido.

A quantidade de água total utilizada numa mistura em relação à quantidade de cimento influencia nas propriedades mecânicas das misturas. Devido à elevada porosidade do AR, parte da água utilizada na mistura é absorvida, de forma que não há um controle sobre a água livre e a água quimicamente combinada dessas misturas, o que influencia nas propriedades reológicas no estado fresco e nas propriedades mecânicas. Segundo a ACHE (2006), o teor de umidade e a absorção efetiva dos agregados reciclados influenciam nas diferentes propriedades do material cimentício (trabalhabilidade, resistências, módulos e durabilidade).

Alguns pesquisadores utilizam o procedimento da compensação (podendo ser feita a compensação total ou parcial da taxa de absorção do AR) para viabilizar a aplicação do agregado reciclado. Constatou-se que pesquisadores, tais como Leite (2001), Vieira

(2003) e Brito e Evangelista (2010), compensam 50% da água de absorção dos agregados reciclados. Outros pesquisadores compensam 70%, tais como Carrijo (2005) e Ângulo (2005). Já Etxeberria *et al.* (2007) compensam 80% da água de absorção dos agregados reciclados.

Existem outras formas de empregar os agregados reciclados nas misturas, como, por exemplo, seco em estufa, seco ao ar (MACHADO JR *et al.* 2000; PEDROZO, 2008) ou, ainda, saturado com superfície seca (Levy, 2001). A compensação tem sido determinada a partir de ensaios de absorção do agregado reciclado, tais como o desenvolvido por Leite (2001) e adaptado por Reis (2009), em que se monitora o ganho de massa do material submerso com o auxílio de uma balança dotada de um dispositivo para medida hidrostática da massa com precisão de 0,1 g. O monitoramento do ganho de massa do material deve ser realizado ao longo de 24 horas.

O processo de compensação pode amenizar os problemas de consistência das misturas, mas pode, também, induzir ao erro, pois, quando se compensa parte da taxa de absorção dos agregados reciclados, não se pode garantir que eles vão absorver toda a água compensada, podendo ser mais ou menos. Além disso, sabe-se que essa absorção não ocorre de forma uniforme, tornando a relação água/cimento (*a/c*) da pasta variável, o que dificulta ainda mais a aplicação em maior escala de materiais confeccionados a partir de AR. Isso ocorre, pois a relação *a/c* teórica será diferente da relação *a/c* efetiva da mistura. Entende-se por relação *a/c* efetiva a diferença entre a água total acrescentada à mistura e a água absorvida pelos agregados reciclados, dividida pelo total de cimento adicionado. Ou seja, é a relação da quantidade de água que reage com a matriz pela quantidade total de cimento (MALTA, 2012).

Não se pode controlar a relação *a/c* efetiva praticando a compensação ou, até mesmo, sem praticá-la, pois o AR empregado seco (em estufa ou ao ar) poderá absorver água de amassamento, diminuindo a relação *a/c* teórica. Assim, pode-se afirmar que os diferentes procedimentos dados aos agregados reciclados vão proporcionar misturas com parâmetros de dosagem e propriedades diferentes. Devido a isso e às características peculiares dos agregados reciclados, surge a necessidade de estudar as

diferentes práticas de dosagem e suas influências em algumas propriedades das argamassas.

MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA

Visando atender aos objetivos propostos, foi desenvolvido um programa experimental contendo o beneficiamento e caracterização do RCD, da areia natural e apresentação dos métodos utilizados.

Materiais Utilizados

Na confecção das argamassas, foi utilizado o cimento Portland composto CP V - ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial). O agregado miúdo utilizado foi areia natural de origem quartzosa, comercializada no mercado de Salvador e utilizada toda a fração passante na malha de 4,75mm.

Resíduo de Construção e Demolição (RCD)

Foi realizado um estudo com o RCD, abrangendo as etapas de segregação, composição gravimétrica, beneficiamento e caracterização dos agregados reciclados. O RCD foi proveniente do canteiro de obra de uma construtora da cidade de Salvador. Trata-se de um condomínio residencial composto por duas torres, que possui um PGRCC – Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, tendo boas práticas de coleta, acondicionamento, segregação e destinação de resíduos em seu canteiro, sendo esse o motivo de sua escolha.

A coleta e segregação dos resíduos ocorreram no próprio canteiro de obras na baía de resíduos Classe A. O RCD foi separado manualmente a fim de determinar sua composição gravimétrica em frações de argamassa, concreto, alvenaria e outros (classificam-se como “outros” as partes contendo mais de um resíduo, como, por exemplo, parte de blocos cerâmicos com argamassa aderida).

É importante comentar a fase em que se encontrava a obra na época da coleta dos resíduos, pois isso tem influência direta na composição final do RCD. Por exemplo, durante a fase de coleta do resíduo, a obra se encontrava em fase de elevação de alvenaria de blocos cerâmicos, portanto, praticamente 50% da fração de cerâmica é que compõe o entulho geral, sendo

seguida por argamassa, concreto e “outros”. Após a pesagem das frações constituintes do resíduo, foi determinada a composição gravimétrica do mesmo, ilustrada na Figura 1 a.

A britagem do resíduo ocorreu num britador de martelo no próprio canteiro de obras. Esse britador é um tipo de máquina que fornece um agregado reciclado de granulometria mais fina em comparação com o britador de mandíbulas. Terminada a fase de britagem, os resíduos, já transformados em agregados, foram peneirados em peneira de malha 4,75 mm, a fim de determinar a faixa granulométrica de utilização da areia reciclada (Figura 1b).

Para os ensaios com agregados reciclados, foram utilizados os mesmos procedimentos normalizados para agregados

convencionais, com exceção do ensaio de absorção, que foi realizado a partir do método proposto por Leite (2001) e adaptado por Reis (2009).

A Tabela 1 mostra os resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo natural (AMN) e do agregado miúdo reciclado (AMR), utilizados neste estudo.

A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas dos agregados miúdos, natural e reciclado, utilizados neste trabalho. A água utilizada foi da concessionária de abastecimento local da cidade de Salvador/BA.

Figura 1 - Beneficiamento do RCD: a) composição gravimétrica; b) areia reciclada

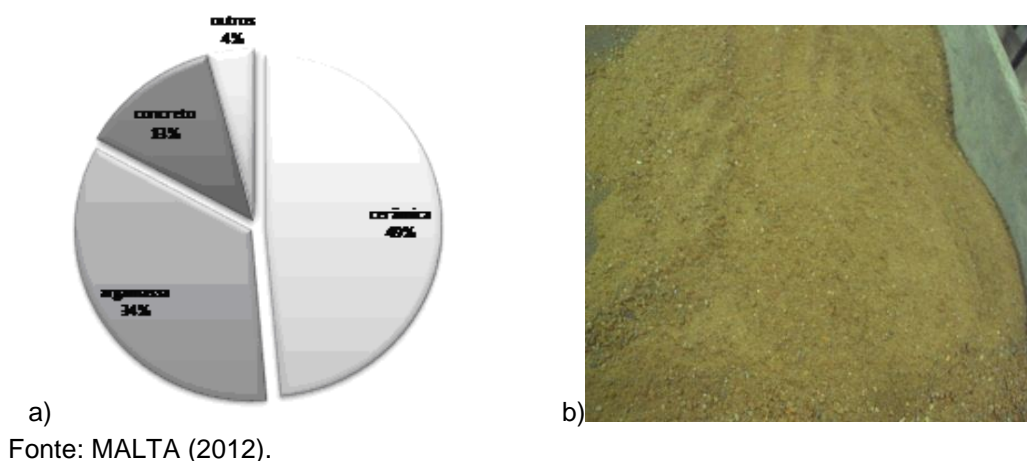
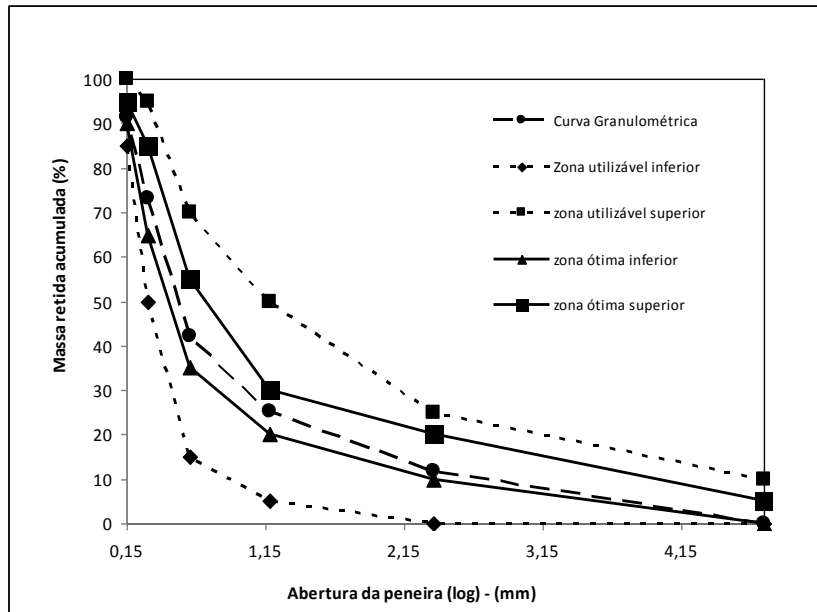


Tabela 1 - Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados miúdos, natural e reciclado.

Características	Norma	AMN	AMR
Materiais Pulverulentos	NBR NM 46, 2003	4,38%	6,09%
Massa Específica	NBR NM 52, 2009	2,62kg/dm ³	2,46 kg/dm ³
Impurezas Orgânicas	NBR NM 49, 2001	Apresentou uma coloração mais clara que a amostra padrão – ok.	Apresentou uma coloração mais clara que a amostra padrão – ok.
Massa Unitária Solta	NBR NM 45, 2006	1,57 kg/dm ³	1,16 kg/dm ³
Granulometria	NBR NM 248, 2003	Módulo de finura: 1,52	Módulo de finura: 2,44
		Dimensão Máxima Característica: 1,18 mm	Dimensão Máxima Característica: 4,75 mm

Fonte: MALTA (2012).

Figura 2 - Curvas granulométricas das Areias natural e reciclada



Fonte: MALTA (2012)

Pode-se notar que a curva granulométrica do agregado miúdo reciclado se encontra dentro dos limites da zona ótima inferior e superior, apresentando uma melhor distribuição granulométrica com formas mais contínuas em relação à areia natural em questão.

A Figura 3a ilustra o aparato utilizado no ensaio de absorção para agregados reciclados, e a Figura 3b apresenta o gráfico obtido a partir da realização do ensaio de absorção *versus* tempo. A partir deste ensaio, pôde-se obter a taxa de absorção total do agregado para 24h de imersão, que foi de 16,35%. Foi utilizada como taxa de compensação a porcentagem absorvida referente

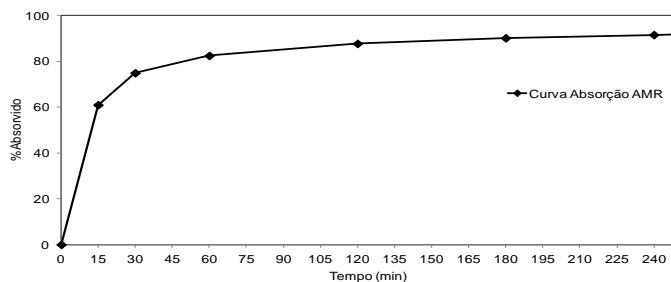
ao tempo de 10 minutos, correspondendo a uma absorção de 40,71%. Para calcular a taxa de compensação de parte da água de absorção dos agregados reciclados, utilizamos 40,71% de 16,35%, que conferiu uma taxa final de 6,66% de compensação aos 10 minutos.

Pode-se perceber, a partir do gráfico, que o maior ganho de massa pelo AMR foi até os 15 primeiros minutos. No entanto, esse tempo é muito alto para se esperar o pré-umedecimento do agregado antes da mistura. Logo, adotou-se, nesta pesquisa, a taxa de compensação para um tempo de 10 minutos.

Figura 3 - a) Esquema do ensaio de absorção de agregados reciclados; b) Gráfico % absorvida *versus* tempo



a)



b)

Fonte: MALTA (2012).

Métodos

Visando atender aos objetivos propostos, foram desenvolvidas misturas de argamassas com proporção cimento/areia igual a 1:1,5 e relação água/cimento (*a/c*) de 0,4, 0,5 e 0,6. Moldaram-se 16 corpos-de-prova para cada mistura.

Foram produzidas argamassas de referência (somente com agregado natural) e misturas com substituições de 25% e 50% de agregados miúdos naturais por miúdos reciclados. A substituição ocorreu em massa, porém, devido à diferença entre as massas específicas do agregado reciclado e do agregado natural, fez-se necessário corrigir a massa de AMR empregada, a fim de manter o mesmo volume de mistura produzido. Para as misturas com incorporação de AMR, a taxa de compensação correspondente utilizada foi de 6,66% em relação à taxa de absorção total. A areia reciclada foi pré-saturada por 10 minutos, antes da mistura.

As argamassas foram divididas em: a) ARG REF: argamassas de referência, somente com agregados naturais; b) ARG 25%: argamassas com 25% de substituição do agregado miúdo natural (AMN) pelo agregado miúdo reciclado (AMR), que tiveram suas taxas de absorção parcialmente compensadas e c) ARG 50%: argamassas com 50% de substituição do AMN pelo AMR, que tiveram suas taxas de absorção parcialmente compensadas.

As argamassas foram moldadas numa argamassadeira de bancada com capacidade máxima de cinco litros, e o procedimento adotado foi de acordo com a NBR 7215/97. Para a análise

das argamassas no estado fresco, utilizou-se o ensaio da mesa de consistência de acordo com a NBR 7215/1997. Já para a análise das argamassas no estado endurecido, foi realizado ensaio de resistência à compressão axial nas idades de 3, 7 e 28 dias, com quatro exemplares de corpos-de-prova (CPs) para cada idade. Os CPs eram moldados, curados imersos em água saturada de cal até as idades do ensaio, e capeados com mistura de enxofre a quente, com todas as etapas de acordo com a NBR 7215/96. Também no estado endurecido, realizaram-se ensaios de absorção por imersão (NBR 9778/2005), na idade de 28 dias, com quatro corpos-de-prova para esta idade.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste tópico, serão apresentados e analisados os resultados obtidos neste trabalho. A análise será dividida em duas partes, sendo a primeira relacionada às propriedades das misturas no estado fresco, e a segunda, ao estado endurecido das argamassas confeccionadas.

Propriedades no estado fresco

A Tabela 2 apresenta a proporção de mistura dos materiais empregados para a confecção das argamassas. São apresentados, também, os valores do índice de consistência e a dosagem de aditivo utilizada para a produção das misturas de argamassa de referência, com 25% e 50% de teores de substituição.

Tabela 2 - Proporção de mistura dos materiais e valores de consistência

MATERIAIS	ARG REF			ARG 25%			ARG 50%		
	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6
C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
AMN	1,50	1,50	1,50	1,13	1,13	1,13	0,75	0,75	0,75
AMR	-	-	-	0,35	0,35	0,35	0,70	0,70	0,70
Δx	-	-	-	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05
IC (mm)	278	343	380	183	330	405	170	273	355

Onde: c – cimento; AMN – agregado miúdo natural; AMR – agregado miúdo reciclado; Δx – acréscimo na relação *a/c* da mistura devido à compensação parcial da taxa de absorção dos agregados reciclados; IC – índice de consistência em milímetros, obtido a partir do ensaio da mesa de consistência. Fonte: dados da pesquisa.

Verifica-se na Tabela 2 que o aumento da relação a/c provoca um aumento da plasticidade das misturas. A presença do AMR nas misturas gera um aumento na coesão das mesmas, elevando a viscosidade e reduzindo o índice de consistência (IC). O processo de compensação de água das misturas contendo AR permite misturas em condições de moldabilidade, porém com índices de consistência inferiores ao da mistura de referência.

Assim de forma geral, verifica-se que quando se acrescenta areia reciclada à mistura, ocorre aumento na consistência, pois os grãos do agregado reciclado proporcionam uma argamassa com maior dificuldade de escoamento. Isto ocorre, provavelmente, devido à maior tensão cisalhante entre os grãos, apesar de muitas vezes apresentarem moldabilidade. Nota-se que, para relações a/c maiores, como existe um aumento da

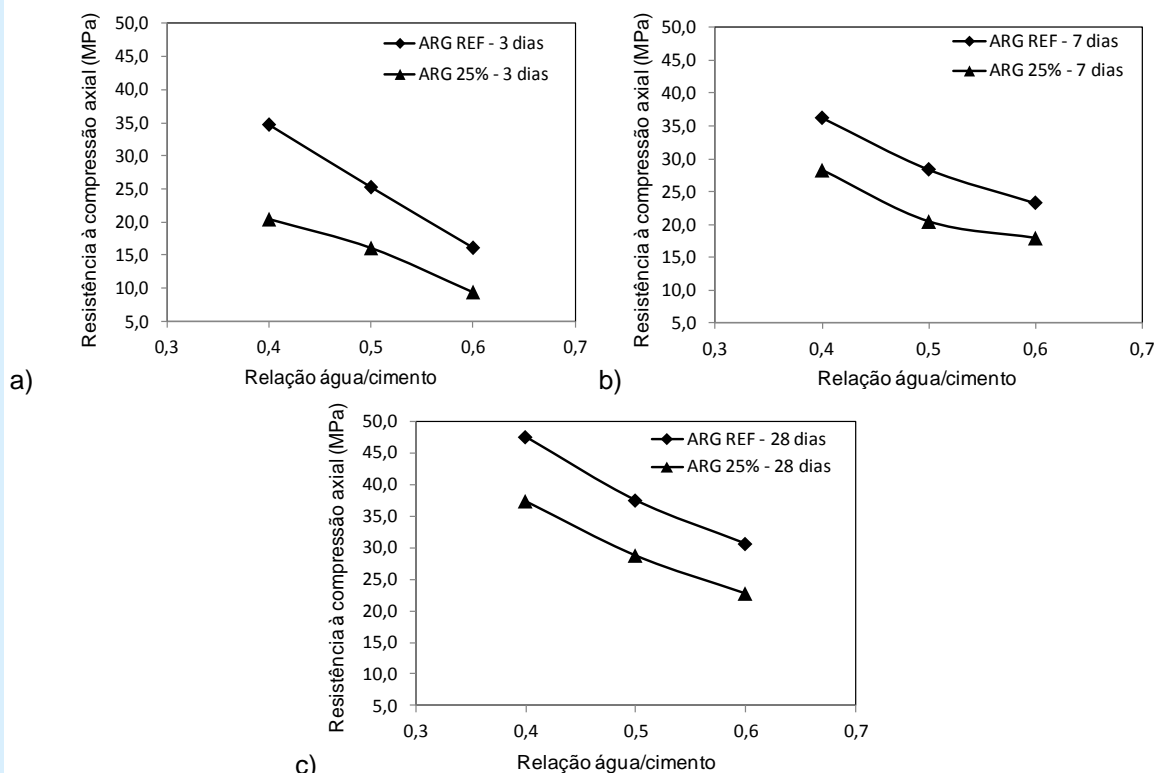
quantidade de água entre os grãos, ocorre um afastamento entre os mesmos, diminuindo consideravelmente a fricção. Isso explica a menor influência da incorporação do AMR na consistência dessas misturas em relação às argamassas com relações água/cimento mais baixas.

Propriedades no estado endurecido

Resistência à compressão axial

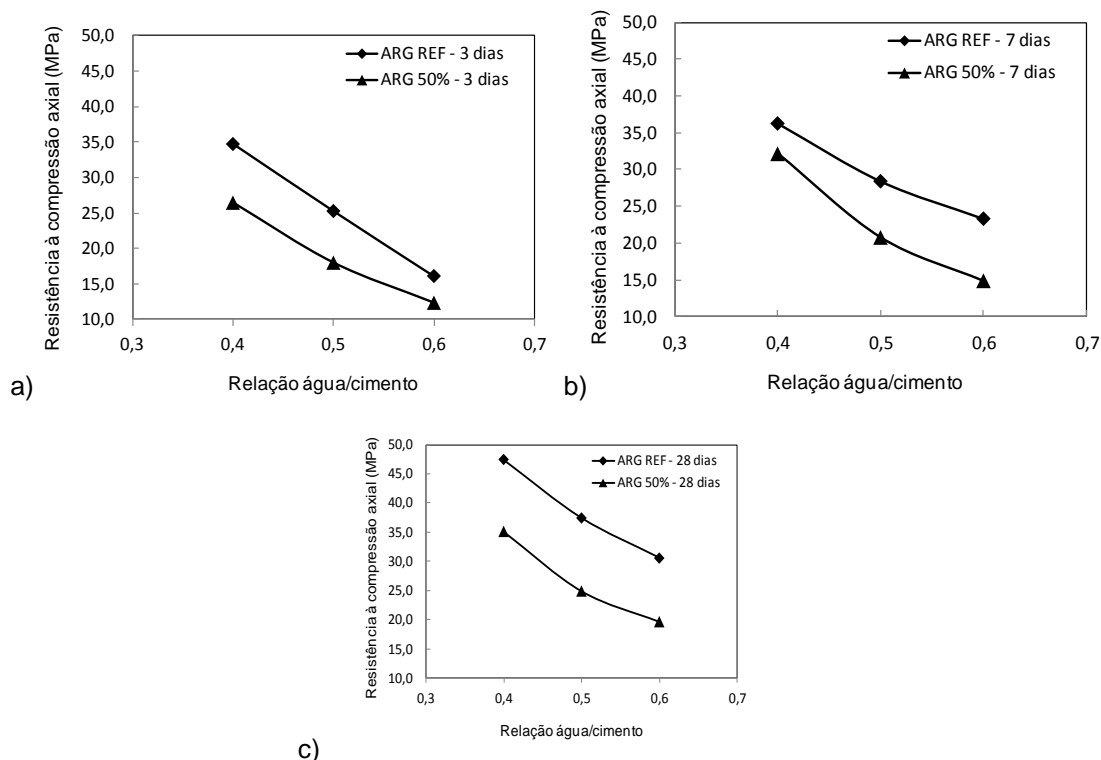
A Figura 4 (a) (b) (c) apresenta a relação entre a resistência à compressão axial das argamassas em função da relação água/cimento, para o teor de 25%, enquanto que a Figura 5 (a) (b) (c) apresenta a relação entre a resistência à compressão axial das argamassas em função da relação a/c, para o teor de 50% de substituição de areia natural por AR.

Figura 4 - Resistência à compressão axial versus relação a/c para o teor de 25%: a) idade de 3 dias; b) idade de 7 dias e c) idade de 28 dias



Fonte: MALTA (2012).

Figura 5 - Resistência à compressão axial versus relação a/c para o teor de 50%: a) idade de 3 dias; b) idade de 7 dias e c) idade de 28 dias



Fonte: MALTA (2012).

Verifica-se para a argamassa com relação $a/c = 0,4$ que ocorre um aumento da resistência à compressão axial em função do tempo, para ambos os teores de substituição. Esse mesmo comportamento acontece para as argamassas com relação $a/c = 0,5$ e $a/c = 0,6$. A presença do agregado miúdo reciclado promoveu uma redução na resistência à compressão das argamassas em todas as idades, para ambos os teores de substituição. Observa-se que o procedimento de compensação de água pode ter colaborado para a redução na resistência à compressão das misturas para ambos os teores e em todas as idades. Isto indica que o processo de compensação pode gerar um impacto na redução da resistência à compressão axial devido à maior presença de água e, conseqüentemente, contribuir para a formação de poros maiores, deixando a mistura menos estruturada.

Assim, nota-se que a prática de dosagem da compensação da água, visando viabilizar o RCD como material de construção, pode estar gerando produtos com resistências menores, o que pode comprometer o desempenho dos

elementos construtivos e reduzir o desempenho das edificações. Recomenda-se analisar o real impacto do RCD em argamassas para que sejam utilizados nas aplicações adequadas, bem como desenvolver misturas de argamassas sem utilizar o procedimento de compensação, fazendo-se uso de aditivos plastificantes.

Absorção por Imersão

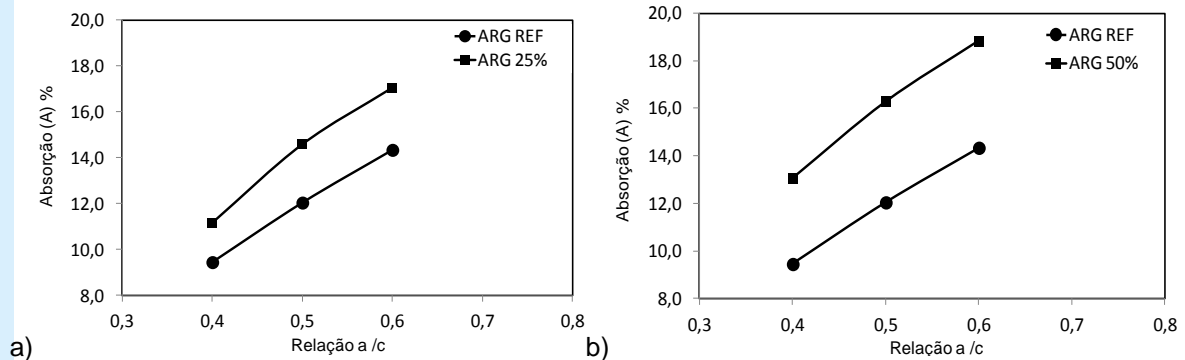
A Figura 6 (a) (b) apresenta a relação entre a absorção das argamassas e a relação água cimento.

Pode-se notar para os valores de absorção apresentados que existe uma coerência entre os mesmos e os valores de resistência; ou seja, as argamassas com AMR apresentaram uma maior absorção. Isto pode ter acontecido devido ao procedimento compensatório ao qual o AMR foi submetido. O adicional de água correspondente à compensação pode ter migrado para a pasta, elevando o fator a/c da mesma, tornando-a mais porosa e, portanto, mais absorvente.

Analisando a absorção em função dos teores de substituição 25% e 50%, nota-se que os valores de absorção foram maiores para as misturas com teor de 50% de AR, apesar destas serem mais resistentes que as misturas com 25% de AR. Esse fato pode ser explicado a partir de uma análise da microestrutura dos poros dessas argamassas. Como a porosidade total das

misturas com teor de 50% é maior, sugere-se, portanto, que elas possuem um volume de poros menores maior, não impactando negativamente na resistência. Já as misturas com 25% de substituição possuem porosidade total menor, mas pode ser sugerido que elas possuem maior volume de poros de dimensão maior, impactando significativamente a resistência.

Figura 6 - Absorção dos corpos-de-prova versus relação água/cimento: a) teor de 25%; b) teor de 50%.



Fonte: MALTA (2012)

CONCLUSÃO

A indústria da Construção Civil é responsável por um grande impacto ambiental, principalmente em relação à quantidade de resíduo gerado. Muitos estudos têm sido desenvolvidos para reduzir a geração de resíduos na fonte, reutilizando sempre que possível na forma de agregados reciclados. Sabe-se que os agregados reciclados apresentam determinadas características que influenciam nos parâmetros de dosagem das argamassas. Logo, é de suma importância desenvolver estudos específicos para garantir a utilização de forma adequada.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que o aumento da relação a/c provocou um aumento da plasticidade das misturas. Para as misturas com relações a/c mais baixas, no estado fresco, notou-se maior dificuldade de escoamento entre os grãos, tendendo a aumentar para o teor de 50%. Quando se aumentou a relação a/c, oferecendo mais água à mistura, verificou-se que o atrito devido ao escoamento dos grãos diminuiu, pois estes estavam mais afastados. A prática de compensação de parte da taxa de absorção dos

agregados reciclados pode ter contribuído para a redução na resistência à compressão axial e elevação da taxa de absorção em relação às argamassas de referência. Ocorreu um aumento da resistência à compressão axial em função do tempo, para ambos os teores de substituição e para todas as relações a/c. Nas propriedades de resistência à compressão e absorção por imersão, quando se comparam os valores de resistência e de absorção entre as argamassas com teores de 25% e 50% de substituição, nota-se que as misturas com 50% de substituição apresentam, em geral, valores de resistência superiores às misturas com 25%. Desta forma, a prática de dosagem da compensação visando viabilizar o RCD como material de construção influencia no comportamento mecânico, o que pode comprometer o desempenho dos elementos construtivos e reduzir o desempenho das edificações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos que fomentaram este trabalho (Fapesb, Capes, CNPq),

como também a equipe do Centro Tecnológico da Argamassa da Escola Politécnica da UFBA.

REFERÊNCIAS

- ACHE. Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural. *Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural*. Grupo de Trabajo – Hormigón Reciclado, Estado da Arte sobre Concreto Reciclado. Madri, 2006.
- AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. O desafio da sustentabilidade na construção civil. In: GODEMBERG, J. (Coord.). *Sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, 2011. V. 5.
- ÂNGULO, S. C. *Caracterização de agregado de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos*. 2005. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215. *Cimento Portland – determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro/RJ. 1997.
- _____. NBR 9778. *Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro/RJ. 2005.
- _____. NBR NM 45. *Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro/RJ. 2006.
- _____. NBR NM 46. *Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem*. Rio de Janeiro/RJ. 2003.
- _____. NBR NM 49. *Agregado fino – Determinação de impurezas orgânicas*. Rio de Janeiro/RJ. 2001.
- _____. NBR NM 52. *Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro/RJ. 2009.
- _____. NBR NM 248. *Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro/RJ. 2003.
- BARRA, M. *Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado*. 1996. Tese. (Doutorado) – Escola técnica Superior d'Enginyers de Camin, Canal i Ports, Universitat Politècnica de La Catalunya, Barcelona, 1996.
- BRITO, J.; EVANGELISTA, L. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement & Concrete Composites*, v. 32, p. 9-14, 2010.
- 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. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2005.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Brasília, DF. Acesso em: 10 nov. 2010.
- _____. Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011: Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. DOU nº 99, de 25/05/2011, pág. 123. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649> Brasília,DF. Acesso em 18 nov. 2011.
- ETXEBERRIA, M.; VÁZQUEZ, E.; MARÍ, A.; BARRA, 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, P. P. A. *Alternativa sustentável para destinação de resíduos classe A: diretrizes para reciclagem em canteiros de obras*. 2010. 152p. Dissertação (Mestrado) – Escola

Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2010.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Ministro anuncia novo déficit habitacional durante FUM5. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/noticias/ministro-anuncia-novo-deficit-habitacional-de-5-8-durante-fum5/>>. Acesso em: 25 nov. 2010.

GÓMEZ-SOBERÓN, J. Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate – an experimental study. *Cement and concrete research*, v. 32, p. 1301-1311, 2002.

GONÇALVES, R. D. C. *Agregados reciclados de resíduos de concretos* – um novo material para dosagens estruturais. 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2001.

LA SEMA, H. A.; RECUERO, J. C.; REZENDE, M. M.; CALVALCANTI, V. M. M. *Agregados para a construção civil*. Simineral. (2008) Disponível em: <http://simineral.org.br/arquivos/AgregadosparaConstruoCivilDNPM.pdf>. Acesso em: 10 set. 2012.

LEITE, M. B. *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. 2001. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2001.

LEVY, S. M. *Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria*. 2001. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2001.

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

LIMPURB – Empresa de Limpeza Urbana do Salvador. *Relatório de Gestão*. Salvador, 2011.

MACHADO Jr., E. F.; AGNESINI, M. V. C.; BALLISTA, L. P. *Dosagem de microconcretos estruturais leves com agregados reciclados de construção e demolição: estudo de caso*. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 8., 2000, Salvador. *Anais...* Salvador: ANTAC, 2000.

MALTA, J. O. *Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição*. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador/BA, 2012.

MELO, A.V.S. *Diretrizes para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de resíduos da construção civil*. 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador/BA, 2011.

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

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

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

TOLMASQUIM, M. T.; SZKLO, A. S. *A matriz energética brasileira na virada do milênio*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; ENERGIE, 2000.

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. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Curso de

Pós-graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto
Alegre/RS, 2003.