



EFEITOS DO TIPO DE AREIA DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA

**Graciele M. Tanaka (1); Marienne R. M. M. da Costa (2); Narciso G. Silva (3); Andréa
Sell Dyminski (4)**

(1) Graduanda de Engenharia Civil – Universidade Federal do Paraná, Brasil – e-mail:

gracivil@yahoo.com.br

(2) Departamento de Construção Civil–Universidade Federal do Paraná, Brasil

(3) Departamento Construção Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

(4) Departamento de Construção Civil–Universidade Federal do Paraná, Brasil

RESUMO

O ambiente da construção civil encontra-se num acelerado crescimento, fazendo com que muitas cidades nas quais este setor atua intensamente, sofram devido ao volume de resíduos gerados nas obras como desperdício, além dos resíduos de demolição, conhecidos como RCD. Visto que este setor demanda de imensa quantidade de matéria-prima proveniente de meios naturais, que por sua vez estão se tornando escassos, vem sendo estudada a viabilidade técnica da utilização de agregados reciclados provenientes de RCD em argamassas e concretos. Visando avaliar a viabilidade da utilização de agregados reciclados na produção de argamassa, este trabalho tem por objetivo verificar a influência de areia de RCD da cidade de Curitiba, estado do Paraná em diversas propriedades de argamassas de cimento e areia no traço 1 : 3, em volume. Utilizou-se cimento CPII-Z 32 e 5 tipos de areia: uma proveniente de britagem de materiais cerâmicos, outra de materiais cimentícios, uma preparada com a composição de materiais cerâmicos e cimentícios, outra a proporção 50% de areia natural e 50% de material cerâmico e outra somente com areia natural. No estado fresco determinou-se o comportamento reológico através do ensaio Squeeze Flow, a retenção de água e o teor de ar incorporado e, no estado endurecido, densidade de massa aparente, absorção de água, índice de vazios, coeficiente de capilaridade, módulo de elasticidade e resistências à compressão e à tração na flexão. Os resultados dos ensaios demonstram que o aumento da concentração de materiais cimentícios diminui a permeabilidade e melhora as propriedades mecânicas das argamassas. O impacto de agregados provenientes de RCD no comportamento reológico das argamassas foi também observado.

Palavras-chave: argamassa; agregados reciclados; RCD.

1 INTRODUÇÃO

O volume de RCD (Resíduos de construção e demolição) gerado nas áreas urbanizadas, tem sido um problema enfrentado pelas cidades em geral. Acredita-se que a indústria da construção civil seja geradora de 40 a 70% do total dos resíduos urbanos (em cidades brasileiras de médio e grande porte), sendo que, destes, cerca de 50% são descartados irregularmente.

Um dos principais desafios dos pesquisadores é adequar os materiais reciclados aos mesmos padrões de qualidade e segurança proporcionados pelos materiais naturais, a fim de que estes possam ser minimizados os efeitos contra a natureza e substituídos por aqueles sem prejuízos para a sociedade usuária dos produtos finais. O objetivo é reciclar o máximo possível, aliando à preservação do meio ambiente e ganhos econômicos, pois já é de conhecimento que o emprego de agregados reciclados reduz os custos da construção.

Com isso, pretende-se viabilizar a utilização de RCD como matéria prima para a fabricação dos agregados para a produção de argamassas, como uma redução do problema ambiental e social da deposição irregular destes resíduos.

A argamassa é um material formado por um ou mais tipos de aglomerantes, agregado miúdo, água e, em algumas situações, aditivos. Até então, no Brasil, o agregado miúdo que é empregado em larga escala era exclusivamente explorado nos depósitos aluvionares de rios além de não ser renovável. Porém em Curitiba, há uma nova resolução que não permite mais a retirada de areia de leitos dos rios, fazendo com que a distância de transporte onere o custo final. Com isso, faz-se necessária a busca de alternativas e, o RCD encontra-se com grande potencial para sua substituição, devido a sua imensa quantidade. Muitos estudos de viabilidade de utilização de agregados reciclados vêm sendo realizados, pretendendo-se principalmente acabar com o preconceito sobre a sua qualidade, devido à alta absorção de água, constituição variada e alto teor de material pulverulento.

Neste trabalho, pretende-se avaliar a utilização de agregados reciclados na produção de argamassas de cimento e areia. Para tal, utilizaram-se agregados reciclados da Região Metropolitana de Curitiba, provenientes de material cimentício, de material cerâmico e também, uma mistura desses dois materiais numa proporção 50% de cada um. Realizaram-se ensaios das argamassas no estado fresco e endurecido produzidas com estes agregados.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

Para a confecção das argamassas foram utilizados os seguintes materiais: água desionizada, cimento CPII Z 32 e agregado miúdo reciclado de resíduo cimentício e cerâmico.

O agregado reciclado é proveniente de RCD, obtido através da britagem de resíduos cimentícios (na sua maioria lajes, vigas, pilares) e resíduos cerâmicos (na sua maioria paredes de alvenaria e revestimentos de pisos e paredes), porém ambos os materiais não são íntegros, ou seja, o resíduo cimentício pode conter um pouco de resíduo cerâmico e vice-versa. Esse material foi cedido pela empresa Soliforte Reciclagem Ltda., localizada no município de Colombo, Região Metropolitana de Curitiba - Brasil. A empresa recebe caçambas contendo os resíduos, onde ocorre a britagem desse material através de um britador de mandíbulas, seguindo por uma esteira transportadora, na qual há captação de materiais magnéticos através de um imã, retirando o aço proveniente do concreto armado. Em seguida, esse material é separado em diversas granulometrias através uma série de peneiras.

Os ensaios de caracterização realizados com os agregados foram: teor de material pulverulento (NBR 7219), análise granulométrica (NBR 248/2001), massa específica (NBR NM 53) e massa unitária (NBR 7251). O material pulverulento é a quantidade de material passante na peneira de malha 0,075 mm. O Gráfico 1 apresenta a análise granulométrica das areias recicladas.

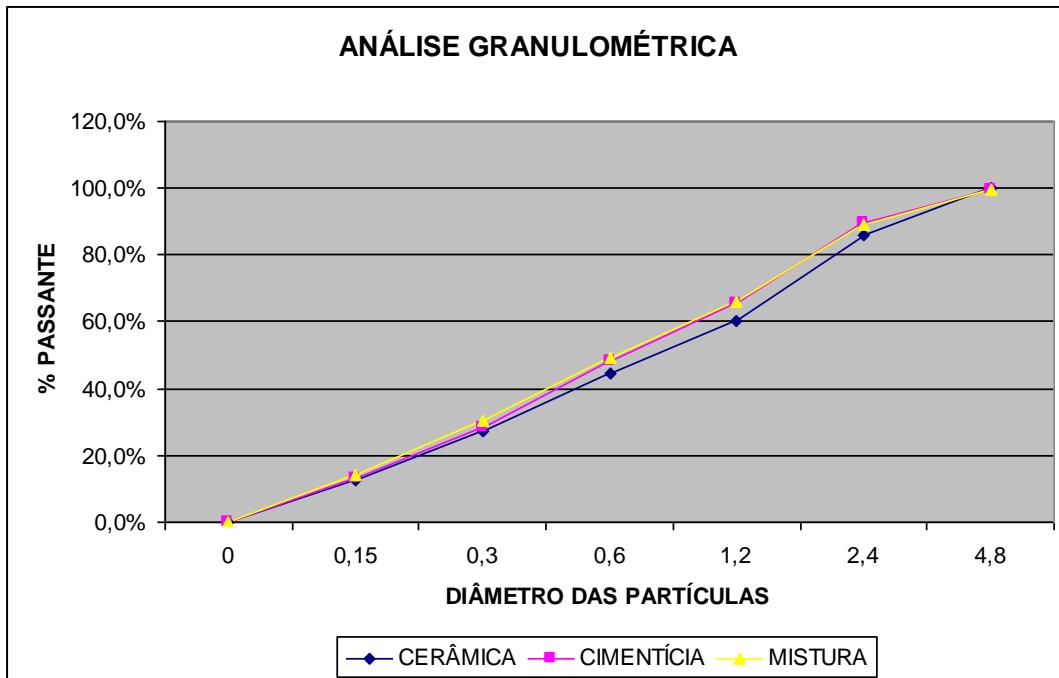


Gráfico 1- Distribuição granulométrica das areias segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005).

Ambos os agregados sofrem o mesmo processo de fabricação, através da britagem dos resíduos, podendo-se relacionar este fato à semelhança das curvas granulométricas.

A Tabela 1 apresenta os resultados de caracterização física das areias recicladas e o Gráfico 2 apresenta os resultados do teor de material pulverulento.

Tabela 1– Caracterização física do agregado miúdo

Agregado miúdo	Massa específica (kg/m ³) – NBR NM 23 (ABNT, 2001)	Massa unitária (kg/m ³) – NBR 7251 (ABNT, 1982)	Índice de Vazios (%)
Cerâmico	2631	1260	52.10
Cimentício	2648	1266	52.17
Mistura	2656	1285	51.63

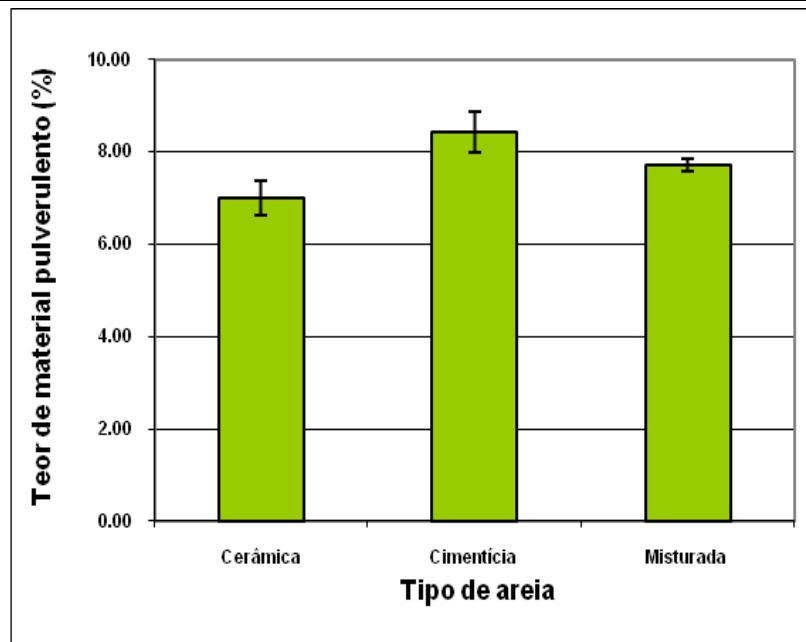


Gráfico 2 Teor de material pulverulento das areias segundo a NBR NM 46 (ABNT, 2001).

A caracterização química e física do cimento estão apresentados na Tabela 2 e 3.

Tabela 2 – Caracterização química do cimento CPII Z 32

Análise química (%)										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CO ₂	Resíduo insolúvel	Perda ao fogo
22,91	7,25	3,18	52,29	5,56	1,04	0,18	2,82	4,23	12,91	4,97

Tabela 3 – Caracterização física do cimento

Massa unitária (kg/m ³) – NBR 7251 (ABNT, 1982)		Massa específica (kg/m ³) – NBR NM 23 (ABNT, 2001)
Cimento	976	2889

2.2 Dosagem das argamassas

Para a dosagem das argamassas foi adotado o procedimento água no pó que consiste em colocar a areia, o cimento e por último a água no pó que se encontra na argamassadeira. As quantidades de materiais para a confecção das argamassas estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de materiais para a produção das argamassas

Argamassa	Traço em volume	Traço em massa	Massa de cimento (g)	Massa de areia (g)	Massa de água (g)	Teor de água / materiais secos (%)	Relação água / cimento
Cerâmica	1:3	1:3,9	600,0	2324,9	702,0	24	1,1700
Cimentícia	1:3	1:3,9	600,0	2335,7	704,6	24	1,1743
Mistura	1:3	1:4,0	600,0	2370,0	712,7	24	1,1878

2.3 Ensaios realizados

Os ensaios realizados no estado fresco estão apresentados na Tabela 5. Realizou-se também a análise reológica através do ensaio de Squeeze-flow prescrito no projeto de norma número 18:400.04-011 do CB 18 - Comitê Brasileiro de Cimento Concreto e Agregados da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Tabela 5 – Enaios realizados e suas respectivas normas, para a argamassa no estado fresco.

Ensaios com Argamassa no estado fresco	Norma	Nº de amostras
Teor de Ar Incorporado	NBR 13278/2005	3
Retenção de Água	NBR 13277/2005	3
Índice de Consistência	NBR 13276/2005	3

Os ensaios de caracterização no estado endurecido foram realizados na idade de 28 dias e estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Enaios realizados e suas respectivas normas, para a argamassa no estado endurecido.

Ensaios com Argamassa no estado endurecido	Norma	Nº de amostras
Resistência à tração na flexão	NBR 13279/2005	3
Resistência à compressão axial	NBR 13279/2005	3
Densidade de massa no estado endurecido	NBR 13280/2005	3

Módulo de elasticidade dinâmica	NBR 15630/2008	3
Coeficiente de Capilaridade	NBR 15259/2005	3

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Estado fresco

O ensaio de densidade de massa é realizado utilizando um molde cilíndrico de volume calibrado, de aproximadamente 400 cm³. Os resultados da densidade de massa de cada argamassa para as areias recicladas estão apresentadas no Gráfico 3.

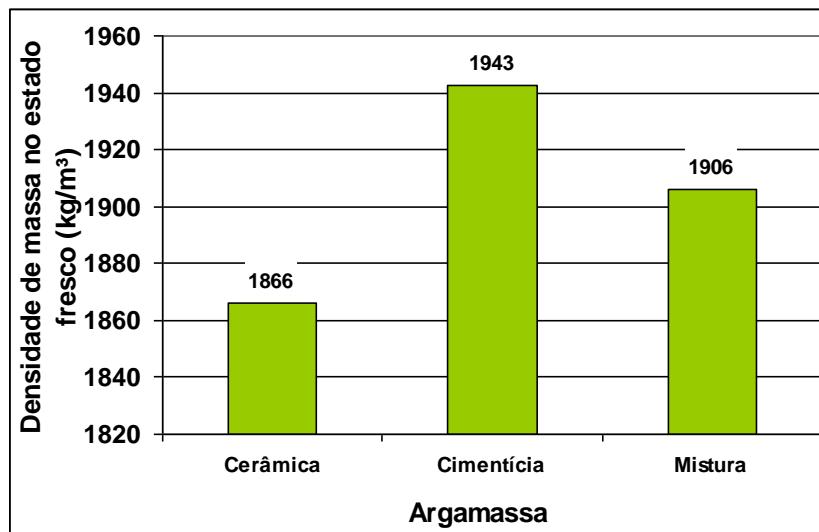


Gráfico 3 – Densidade de massa no estado fresco

A densidade de massa da argamassa com agregado reciclado proveniente de resíduo cimentício apresentou-se maior provavelmente devido à menor incorporação de ar nesta argamassa, apesar de a massa específica e massa unitária deste tipo de areia se apresentar inferior ao da areia proveniente da mistura dos dois resíduos.

Com a massa específica de cada material determinou-se o teor de ar incorporado para cada argamassa. Os resultados estão apresentados no Gráfico 4.

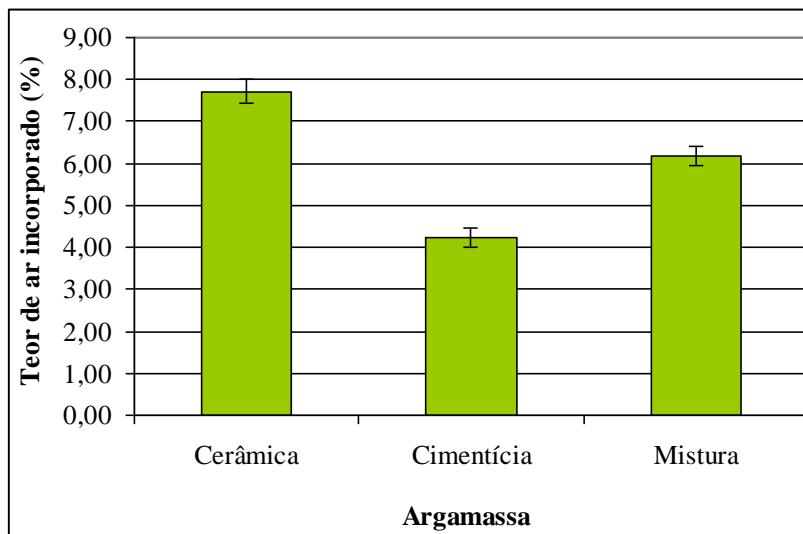


Gráfico 4 – Teor de ar incorporado.

A argamassa confeccionada com agregado reciclado cerâmico apresentou um maior teor de ar incorporado.

Para a determinação da retenção de água calcula-se o índice de retenção de água indiretamente, exigindo que se meça a consistência da argamassa fresca antes e após a aplicação de uma sucção em um funil de Büchner modificado com pressão de 51 milímetros de mercúrio, o que provoca a retirada de água da massa que os grãos não foram capazes de reter nessas condições.

A retenção de água de cada argamassa está apresentado no Gráfico 5.

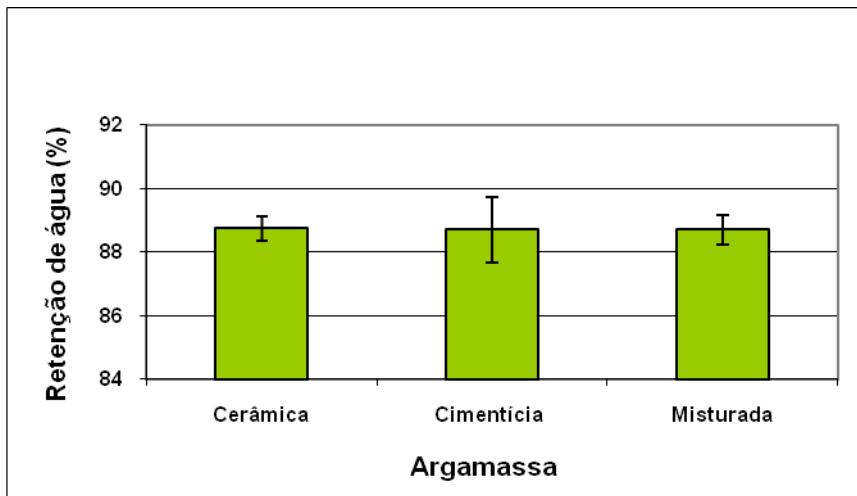


Gráfico 5 – Retenção de água da argamassa no estado fresco

A capacidade de retenção de água da argamassa é influenciada pelas partículas finas, com elevada superfície específica, sendo que sua natureza e características têm significado relevantes quanto ao poder de retenção da argamassa. Como os traços das argamassas foram os mesmos, e o teor de material pulverulento obtido foram semelhantes para ambas as areias, provavelmente os finos acabaram não causando impacto nas argamassas, ou o ensaio não foi sensível o suficiente.

Como observado no gráfico, a argamassa com resíduo cimentício possui uma retenção de água um pouco superior que as demais, isto se deve provavelmente ao maior teor de finos encontrado no agregado miúdo proveniente de resíduo cimentício comparado com o teor de finos do agregado reciclado proveniente do resíduo cerâmico.

Para a avaliação da consistência das argamassas realiza-se o ensaio de índice de consistência através do preenchimento-se um molde tronco cônico, disposto sobre a mesa de consistência (flow table), com argamassa fresca, convenientemente adensada. Após desmoldada, a argamassa é submetida a um esforço dinâmico, impelido por uma seqüência de 30 golpes desferidos em um período de 30 segundos, produzidos por uma peça excêntrica acoplada a parte inferior da mesa. A média de duas medidas de diâmetros ortogonais, em milímetros, da argamassa deformada após a ação mecânica descrita, define o índice de consistência.

Tabela 7 – Índice de Consistência das argamassas.

Argamassa	Índice de Consistência (mm)
Cerâmica	272
Cimentícia	275
Misturada	270

A tabela mostra um índice de consistência semelhante para uma mesma relação água/materiais secos, sendo que foi adotado 260 ± 15 mm para a abertura. O teor de material pulverulento também se apresentou próximos para ambas as areias, podendo ser um fator que interferiu na regularidade das consistências, além de o material ter sido submetido ao mesmo processo de fabricação, neste caso foi o mesmo processo de britagem.

Segue abaixo o Gráfico 6, apresentando o deslocamento para os respectivos esforços aplicados na argamassa através do ensaio reológico Squeeze Flow.

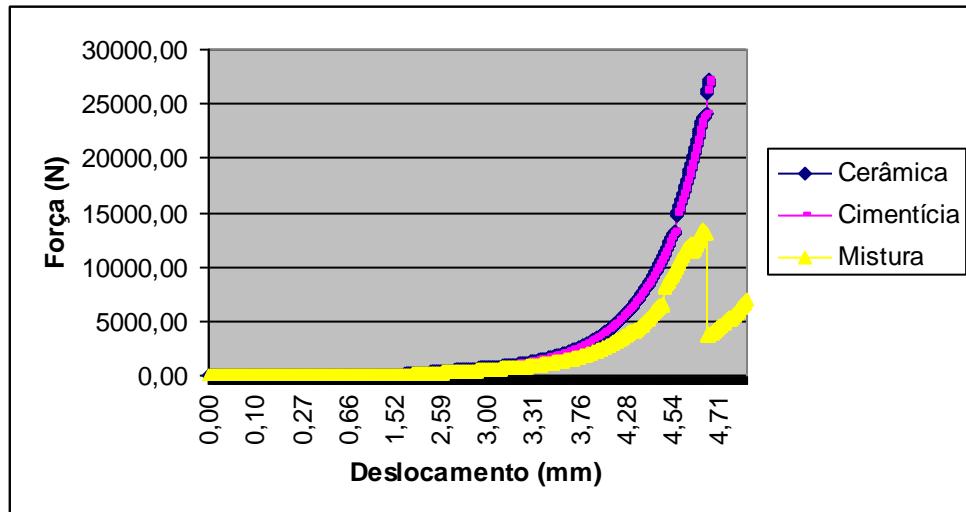


Gráfico 6 – Ensaio reológico Squeeze Flow (projeto de norma número 18:400.04-011 do CB 18 - Comitê Brasileiro de Cimento Concreto e Agregados da ABNT)

O comportamento reológico das argamassas apresentou curvas de deslocamento de acordo com a solicitação exercida semelhantes provavelmente devido a semelhança nas curvas granulométricas das areias.

3.2 Estado Endurecido

Os ensaios realizados para avaliar a argamassa em seu estado endurecido foram os seguintes: capilaridade, resistência à compressão e resistência à tração na flexão, densidade de massa aparente no estado endurecido, absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica e módulo de elasticidade.

As argamassas devem possuir resistência mecânica compatível com os esforços que estão sendo solicitada, no caso de argamassa de assentamento a resistência à compressão é fundamental e no caso de argamassa de revestimento devem possuir resistência a esforços de abrasão superficial, cargas de impacto.

Entende-se por flexão o esforço que se caracteriza por induzir numa peça de tensões de compressão numa parte de uma seção transversal e tensões de tração na parte restante.

O valor da resistência à compressão, juntamente com a deformabilidade da argamassa, pode influenciar o comportamento do revestimento de argamassa, sendo um parâmetro de extrema importância. Segue o gráfico 7 que mostra as argamassas executadas com cada agregado reciclado e suas resistências atingidas.

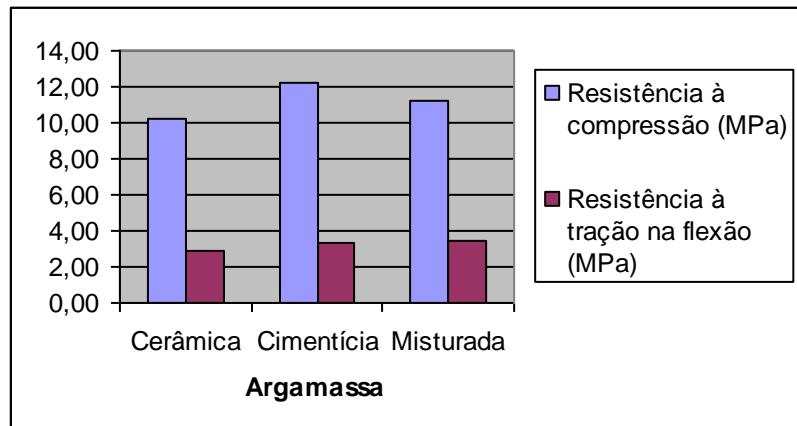


Gráfico 7 – Resistência á compressão e trção na flexão das aragamssas executadas com agregados reciclados

A resistência da argamassa normalmente aumenta com a redução da proporção de agregados e varia inversamente com a relação água/materiais secos da mesma, porém neste caso a relação água/materiais secos foi fixada a fim de avaliar os diferentes tipos de resíduo analisados. Em seguida o gráfico 8 apresenta um comparativo das resistências atingidas com seus respectivos teores de material pulverulento.

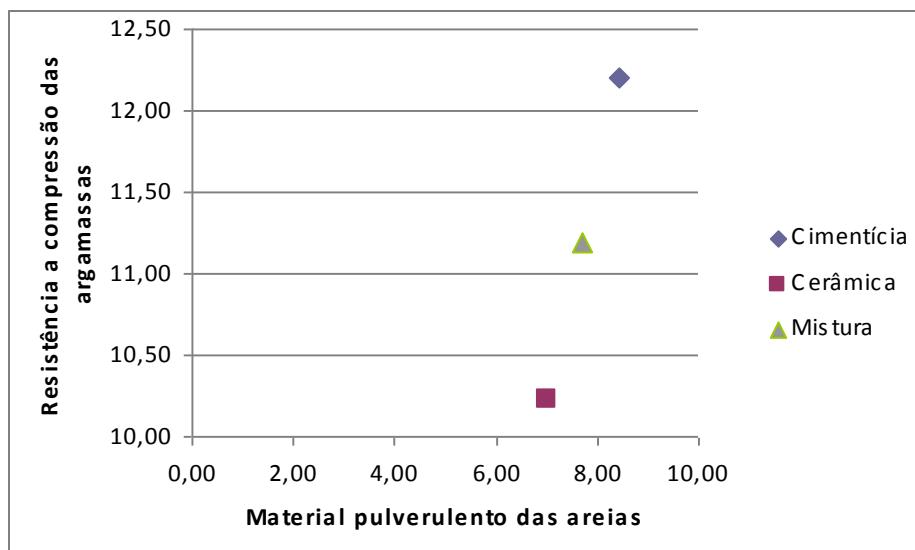


Gráfico 8 – Resistência á compressão das aragamssas executadas com agregados reciclados versus seus teores de material pulverulento

Através do gráfico pode-se observar uma provável linearidade desses dois quesitos. Segundo Miranda (2000), uma vantagem econômica de se utilizar areia reciclada na produção de argamassa é o seu alto teor de material pulverulento, o que elimina a necessidade de se adicionar cal. Contudo, a presença de material pulverulento aumenta as chances de ocorrência de fissuras, comum em materiais de baixa resistência a tração.

A densidade de massa no estado endurecido depende das massas específicas dos componentes, do traço da argamassa, entre outros fatores. Segue o Gráfico 9 que apresenta a densidade de massa obtida com as argamassas confeccionadas com os agregados reciclados.

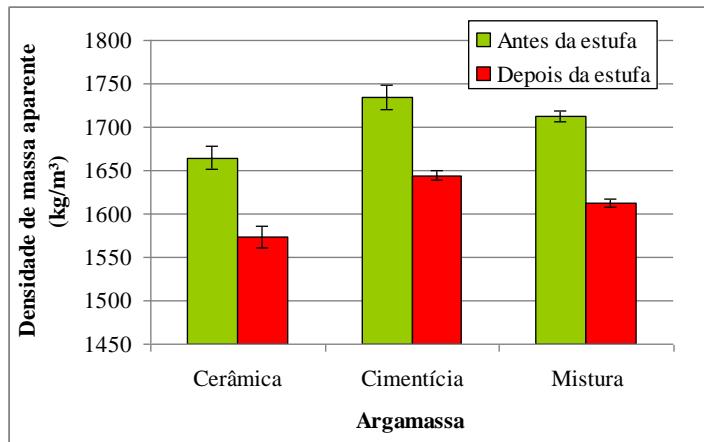


Gráfico 9 – Densidade de massa aparente das argamassas no estado endurecido.

A argamassa cimentícia mostrou-se mais densa que as demais argamassas, pois a areia cimentícia possui maior teor de material pulverulento, o que permite um melhor empacotamento das partículas na argamassa e uma maior densidade. É notável a diferença de densidade dos agregados, sendo o agregado cimentício o mais denso, seguido do agregado misturado e do agregado cerâmico.

O módulo de elasticidade é uma expressão que determina a rigidez da argamassa. Quanto maior o módulo de elasticidade, mais rígida será a argamassa. A propagação da onda ultra-sônica é baseada no princípio de propagação das ondas elásticas e segundo estes princípios a velocidade da propagação depende das propriedades elásticas do meio. Logo, quanto mais denso o sólido, mais veloz será a propagação da onda.

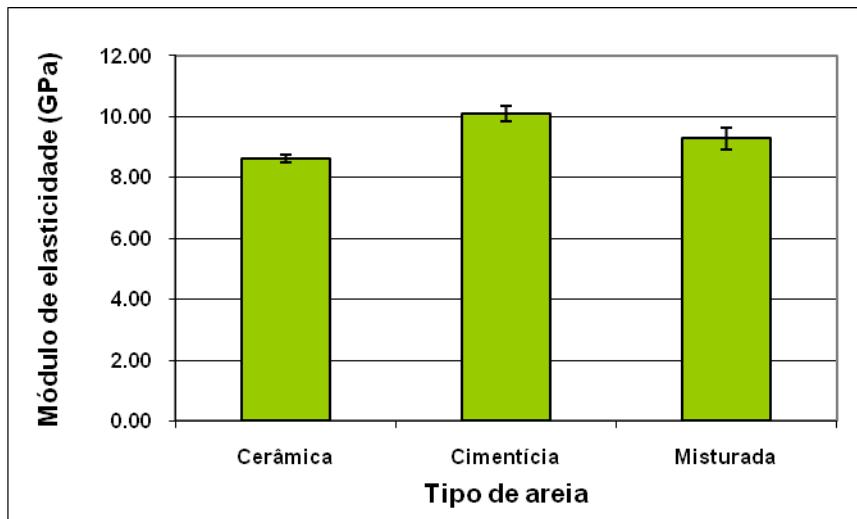


Gráfico 10 – Módulo de elasticidade das argamassas.

Foi observado um maior módulo de elasticidade para a argamassa com areia reciclada proveniente de material cimentício, provavelmente devido ao maior teor de finos neste material gerando uma maior rigidez.

A absorção de água por capilaridade deve ser realizada a fim de conferir uma absorção excessiva que pode gerar proliferação de fungos e bactérias danosos aos usuários, além do deslocamento da argamassa e, até mesmo, do revestimento e o descascamento da pintura. O coeficiente de absorção capilar calcula a massa de água absorvida por metro quadrado da argamassa em contato com a água em função da raiz quadrada do tempo decorrido até atingir este ponto de absorção.

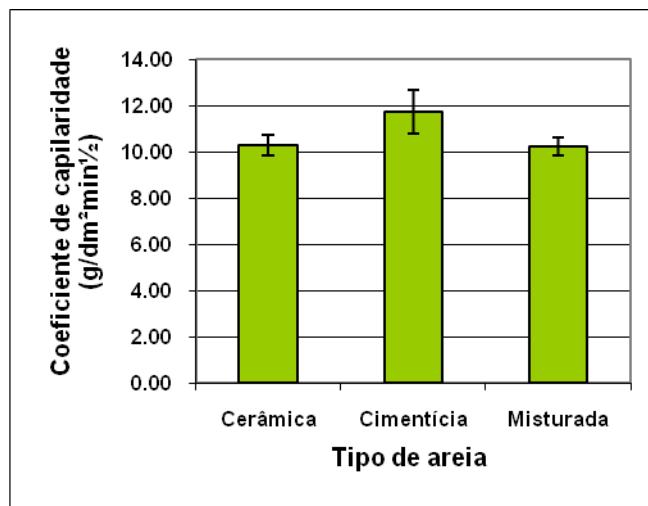


Gráfico 11 – Coeficiente de Capilaridade das argamassas

A argamassa com resíduo cimentício apresentou um maior coeficiente de capilaridade, resultante provavelmente da retração gerada pela maior quantidade de cimento que as argamassas confeccionadas com as outras composições de resíduos, causando microfissuras internas dos corpos de prova.

4 CONCLUSÕES

Através deste estudo, pode-se observar que um maior teor de finos da areia reciclada proveniente de resíduo cimentício, resultou numa maior resistência à compressão para a argamassa confeccionada com este agregado. O alto teor de finos da areia cimentícia também gerou uma maior densidade de massa, além de um menor teor de ar incorporado para a argamassa no estado fresco, e para o estado endurecido resultou numa argamassa mais rígida, além de mais densa.

5 REFERÊNCIAS

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. 102 f. Tese (Livre-Docência em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MIRANDA, L. F. R. Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimento de argamassa com entulho reciclado. São Paulo, 2000. 172 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SILVA, N. G. Argamassas de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Fundação Araucária, a Soliforte Reciclagem Ltda. e ao LAME - Laboratório de Materiais e Estruturas pelo apoio à pesquisa.