

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Construção Civil

ISSN 0103-9830

BT/PCC/563

**Influência da origem e do tratamento
dos agregados reciclados de
resíduos de construção e demolição
no desempenho mecânico do
concreto estrutural**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Construção Civil
Boletim Técnico – Série BT/PCC

Diretor: Prof. Dr. José Roberto Cardoso

Vice-Diretor: Prof. Dr. José Roberto Piqueira

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Alex Kenya Abiko

Suplente do Chefe do Departamento: Prof. Dr. Francisco Ferreira Cardoso

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alex Kenya Abiko

Prof. Dr. Francisco Ferreira Cardoso

Prof. Dr. João da Rocha Lima Jr.

Prof. Dr. Orestes Marraccini Gonçalves

Prof. Dr. Vanderley Moacyr John

Prof. Dr. Cheng Liang Yee

Coordenadora Técnica

Prof^ª. Dr^ª. Silvia Maria de Souza Selmo

O Boletim Técnico é uma publicação da Escola Politécnica da USP/ Departamento de Engenharia de Construção Civil, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pós-graduados desta Universidade.

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Construção Civil

ISSN 0103-9830

BT/PCC/563

**Influência da origem e do tratamento
dos agregados reciclados de
resíduos de construção e demolição
no desempenho mecânico do
concreto estrutural**

Lucia Hiromi Higa Moreira
Antonio Domingues de Figueiredo

São Paulo – 2010

O presente trabalho é parte da dissertação de mestrado apresentada por Lucia Hiromi Higa Moreira sob orientação do Prof. Dr. Antonio Domingues de Figueiredo. "Avaliação da influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural" defendida em 05/11/2010, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor, na Biblioteca de Engenharia Civil da Escola Politécnica/USP e na página: <http://www.teses.usp.br/>.

A referência bibliográfica deste boletim deve ser feita conforme o seguinte modelo:

MOREIRA, L. H. H.; FIGUEIREDO, A. D. Influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural. São Paulo: EPUSP, 2010. 17 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/563)

FICHA CATALOGRÁFICA

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. – n.1 (1986) - . -- São Paulo, 1986-

Irregular.

Conteúdo deste número: Influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural / L. H. H. Moreira, A. D. Figueiredo – (BT/PCC/563)

ISSN 0103-9830

1.Construção civil I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Construção Civil

AValiação DA INFLUÊNCIA DA ORIGEM E DO TRATAMENTO DOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO DESEMPENHO MECÂNICO DO CONCRETO ESTRUTURAL

Lucia Hiromi Higa Moreira (1); Antonio Domingues de Figueiredo (2)

(1) Eng. Civil, Aluna de Mestrado da Escola Politécnica da USP. E-mail: luciahiga@gmail.com

(2) Eng. Civil, Prof. Doutor da Escola Politécnica da USP. E-mail: antonio.figueiredo@poli.usp.br

RESUMO

A influência nas propriedades do concreto estrutural da cidade de origem dos agregados de RCD reciclados e do tipo de tratamento a que foram submetidos foram avaliadas através de um programa experimental. Os agregados utilizados foram provenientes das cidades de Macaé e São Paulo, sendo ambos submetidos a britagem de modo a atenderem a mesma faixa granulométrica de -19+4,8 mm. Uma parte dos agregados de cada cidade foi submetido também à separação densitária (jigüe). No programa experimental, foi utilizada a metodologia de dosagem convencional para a avaliação do comportamento do concreto reciclado. Neste estudo, os agregados foram utilizados sem pré-saturação, o que possibilitou o preenchimento, ao menos em parte, dos poros dos agregados pela pasta de cimento. Tal procedimento contribuiu para uma menor diferença relativa de desempenho do concreto convencional em relação ao produzido com agregados reciclados, principalmente para os concretos com maior relação água/cimento. Comprovou-se também que a origem dos agregados foi um fator preponderante no comportamento do concreto e a separação densitária possibilita aplicação dos agregados de RCD reciclados com um menor acréscimo do consumo de cimento para a manutenção do desempenho, tornando a tecnologia mais sustentável.

Palavras chaves: *Resíduo de construção e demolição. Separação densitária (jigüe). Agregados reciclados de RCD. Dosagem*

Abstract

The influence of the recycled CDW aggregates origin and their specific processing procedure on the properties of structural concrete have been analyzed through an experimental study. These aggregates were derived from the cities of Macaé and São Paulo, both submitted to crushing in order to fit the same granulometric range of -19+4.8 mm. Part of these aggregates are also submitted to density separation (jig). The conventional mix-design analysis methodology was used in the experimental program to assess the concrete behavior. The aggregates were used in this study without being pre-saturated, which turns possible to fill up part of the aggregates pores with cement paste. Such procedure contributed for a smaller relative difference on the performance of the conventional concrete and that of the recycled aggregates, especially the concrete with a higher water/cement ratio. It was also verified that the origin of the aggregate was a prevalent factor on the behavior of the concrete. The density separation makes more feasible the application of recycled CDW aggregates with a minor increase of cement consumption to keep the performance, thus rendering technology more sustainable.

Key words: *Construction and demolition residue. Density separation (jig). Recycled CDR aggregates. Mix-design.*

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos grandes causadores do impacto ambiental. Assim, o incentivo ao reaproveitamento dos resíduos sólidos viabiliza a arte da sustentabilidade. Os resíduos sólidos causam grande preocupação, uma vez que o volume gerado traz como consequência uma série de problemas, incluindo custos elevados para a sua correta destinação pelas administrações municipais. Segundo John (1999, p. 44) “a reciclagem de resíduos apresenta várias vantagens ambientais e é uma parte fundamental do desenvolvimento sustentável de qualquer país. A construção civil é o setor que mais consome materiais naturais e conseqüentemente, é potencialmente um grande reciclador”. Até recentemente, a reciclagem foi vista como sendo apenas uma fórmula de baixar custos. No caso do concreto, a reciclagem é vista como uma ferramenta para melhorar o desempenho do produto (JOHN, 1999).

Atualmente há uma maior necessidade de reutilização de reciclagem do **Resíduo de Construção e Demolição (RCD)**, entretanto, só muito recentemente os estudos para a reciclagem começaram a receber maior impulso (SILVA, 2000), por questões políticas, econômicas ou ecológicas.

A reciclagem pode parecer a melhor alternativa encontrada para minimizar o impacto ambiental de resíduos, porém é preferível diminuir ao máximo a geração dos desperdícios e reduzir a demanda de consumo de materiais, de modo a minimizar também a necessidade de reciclagem dos resíduos. No entanto, não basta somente adotar um sistema de reciclagem é preciso atender às exigências de mercado que possa absorver o novo produto a ser gerado. Pouco adianta uma tecnologia ou uma simples idéia que consiga recuperar um resíduo ou encontrar para ele uma utilização, se ele não for absorvido no mercado e efetivamente utilizado, devendo, por isso, ser posteriormente disposto (ZORDAN, 2003). Adicionalmente para a viabilidade da reciclagem dos agregados de RCD, devem-se levar em conta alguns aspectos, tais como, o desempenho técnico do produto reciclado, impactos ambientais causados tanto pelo processo de reciclagem quanto pelo uso e disposição final do produto reciclado e viabilidade de mercado (PIETRA, 2005).

Estudos desenvolvidos para a utilização desses agregados em concretos foram explorados por vários pesquisadores. Alguns exemplos podem ser citados tais como a avaliação da massa específica do RCD nas propriedades do concreto (CARRIJO, 2005), a utilização de fibras de aço em concretos de RCD (PIETRA, 2005; BANTHIA; CHAN, 2000;), a aplicação dos RCD em base de

pavimentação, blocos de concreto, argamassas de assentamento, revestimento (MIRANDA, 2005;) e outros.

Apesar desses estudos ainda há vários pontos a serem discutidos em relação à influência do RCD nas propriedades do concreto estrutural. Um desses pontos é a própria origem dos resíduos. Nos estudos anteriores os resíduos eram de uma única fonte e não foi avaliada a possível influência que a região de origem pode ter no desempenho do material reciclado.

2. UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS DE RCD NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Angulo et al. (2003), se todo o RCD fosse utilizado como agregado a participação do mercado total não seria superior a 20%, pois o mercado dos agregados naturais é vasto. No entanto, esse mercado, está dividido em diversas aplicações: pavimentação, argamassa, concretos com diferentes resistências e etc.

Para promover o reuso dos resíduos de construção se faz necessário alcançar três concepções básicas: (1) garantia da segurança do produto; (2) diminuição do impacto ambiental e (3) diminuição do custo da construção (DOSHO, 2007), Figura 1.

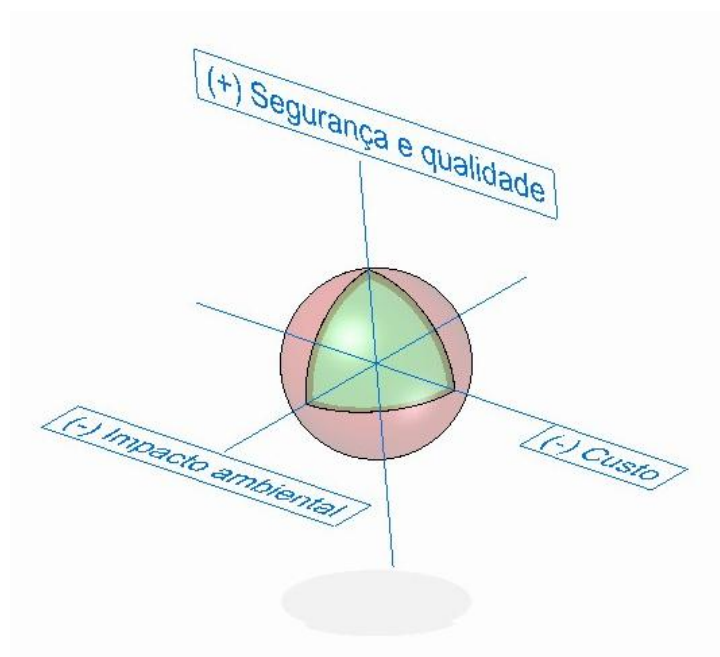


Figura 1 – Avaliação da reciclagem. Adaptado: (DOSHO, 2007)

Na Figura 1, está destacada em verde a “região de interesse”. Nesta região pode ser encontrado um ponto ótimo para uma dada aplicação específica do concreto reciclado.

2.1 Argamassa produzida com agregados reciclados

No Brasil o primeiro estudo utilizando resíduo de construção e demolição foi concluída em 1986 pelo arquiteto Tarcísio de Paula Pinto. Em sua pesquisa foi estudado o uso de agregados reciclados para a produção de argamassas (PINTO, 1999).

A utilização dos agregados de RCD reciclados para a produção de argamassa tem atingido propriedades compatíveis e até superiores a aquelas apresentadas pelas argamassas convencionais na maioria dos casos (FARIAS FILHO et al. 2006). Alguns pesquisadores atribuem isso à atividade pozolânica dos materiais cerâmicos finamente moídos, e também o efeito filler dos finos reciclados, com isso o volume de vazio da matriz diminui e resistência mecânica do compósito aumenta. Além de atingir boa resistência mecânica, o uso dos agregados de RCD reciclados pode-se obter boa aderência ao substrato, boa consistência e coesão (LIMA, 1999).

Acredita-se que a fabricação de argamassa com agregados reciclados possa se tornar uma alternativa viável para vários tipos de edificações no Brasil, com custo inferior às das argamassas tradicionais (MIRANDA, 2000).

2.2 Concreto produzido com agregados reciclados

Estudos enfocando os concretos produzidos com agregados reciclados têm recebido atenção em pesquisas. Apesar do potencial e da necessidade de aproveitamento dos agregados reciclados, o mercado necessita ser desenvolvido e isso requer mudanças na gestão e no processamento do RCD, além de uma metodologia de dosagem. Entre essas referidas mudanças estão a demolição seletiva, a redução de contaminantes, o aprimoramento dos processos de reciclagem, bem como o emprego de novos equipamentos de concentração e britagem (ANGULO et al.,2002).

Os estudos vêm se ampliando em busca de novas informações sobre diferentes aspectos do comportamento de concretos utilizando agregados reciclados.

Tem se confirmado que o comportamento do concreto produzido com agregados de RCD reciclados não pode ser previsto simplesmente através da sua composição ou densidade, pois há influência dessas e outras propriedades dos agregados na qualidade do concreto (LOVATO, 2007).

Os agregados de RCD reciclados, em geral, possuem propriedades bastante variáveis e o comportamento apresentado pela adição dos mesmos em concretos é pode ser muito variado em função da sua procedência e tratamento recebido. Isto ocorre porque, dependendo da origem dos RCD, podem ocorrer contaminações que afetam tanto a qualidade técnica do produto final quanto significar riscos ambientais (JOHN, AGOPYAN, 2000). Além do

mais há falta de uma metodologia adequada para garantir avaliação da confiabilidade dos resultados dos concretos produzidos com agregados de RCD reciclados (CARRIJO, 2005; PIETRA, 2005). Os trabalhos de Carrijo (2005) e Pietra (2005) utilizaram a mesma metodologia básica de dosagem, baseada no modelo descrito por Helene e Terzian (1992) com algumas diferenças de procedimentos.

Como exemplo, no trabalho de Carrijo (2005) fixou-se o volume de agregados reciclados nas diversas misturas, enquanto no trabalho de Pietra (2005) houve a determinação do teor de argamassa através do procedimento experimental tradicional, conforme o recomendado por Helene e Terzian (1992). Este trabalho segue a mesma metodologia básica, mas também com algumas diferenças em relação aos anteriores, como é o caso da utilização dos agregados de RCD sem pré-saturação, o que contribuiu para a ampliação da análise do material.

3. AVALIAÇÃO DO CONCRETO COM AGREGADOS GRAÚDOS REICLADOS DE ORIGENS E TRATAMENTOS DISTINTOS

O estudo experimental descrito a seguir teve por objetivo avaliar a influência da origem e do tratamento dos agregados de RCD reciclado nas propriedades do concreto estrutural. Para tal avaliação os agregados reciclados de RCD, das diferentes cidades (São Paulo e Macaé), serão submetidos a dois tipos de tratamentos: britagem e separação por densidade (jigüe), atendendo a mesma faixa granulométrica de -19+4,8 mm.

3.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados foram:

- Cimento CP II E 32;
- Areia grossa lavada de rio;
- Brita 1 de origem basáltica;
- Britas de RCD recicladas:
 1. Proveniente da cidade de **São Paulo** submetido à britagem por **mandíbula** com granulometria entre -19+4,8 mm;
 2. Proveniente da cidade de **São Paulo** submetido ao processamento em **jigüe**; agregados com granulometria entre -19+4,8 mm;
 3. Proveniente da cidade de **Macaé** submetido à britagem por **mandíbula** com granulometria entre -19+4,8 mm;
 4. Proveniente da cidade de **Macaé** submetido ao processamento em **jigüe**; agregados com granulometria entre -19+4,8 mm.

3.2 Estudo de dosagem

O tradicional método de dosagem IPT (HELENE; TERZIAN, 1992) foi selecionado para proceder a análise dos diferentes agregados. Assim, foram produzidos concretos utilizando os agregados naturais e os de RCD de modo a se obter os diagramas de dosagem para cada uma das famílias de materiais. A Tabela 1 apresenta a formulação e os códigos utilizados para cada uma das misturas.

Tabela 1 – Formulação do concreto.

| Origem | Tratamento | Agregados | | | | Nomenclatura |
|-----------|------------|-----------|-----------|---------|-----------|--------------|
| | | Graúdo | | Miúdo | | |
| | | Natural | Reciclado | Natural | Reciclado | |
| Natural | Natural | X | | X | | Nat |
| São Paulo | Britagem | | X | X | | SPB |
| Macaé | Britagem | | X | X | | MB |
| São Paulo | Jigue | | X | X | | SPJ |
| Macaé | Jigue | | X | X | | MJ |

Neste trabalho os agregados graúdos foram colocados na betoneira sem pré-saturação. A intenção atrelada a esta mudança de procedimento de mistura, em relação aos estudos anteriores (CARRIJO, 2005; PIETRA, 2005), era verificar a possibilidade de se obter um maior ganho de resistência devido ao fechamento dos poros com a pasta de cimento e outros materiais finamente particulados durante a mistura do material. Parte destas partículas finas é proveniente do próprio processo de esfoliação que os agregados sofrem durante sua manipulação.

Este estudo terá possibilidade de comparação dos procedimentos em relação à metodologia utilizada em estudos anteriores (CARRIJO, 2005; PIETRA, 2005) que realizaram a pré-saturação dos agregados nas betoneiras antes da adição do cimento. Neste caso, o preenchimento dos vazios superficiais dos agregados com a pasta de cimento fica dificultado.

3.3 Traços de concreto produzidos

Foram utilizados três traços de concreto dosados em volume, ao contrário do que normalmente se faz neste procedimento que utiliza o proporcionamento em massa. Isto ocorreu devido à variação de massa específica dos agregados reciclados que, se dosados em massa, gerariam variações no consumo volumétrico de agregados graúdos. Estes traços básicos foram utilizados para a produção do diagrama de dosagem e possuíam distintos consumos de

cimento, sendo um de maior consumo, outro de consumo intermediário e um terceiro de menor consumo de cimento que foram denominados de maneira simplificada como rico, intermediário e pobre, respectivamente.

Esta metodologia foi adotada pelo fato dos agregados reciclados apresentarem variação da massa específica o que provocaria alterações nas proporções de agregados caso fosse utilizado o procedimento em massa para todas as famílias de concreto. Ou seja, os traços com agregados reciclados teriam uma maior proporção de agregados graúdos o que dificultaria muito a condição de mistura.

No procedimento de dosagem utilizado neste estudo experimental o ajuste do abatimento foi feito exclusivamente pela correção da quantidade de água necessária para atingir o abatimento definido, ou seja, este estudo também serviu para avaliar o efeito dos agregados na demanda de água para a manutenção da trabalhabilidade do concreto. Assim, a trabalhabilidade do concreto produzido com agregados reciclados não foi compensada pelo uso de aditivos superplastificantes, somente com a variação do teor de argamassa e o ajuste da quantidade de água. Essa variação foi estabelecida até proporcionar à mistura uma boa coesão e consistência adequada para a obtenção do abatimento especificado de 80 ± 10 mm.

3.4 Resultados e discussão

A resistência à compressão é a propriedade do concreto mais estudada, sendo esta capaz de indicar com precisão as variações da qualidade de um concreto. A determinação da resistência dos diferentes traços foi feita através da ruptura de três corpos-de-prova, sendo considerada a média dos valores como o valor de referência para a resistência do material. Tal procedimento já havia sido adotado em estudos anteriores (CARRIJO, 2005 E PIETRA, 2005). A escolha deste critério específico é a variabilidade intrínseca dos agregados de RCD, o que pode alterar a resistência do concreto tanto para cima como para baixo. Com isto, considera-se o valor médio como mais representativo da resistência neste caso, ao contrário do concreto convencional onde normalmente se rompem dois corpos-de-prova e se utiliza o maior valor obtido como resistência do exemplar.

A Figura 2 apresenta os diagramas de dosagem obtidos para todas as famílias de concreto, os quais permitem estabelecer traços para cada faixa de resistência de dosagem desejada e determinar o seu respectivo consumo de cimento.

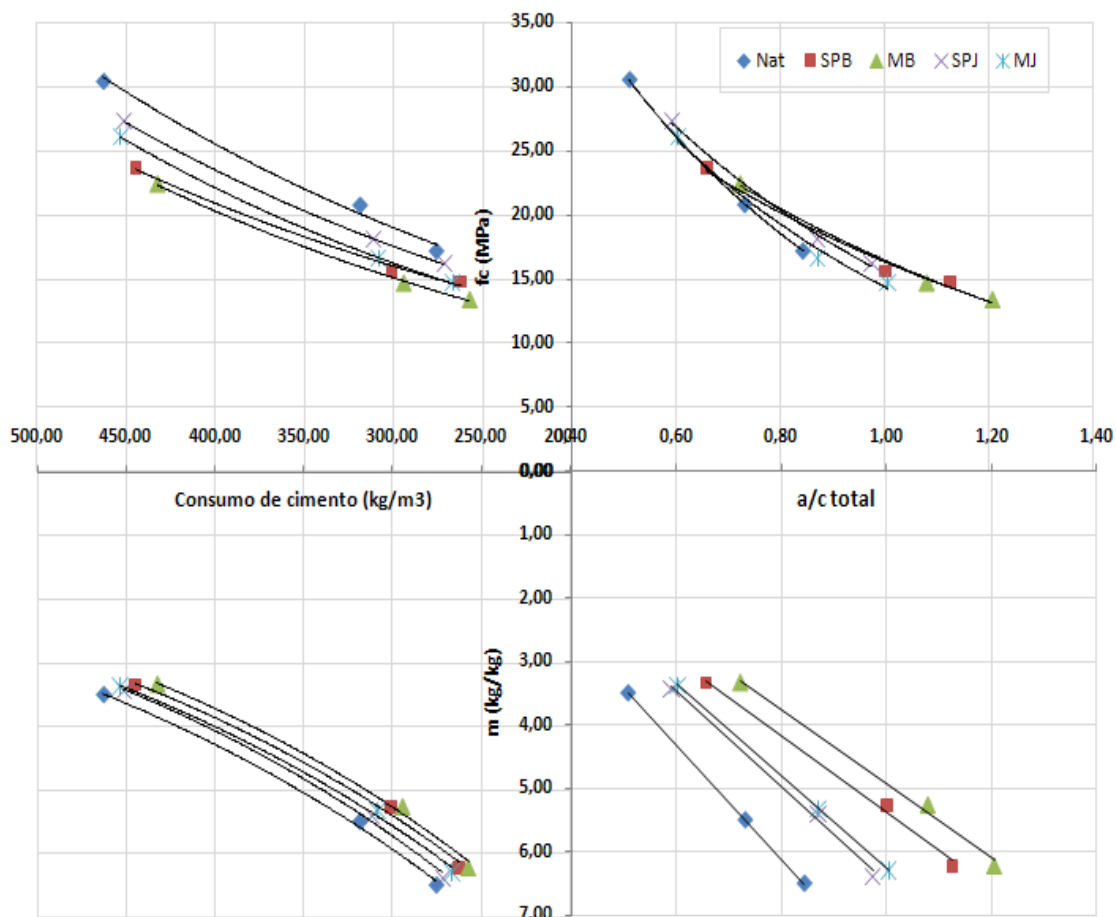


Figura 2 – Diagramas de dosagem contendo as correlações entre resistência à compressão e a relação água/cimento e teor de agregados e consumo de cimento.

Nota-se certo deslocamento à direita das curvas no primeiro quadrante, principalmente na parte inferior, para os concretos reciclados. Ou seja, para o traço mais pobre em cimento e conseqüentemente, mais ricos em agregados graúdos, houve um aumento proporcional da demanda de água para se garantir a trabalhabilidade, o que acabou por aumentar muito a relação água/cimento. Isto era esperado pelo fato de haver mais poros de agregados a consumir água na mistura. No entanto, este aumento na relação água/cimento acabou por alterar de maneira suave a resistência à compressão, pois se pode observar que as curvas de dosagem mais à direita, com maior relação água/cimento, apresentam decréscimo de resistência também. Pode-se dizer que este comportamento endossa a idéia de que a maior quantidade de água esteja sendo consumida em parte na pasta que preencheu os poros superficiais dos agregados graúdos de RCD. Porém, este preenchimento se deu com um material de menor qualidade, devido à maior relação água/cimento da pasta. Isto porque este deslocamento foi mais intenso na parte inferior dos gráficos, associados à região com maior teor de agregados graúdos e, conseqüentemente, de poros superficiais a serem preenchidos. Vale ressaltar que a diferença relativa de resistência ocorreu de maneira mais intensa

também para concretos de maior relação água/cimento, ao contrário do que apontaram os resultados de pesquisa anterior (CARRIJO, 2005; PIETRA, 2005) onde os deslocamentos dos gráficos de dosagem foram mais significativas para menores relações água/cimento.

Para melhor análise dos resultados, o quarto quadrante da Figura 2 foi isolado na Figura 3. Essa figura permite a análise conjunta das diferentes famílias de concreto, o que possibilita concluir sobre a influência da origem dos agregados, bem como da influência do processamento. Para uma dada resistência de dosagem de referência, no caso 20 MPa, constatou-se claramente que o consumo de cimento foi menor para concretos produzidos com agregados naturais seguido dos reciclados tratados em jigüe e que, por sua vez, tiveram consumos menores que os concretos produzidos com agregado reciclados britados que demandaram o maior consumo de cimento.

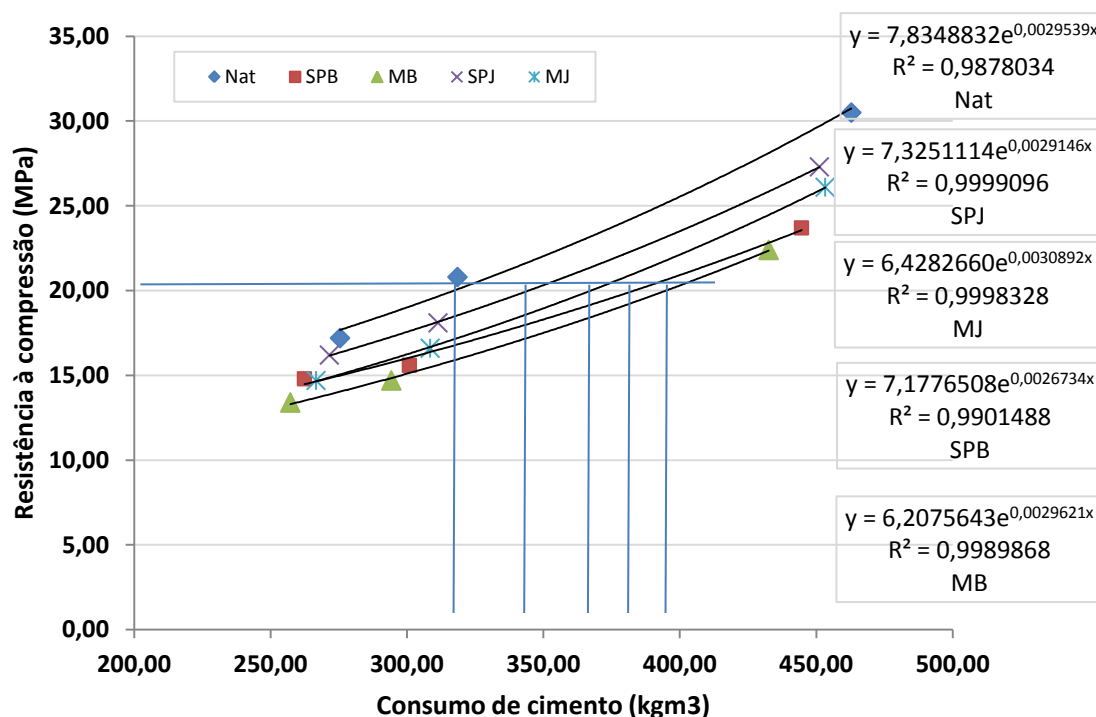


Figura 3 – Gráfico de dosagem associando a resistência à compressão ao consumo de cimento segundo o tratamento dos agregados reciclados.

Quanto à origem dos agregados reciclados pode-se observar diferenças nos resultados medidos absolutamente coerentes com os resultados anteriores. Ou seja, os agregados reciclados da cidade de São Paulo demandaram valores de consumo de cimento menor que os da cidade de Macaé, para a resistência fixa de 20 MPa. Isto está relacionado com a maior massa específica obtida com os concretos produzidos com agregados de RCD originados em São Paulo. Ou seja, concretos produzidos com agregados mais densos conseguem obter

resultados de resistência com menores consumos de cimento, pois são menos porosos globalmente.

Para explorar melhor esta discussão será dada a continuidade á análise através dos gráficos correlacionando o consumo de cimento por resistência de dosagem do concreto (Binder index - BI). O resultado desta análise pode ser observado na Figura 4.

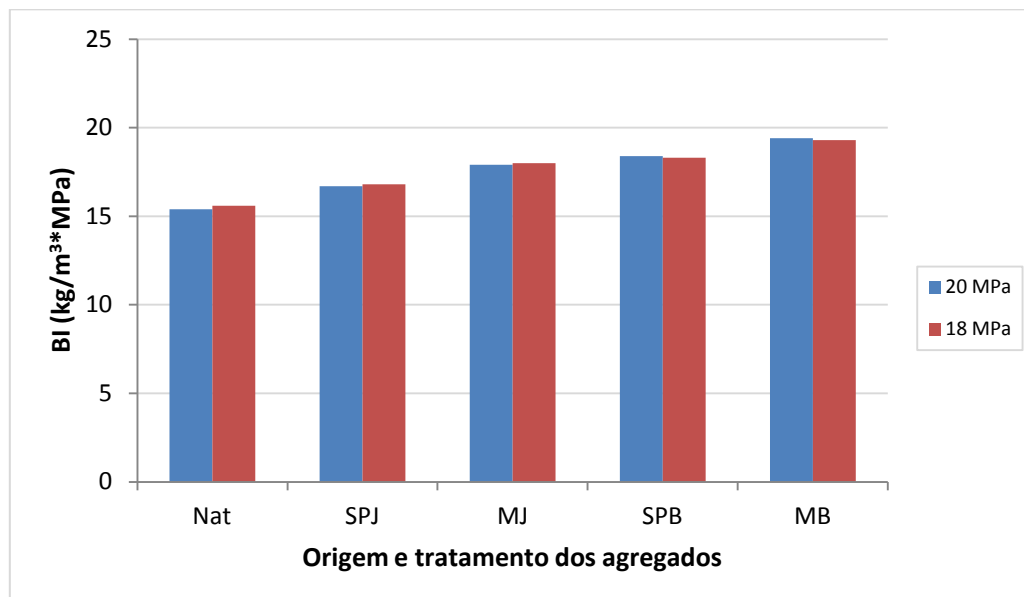


Figura 4 – Influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados.

A origem dos agregados alterou substancialmente o resultado final de desempenho. Com isso se pode afirmar que a origem dos agregados é um fator determinante para os resultados em termos de demanda de cimento. Da mesma forma, pode-se apontar a eficiência do tratamento jigüe em relação aos agregados reciclados simplesmente britados, dado que os resultados obtidos com os agregados que passaram pela separação densitária foi superior àqueles simplesmente britados. Ou seja, houve uma diminuição do BI quando os agregados reciclados britados foram processados em jigüe, tanto para o caso daqueles oriundos de São Paulo como para os de Macaé. Em outras palavras, a separação densitária diminui o consumo de cimento necessário para a mesma faixa de resistência.

Os resultados apresentados na Figura 4 endossam os aspectos observados anteriormente, onde, agregados mais porosos, demandam maior consumo de cimento para se atingir a mesma faixa de resistência de dosagem.

4. AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE SATURAÇÃO PRÉVIA DOS AGREGADOS RECICLADOS

Na Figura 5 foi feita a comparação dos resultados obtidos no presente trabalho com os de Pietra (2005). Foram selecionados os agregados reciclados da mesma origem (São Paulo) e simplesmente britados e com densidade próxima de $2,06\text{g/cm}^3$. Assim, os mesmos são algo comparáveis, apesar de não se poder esquecer as diferenças naturais dos resíduos que deram origem aos agregados, como também o tipo de cimento. A diferença básica mais importante ocorreu nos concretos durante o procedimento de mistura dos materiais, sendo que no trabalho de Pietra (2005) os materiais foram pré-saturados, enquanto no estudo experimental desta dissertação, os materiais foram misturados sem a pré-saturação. Pode-se observar na Figura 5 que o nível de absorção de água do concreto no estado endurecido alcançados por Pietra (2005) é maior que os obtidos neste trabalho. Tal fato pode ser explicado pelo procedimento de dosagem do método da pré-saturação dos agregados reciclados. Ou seja, os poros que foram preenchidos por água no estado fresco se tornaram poros novamente no estado endurecido do concreto após a evaporação da água.

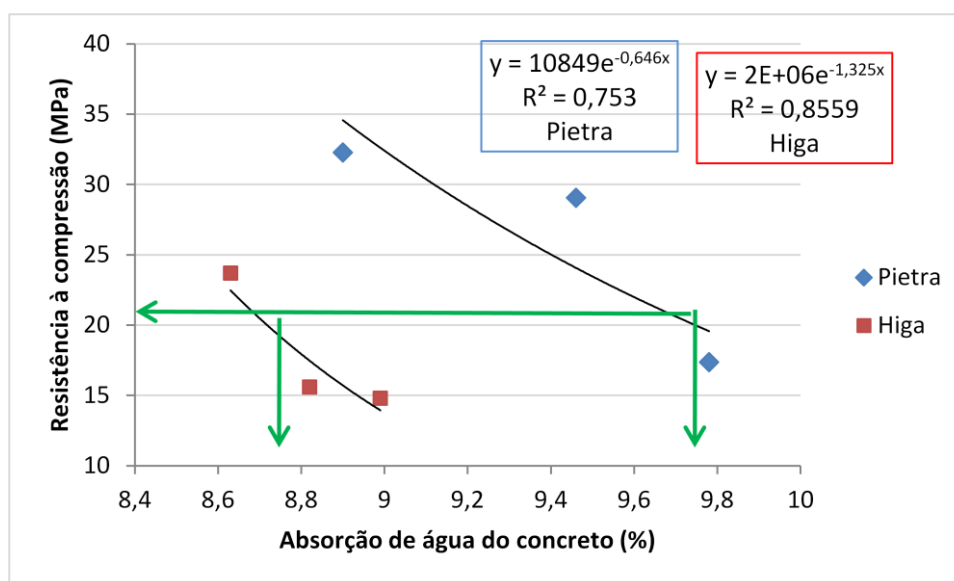


Figura 5 – Correlação entre o ensaio de resistência à compressão e a absorção de água do concreto.

Em relação ao trabalho de Carrijo (2005), foi feita a mesma seleção, ou seja, agregados reciclados da cidade de São Paulo com densidade próxima à deste trabalho. O procedimento de pré-saturação também foi adotado por Carrijo (2005), porém o método de dosagem do concreto foi em volume. Na Figura 6 pode-se obter a mesma análise feita em relação às comparações deste trabalho com o de Pietra (2005). Em relação à correlação entre a resistência à

compressão e a absorção de água, foi observado o mesmo padrão da análise em relação ao trabalho de Pietra (2005).

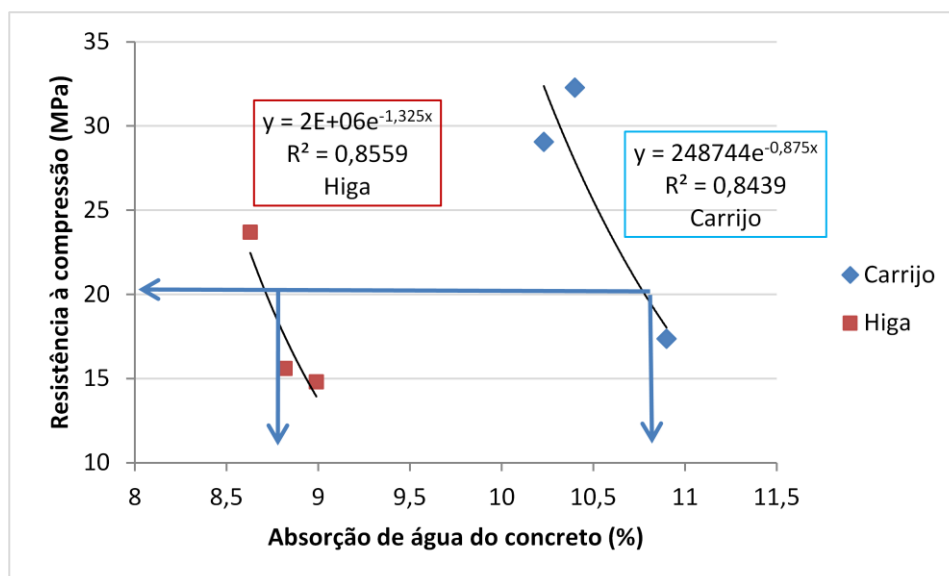


Figura 6 - Correlação entre o ensaio de resistência à compressão e a absorção de água do concreto.

Pode-se concluir a pré-saturação apresenta menor potencial para preenchimento dos poros dos agregados reciclados, o que, para igualdade de condições dos materiais constituintes, poderá levar a um ganho de desempenho do concreto, especialmente no que se refere à sua durabilidade.

5. CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados obtidos com o concreto endurecido, pode-se concluir que, a separação densitária aproxima o comportamento do agregado de RCD do agregado convencional. No entanto, este tratamento não é capaz de eliminar as diferenças associadas à origem dos agregados. Assim, os agregados originados de São Paulo, que já eram mais densos, tiveram uma aproximação maior em relação ao concreto de referência do que aqueles produzidos em Macaé.

A análise para as resistências de dosagens fixas de 20 e 18 MPa corroboram os resultados obtidos pelas diferentes famílias de concreto, evidenciando a influência da origem e principalmente no tratamento dos agregados. Isto ficou evidenciado pelo fato de os agregados menos densos gerarem maior demanda de cimento para a mesma faixa de resistência ou, em outras palavras, ter reduzido o seu BI.

A não utilização da pré-saturação dos agregados reciclados, empregada no estudo, pode ter possibilitado o preenchimento dos agregados pela pasta de cimento, o que contribuiu para uma menor diferença relativa de desempenho do concreto convencional em relação ao produzido com agregados reciclados, principalmente para os concretos de maior relação água/cimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, S. C. et al. **Desenvolvimento de novos mercados para a reciclagem massiva de RCD**. In: V Seminário sobre desenvolvimento sustentável a reciclagem na construção civil, 2002, São Paulo. V Seminário sobre desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil, 2002.

ANGULO, S. C. et al. Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição. In: VI Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a reciclagem na construção civil. IBRACON CT-206. São Paulo. 2003. p. 293-308.

BANTHIA, N.; CHAN, C. **Use of recycled aggregate in plain and fiber-reinforced shotcrete**. Concrete Internacional, v.22, n.6. June 2000. p. 41-45.

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 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

DOSHO, Y. Development of a sustainable concrete waste recycling system – application of recycled aggregate concrete produced by aggregate replacing method. **Journal of Advance Concrete Technology**. vol. 5, n. 1, p. 27-42. February 2007.

FARIA FILHO, J. et al. Avaliação da atividade pozolânica de resíduos da construção civil. In: 17^o CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006, Foz do Iguaçu, PR.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. PINI Editora. São Paulo, 1992.

JOHN, V. M. Panorama sobre reciclagem de resíduos na construção civil. In: II Seminário. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil. CT 206. 1999. **Ibracon**.

JOHN, V. A.; AGOPYAN, V. Reciclagem da construção. In: Seminário de Resíduos Sólidos e domiciliares. CETESB, 2000. São Paulo. Seminário de resíduos sólidos e domiciliares CETESB. SÃO Paulo: CETESB, 2000.

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. 222 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 1999.

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

MIRANDA, L. F. R. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos classe A da construção civil**. 2005. 474 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PIETRA, I. **Avaliação do concreto com agregados graúdos reciclados e resíduos de construção e demolição reforçado com fibras de aço**. 2005. 129 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999. 189p.

SILVA, V. G. da, Avaliação do desempenho ambiental de edifícios. **Qualidade na construção**. n. 25 p. 14-22. Ano III, 2000. SindusCon SP.

ZORDAN, S. E. **Metodologia de avaliação do potencial de reciclagem de resíduos**. 2003. 464 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ÚLTIMOS BOLETINS TÉCNICOS PUBLICADOS

- BT/PCC/562 - Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios - VANESSA MONTORO TABORANSKI, RACINE TADEU ARAUJO PRADO
- BT/PCC/561 - Desempenho energético e caracterização dos sistemas de aquecimento de água de piscinas – CLAUDIO AZER MALUF, RACINE TADEU ARAUJO PRADO
- BT/PCC/560 - Determinação das condições de operação de um sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso instalado em uma sala de aula para a sua melhor efetividade da ventilação - RENATA MARIA MARÉ, BRENDA CHAVES COELHO LEITE
- BT/PCC/559 - Aplicabilidade da arbitragem em contratos de construção civil para solução de disputas – RONALDO BENVENUTI, FRANCISCO FERREIRA CARDOSO
- BT/PCC/558 - Financiamento para habitações populares no Brasil e no México: uma análise comparada – LUCIANE MOTA VIRGILIO, ELIANE MONETTI
- BT/PCC/557 – Interpretação da influência das variáveis condicionantes da demanda pela produção habitacional privada: aplicação na cidade de São Paulo durante o período de 1998 a 2008 – JOSÉ EDUARDO RODRIGUES VARANDAS JÚNIOR, CLAUDIO TAVARES DE ALENCAR
- BT/PCC/556 - Processos para a implantação da gestão estratégica de suprimentos – TATHYANA MORATTI, FRANCISCO FERREIRA CARDOSO
- BT/PCC/555 - Aplicação da lei de ZEIS em vazios urbanos no município de Santos/SP - ROSANA MURINELLY GOMES SPINOLA, ALEX KENYA ABIKO
- BT/PCC/554 - Uma análise sobre os impactos decorrentes da inserção de estações metroviárias em áreas urbanas: contribuição conceitual e metodológica através de estudo de casos na cidade de São Paulo - NATÁLIA DE CARVALHO MACÉDO, WITOLD ZMITROWICZ
- BT/PCC/553 - O desempenho das estruturas organizacionais das empresas de *real estate* e a relação com os seus valores de mercado - LEANDRO SEFFAIR LINS DE ALBUQUERQUE, CLAUDIO TAVARES DE ALENCAR
- BT/PCC/552 – Diretrizes para projetos de edifícios de escritórios – ANA WANSUL LIU, SILVIO BURRATTINO MELHADO
- BT/PCC/551 - CEPACs e operações urbanas consorciadas - CLAUDIO MARTINS GAIARSA, JOÃO DA ROCHA LIMA JÚNIOR
- BT/PCC/550 - Empresas executoras de serviços de obras e as suas condições de competição - RICARDO JUAN JOSÉ OVIEDO HAITO, FRANCISCO FERREIRA CARDOSO
- BT/PCC/549 - Avaliação das conseqüências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas - JOSÉ ANTONIO RIBEIRO DE LIMA, VANDERLEY MOACYR JOHN
- BT/PCC/548 – Método para redução de mancha nas vedações externas de edifícios - FLÁVIO LEAL MARANHÃO, VANDERLEY MOACYR JOHN
- BT/PCC/547 - Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves - LUCIANA ALVES DE OLIVEIRA, SILVIO BURRATTINO MELHADO
- BT/PCC/546 - Proposta de metodologia para reconhecimento de anseios de segmento do mercado residencial: construção de um protocolo para estruturação de um banco de dados na cidade de São Paulo - ALFREDO EDUARDO ABIBI FILHO, ELIANE MONETTI
- BT/PCC/545 - *Squeeze-flow* aplicado a argamassas de revestimento: Manual de utilização - FÁBIO ALONSO CARDOSO, RAFAEL GIULIANO PILEGGI, VANDERLEY MOACYR JOHN
- BT/PCC/544 - Análise dos aspectos e impactos ambientais dos canteiros de obras e suas correlações - VIVIANE MIRANDA ARAÚJO, FRANCISCO FERREIRA CARDOSO
- BT/PCC/543 - Método e critérios para a previsão de compatibilidade eletroquímica de reparos localizados em estruturas com corrosão de armaduras induzida por carbonatação - JOSÉ LUÍS SERRA RIBEIRO, SILVIA MARIA DE SOUZA SELMO

**Escola Politécnica da USP -Biblioteca "Prof.Dr. Telêmaco Van Langendorck"
de Engenharia Civil**

Ed. Paula Souza- Av. Prof. Almeida Prado, Trav.2 n.83 - térreo

Tel: (0XX11) 3091-5204, 3091-9023 **e-mail:** biblioteca.civil@poli.usp.br