



## **Estudo sobre a viabilidade técnica e econômica da reciclagem de entulho para a produção de concreto em obras civis**

### **Study about the technical and economic feasibility of the recycling of debris for the production of concrete in civil works**

Jean Benitez Mello <sup>1</sup>

Norberto Aranha <sup>2</sup>

Waldemar Bonventi Jr <sup>3</sup>

Daniel Bertoli Gonçalves <sup>4</sup>

---

#### **Resumo:**

Os resíduos sólidos gerados pela construção civil e demolições (RCDs) vêm aumentando e têm sido motivo de preocupações com os impactos ambientais e urbanos. Conseqüentemente, tem havido esforços crescentes no reaproveitamento destes RCDs. Uma linha de estudos que vem sendo conduzida refere-se à reutilização do entulho, transformando-o em agregados para concreto, argamassas e pavimentação, por meio de britagem. Neste trabalho, foram produzidos traços de concreto originado de material usinado (usado como referência FCK = 25 MPa) e comparando-os com traços nos quais foram seletivamente empregados materiais reciclados (areia, brita e pedrisco), mantendo-se a proporção de cimento e aditivo. Testes de slump e de compressão foram realizados nas amostras destes traços, como também avaliados os respectivos custos de produção. Concluiu-se que nem sempre a opção de menor custo atende aos requisitos de resistência.

**Palavras-chave:** entulho; reciclagem; concreto; construção civil.

---

<sup>1</sup> UNISO - Universidade de Sorocaba

<sup>2</sup> UNISO - Universidade de Sorocaba

<sup>3</sup> UNISO - Universidade de Sorocaba

<sup>4</sup> UNISO - Universidade de Sorocaba

**Abstract:**

Solid waste generated by construction and demolitions (RCDs) has been increasing and is a concern about the environmental and urban impacts. Consequently, there has been increasing efforts to reuse these RCDs. A line of studies has been conducted in order to reuse these debris, transforming it into aggregates for concrete, mortars and paving, by means of crushing. In this work, traces of concrete produced with machined material (used as reference for FCK = 25 MPa) were produced and compared to traces in which recycled material (sand, gravel and hail) were selectively used, maintaining the proportion of cement and additive. Slump and compression tests were performed on samples of these traces, as well as the respective production costs. It was concluded that not always the least cost meets the requirements of resistance.

**Keywords:** debris; recycling; concrete; construction.

---

## 1. Introdução

O aumento das atividades do setor da construção civil nas últimas décadas tem ocasionado um aumento relevante de consumo de energia, água, recursos naturais, e geração de resíduos sólidos, os quais já representam cerca da metade de todo resíduo urbano gerado no país, cuja maior parte pode ser reciclada na própria obra ou em outros processos. (GONÇALVES, 2016).

O setor da construção civil no Brasil vem gerando toneladas de resíduos como madeira, cimento, concreto, PVC, vidro, tintas, aço, tijolos, piso cerâmicos e demais componentes do entulho de obras, decorrente de falhas construtivas, erros de projeto e de execução, má qualidade dos materiais utilizados e falta de qualificação da mão de obra (SCHENINI, BAGNATI e CARDOSO, 2004).

Para Grubba (2009), fatores como escassez de espaços para alocação desses resíduos e o aumento do custo da produção e do consumo de matéria prima tem impulsionado o reaproveitamento do material reciclado.

No Brasil, as principais pesquisas realizadas referentes ao uso de agregados reciclados, oriundos da construção civil, foram feitas por Pinto (1986) e Levy (1997) em argamassas, Bodi (1997) em pavimentos e Zordan (1997) em concreto.

O processo de reaproveitamento desses resíduos pode gerar trabalho e renda, reduzir a extração de recursos naturais do meio ambiente e economizar energia para extrair e beneficiar matéria prima. (DEMARCHE, 2009)

O objetivo deste trabalho foi avaliar através de ensaios físicos e de uma análise de custos, a possibilidade da reutilização de entulho de demolição na composição de traços de concreto em uma obra de construção civil específica no município de Sorocaba-SP.

De acordo com Demarche (2009), os principais resíduos gerados na construção civil e demolição são constituídos de pedras, tijolos, blocos, areia, cimento, argamassa, concreto, madeira, cal, ferro, cerâmica, gesso e, em menor volume, restos de tintas, vernizes, fiação, telhas, tubulação de PVC e restos de alumínio e papel.

Estes resíduos são classificados pelo CONAMA através da resolução nº 307/2002 em quatro classes: *Classe A* – são os reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tijolos e telhas vindos da construção e ou reformas, sendo a classe mais comum encontrada como descarte; *Classe B* – são os materiais provenientes da construção civil, porém para outra destinação sem ser a própria construção, como os plásticos, papéis e vidros; *Classe C* – são os que não tiveram tecnologias desenvolvidas para a reutilização desse material, como exemplo o gesso; *Classe D* – são os materiais perigosos e contaminantes como restos de tintas, solventes e óleos (SCHENINI, BAGNATI e CARDOSO, 2004).

O principal resíduo gerado nos canteiros de obras é o entulho de demolições, que pode ser reciclado na própria obra como agregado para concreto, argamassas e sub-base para

pavimentação. Todavia, seu uso não é indicado para concretos estruturais em função de sua menor resistência mecânica e durabilidade. (SCHENINI, BAGNATI e CARDOSO, 2004).

A reciclagem do entulho de demolições pós-descarte também tem sido promovida em alguns municípios, como em Ribeirão Preto – SP, através de uma usina de reciclagem, com capacidade de processar 200 ton/dia das 970 ton/dia que a cidade produz. O material reciclado dessa usina é produzido sob forma de bica corrida (conjunto de britas, pedrisco e pó de pedra) e em sua maioria destinado para regularização de vias públicas sem pavimentação (CARNEIRO, BURGOS e ALBERTE, 2001)

O beneficiamento dos Resíduos de Construção e Demolição (RCDs) passa pelos estágios de coleta, transporte, separação, britagem e peneiramento. Alguns estudos concluíram ainda que o beneficiamento dos RCDs não difere muito do tratamento dado à produção de agregados naturais, e muitos dos equipamentos utilizados para isto se adéquam perfeitamente ao beneficiamento dos resíduos para sua reciclagem. (LEITE, 2001).

## 2. Materiais e métodos

Os ensaios experimentais foram realizados para um traço de referência com resistência característica à compressão (FCK) de 25 MPa, em uma usina de concreto da cidade de Sorocaba, que cedeu seu laboratório de concreto para esse estudo. O material natural utilizado e o aditivo (Figura 1) também foram cedidos pela mesma usina. O material reciclado (Figura 2) foi cedido por uma pedreira de reciclagem, também sediada na cidade de Sorocaba.

Toda a parte de moldagem dos corpos de prova, testes de *slump* e os testes de rompimento, por meio de uma prensa mecânica para o ensaio de compressão, foram auxiliados e realizados na empresa Engemix usina de concreto, seguindo as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) para ensaio de resistência à compressão, NBR 5738 (ABNT, 2003) para moldagem e cura dos corpos de prova, e NBR NM 67 (ABNT, 1996) para os testes de *slump*.

Foram realizados cinco traços, tomando como referência o mesmo consumo dos materiais, levando em consideração a diferença de densidade do material reciclável, que no caso é menos denso do que o material natural. Por exemplo, se for utilizado o mesmo peso de areia reciclada (densidade menor) e areia natural (densidade maior), tem-se um volume maior da areia reciclada, conseqüentemente é necessário aumentar o volume de cimento, de água e dos outros materiais para haver a compensação do material e não diminuir a resistência do concreto.

Os traços foram realizados com o consumo e tipo de material conforme especificado na Tabela 1. Estes foram denominados de acordo com a nomenclatura registrada na execução da obra. Para cada traço foram moldados seis corpos de prova, sendo duas amostras para cada tempo de cura, 3, 7 e 28 dias. Foram medidos, através de ensaios de compressão, os valores de resistência (FCK) de cada amostra.



**Figura 1 – Agregados naturais**



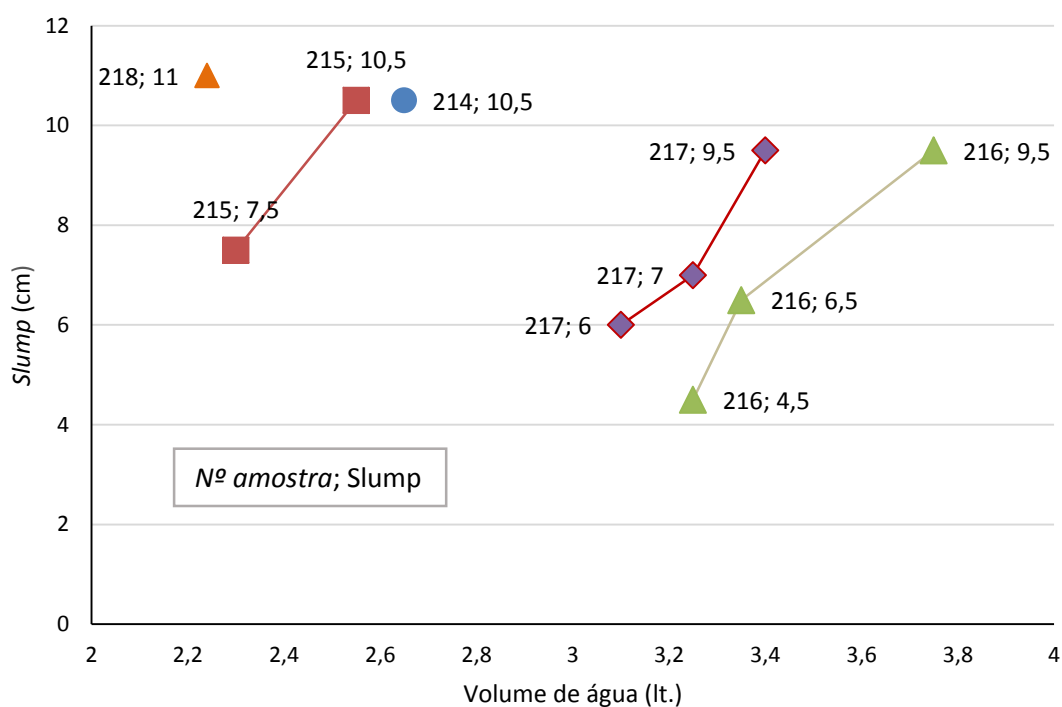
**Figura 2 - Agregados reciclados**

**Tabela 1:** Traços, materiais e quantidades em cada amostra do ensaio

|                              | <b>Material</b> | <b>Tipo</b>   | <b>Consumo (kg)</b> |
|------------------------------|-----------------|---------------|---------------------|
| <b>1º Traço, amostra 214</b> | Cimento         | CP II - E 40  | 3,37                |
|                              | Brita 1         | Usinado       | 12,13               |
|                              | Brita 0         | Usinado       | 3,03                |
|                              | Areia Média     | Usinado       | 8,55                |
|                              | Pó de Pedra     | Usinado       | 4,98                |
|                              | Água            | Potável       | 2,65                |
|                              | Aditivo         | Polifuncional | 0,026               |
| <b>2º Traço, amostra 215</b> | Cimento         | CP II - E 40  | 3,37                |
|                              | Brita 1         | Reciclado     | 9,33                |
|                              | Brita 0         | Usinado       | 3,03                |
|                              | Areia Média     | Usinado       | 8,55                |
|                              | Pó de Pedra     | Usinado       | 4,98                |
|                              | Água            | Potável       | 2,2                 |
|                              | Aditivo         | Polifuncional | 0,026               |
| <b>3º Traço, amostra 216</b> | Cimento         | CP II - E 40  | 3,37                |
|                              | Brita 1         | Reciclado     | 9,33                |
|                              | Brita 0         | Reciclado     | 1,62                |
|                              | Areia Média     | Reciclado     | 7,83                |
|                              | Pó de Pedra     | Reciclado     | 5,22                |
|                              | Água            | Potável       | 2,65                |
|                              | Aditivo         | Polifuncional | 0,9                 |

|                       |             |               |       |
|-----------------------|-------------|---------------|-------|
| 4º Traço, amostra 217 | Cimento     | CP II - E 40  | 3,37  |
|                       | Brita 1     | Usinado       | 12,13 |
|                       | Brita 0     | Usinado       | 3,03  |
|                       | Areia Média | Reciclado     | 7,83  |
|                       | Pó de Pedra | Reciclado     | 5,22  |
|                       | Água        | Potável       | 2,65  |
|                       | Aditivo     | Polifuncional | 0,75  |
| 5º Traço, amostra 218 | Cimento     | CP II - E 40  | 3,37  |
|                       | Brita 1     | Usinado       | 12,13 |
|                       | Brita 0     | Reciclado     | 1,62  |
|                       | Areia Média | Usinado       | 8,55  |
|                       | Pó de Pedra | Usinado       | 4,98  |
|                       | Água        | Potável       | 2,25  |
|                       | Aditivo     | Polifuncional | 0,026 |

Figura 3 – Valores do teste de *slump* em função do volume de água

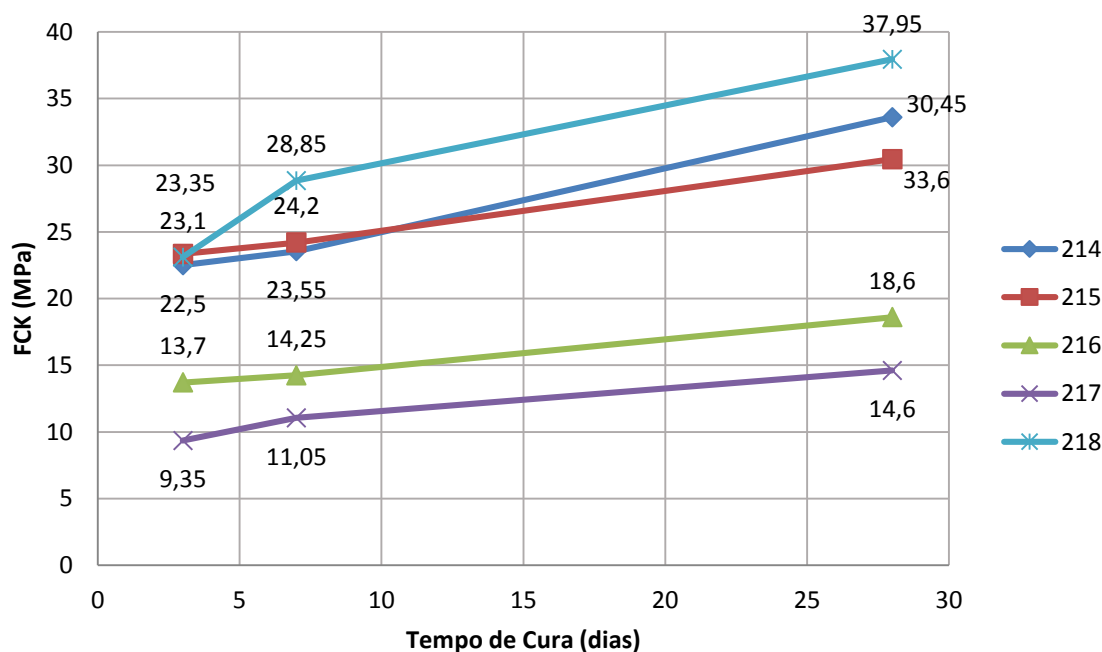


### 3. Resultados e Discussão

Os resultados do teste de *slump* são apresentados no gráfico apresentado na Figura 3. As amostras 214 e 218 já atingiram um valor de *slump* acima de 10 cm logo no primeiro teste, com quantidades de 2,65 kg e 2,25 kg de água, respectivamente. Por essa razão é que não foram realizados outros testes com quantidades diferentes de água.

É importante notar que a substituição da brita 0 usinada pela reciclada na amostra 218, apresentou uma melhora sensível no teste de *slump* mesmo com uma quantidade inferior de água, indicando que essa substituição é positiva para o traço do concreto. A amostra 215 apresentou um primeiro *slump* de 7,5 cm com 2,30 ℓ de água e, ao acrescentar 0,25 ℓ de água (totalizando 2,55 ℓ) atingiu 10,5 cm. Neste caso observa-se que o traço com brita 1 reciclada necessita de uma quantidade maior de água para atingir um *slump* acima de 10 cm. Este fato pode ser devido a uma maior irregularidade ou mesmo a presença de poros na superfície das britas recicladas, que absorveriam mais água. As amostras 216 e 217 apresentaram uma maior dependência com a quantidade de água, sendo necessários 3,75 ℓ e 3,40 ℓ de água, respectivamente para os traços 216 e 217, para que atingissem valores de *slump* próximo de 10 cm. Esse aspecto já desqualifica esses dois traços para a produção de concreto. Este resultado está relacionado diretamente à substituição dos materiais usinados pelos reciclados, que no caso da amostra 216 foram todos reciclados, e para a amostra 217 apenas foram substituídos a areia média e o pó de pedra por areia média e pedriscos reciclados.

**Figura 4 – Resistência à compressão em função do tempo de cura**



O comportamento da resistência à compressão em função do tempo de cura, para os diferentes traços testados, é mostrado no gráfico apresentado na Figura 4. Cada ponto neste gráfico representa a média da resistência de duas amostras para cada tempo de cura. Inicialmente observam-se dois grupos distintos de amostras. As que apresentaram valor inferior a 25 Mpa, no caso as amostras 216 e 217, e as amostras 214, 215 e 218 que ficaram acima deste valor que, a princípio, são aptas para serem utilizadas. Os traços 215 e 216 apresentaram um



comportamento linear indicando que a cura se deu de forma progressiva, com uma variação de 7,1 MPa e 4,9 MPa, respectivamente. A amostra 217 apresentou aumento na resistência um pouco acentuado de 3 a 7 dias, continuando a aumentar até atingir 14,6 Mpa aos 28 dias de cura.

As amostras 216 e 217 apresentaram valor de resistência à compressão muito abaixo do valor ideal para concretos, sendo, portanto, descartadas para este fim. Sabe-se que o componente principal da areia é o quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e que as areias que contêm impurezas aglutinantes, como matérias orgânicas ou argilas, apresentam uma melhor coesão, pois haverá comportamento semelhante ao solo. A areia por sua vez, perde a qualidade se contiver grãos friáveis (BAUER 1994). Esse baixo desempenho devido a presença dos reciclados miúdos (areia média e pó de pedra) é também devido ao agregado miúdo reciclado ter muito mais material fino do que o usinado natural, com isso ele absorve mais água do que o previsto. Para manter o teste de *slump* de referência foi preciso adicionar mais água (0,026 kg), com isso o fator água/cimento aumentou, diminuindo assim sua resistência. Visto que a amostra 216 utiliza apenas material reciclado e a amostra 217 utiliza areia e pedrisco reciclados, pode-se observar que a baixa resistência à compressão para estas duas amostras se deve particularmente à presença de areia média e de pedrisco reciclados na composição dos dois traços.

A substituição da brita 1 usinada pela reciclada no traço 215 fez com que o aumento da resistência à compressão nos 7 primeiros dias, fosse semelhante ao da amostra 214. Porém, este aumento foi menos acentuado, atingindo ao final de 28 dias o valor de 30,45 MPa, ao passo que para a amostra 214 foi de 33,6 MPa.

A amostra 218, que contém apenas brita 0 reciclada na sua composição, foi a que apresentou melhor desempenho em comparação com as demais amostras. Nos primeiros 7 dias de cura teve uma elevação mais acentuada no valor de sua resistência, atingindo 28,85 MPa e, a partir daí o aumento da resistência à compressão foi mais lento, atingindo 37,95 MPa aos 28 dias. Valor este 4,35 MPa acima do traço padrão 214 que foi de 33,6 MPa. Nota-se, portanto que a utilização de brita 0 no traço melhorou o desempenho do concreto. É importante ressaltar que os agregados graúdos reciclados (brita 0 e 1) são provenientes de restos de concreto e cimento, o que acaba melhorando a resistência inicial das amostras. Por este motivo é que ao serem coloca-los novamente em processo de produção de concreto, fazem com que a mistura atinja uma resistência maior do que a esperada. Isso também ocorre porque se consegue obter um fator água-cimento ideal.

### 3.1 Análise de custo



Foi realizada uma análise de custo para avaliar a viabilidade de utilização de materiais reciclados na produção do concreto. Como base utilizou-se o custo de cada insumo em toneladas, referente ao ano de 2015, representado na Tabela 2.

**TABELA 2:** Custo de cada insumo em toneladas

| <b>Material</b> | <b>Tipo</b>   | <b>Valor Unit. (R\$/ton)</b> |
|-----------------|---------------|------------------------------|
| Cimento         | CP II - E 40  | 268,49                       |
| Brita 1         | Usinado       | 31,19                        |
| Brita 0         | Usinado       | 31,25                        |
| Areia Média     | Usinado       | 19,00                        |
| Pó de Pedra     | Usinado       | 30,70                        |
| Brita 1         | Reciclado     | 17,86                        |
| Brita 0         | Reciclado     | 17,86                        |
| Areia Média     | Reciclado     | 17,86                        |
| Pedrisco        | Reciclado     | 17,86                        |
| Água            | Potável       | 16,00                        |
| Aditivo         | Polifuncional | 2,64                         |

Com base nas quantidades de materiais utilizados em cada amostra (Tabela 1), e dos valores apresentados na Tabela 2, foram calculados os custos de cada traço, que juntamente a um comparativo de economia e resistência estão representados na Tabela 3:

Numa primeira análise observa-se claramente uma redução de custo quando se utiliza materiais reciclados em substituição aos usinados.

**TABELA 3:** Comparativo de custos e resistência de cada traço e sua economia em relação à referência

| <b>Traço</b>           | <b>Custo (R\$)</b> | <b>Resistência (MPa)</b> | <b>Economia (%)</b> | <b>Varição da Resistência (%)</b> |
|------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1º Traço (Amostra 214) | 120,28             | 33,60                    | ----                | ----                              |
| 2º Traço (Amostra 215) | 105,69             | 30,45                    | 12                  | - 9,4                             |
| 3º Traço (Amostra 216) | 97,25              | 18,60                    | 19                  | - 44,6                            |

|                        |        |       |   |        |
|------------------------|--------|-------|---|--------|
| 4° Traço (Amostra 217) | 115,59 | 14,60 | 4 | - 56,5 |
| 5° Traço (Amostra 218) | 115,47 | 37,95 | 4 | 12,9   |

O uso do material reciclado como agregado na confecção de concreto tem um custo menor porque a coleta, separação e britagem do material bruto reciclado, como entulho e restos de materiais de obra, têm um custo inferior à extração e beneficiamento do material natural. Tem-se também que, em muitas vezes, os locais para extração são distantes sendo necessário o uso de maquinário especializado para extração da brita. Já o material reciclado chega à usina de reciclagem levado pelos próprios clientes, o qual tem uma taxa menor do que se transferido para aterros inertes.

Outro ponto importante é o maquinário necessário para reciclagem. Neste caso utilizam-se apenas britadores existentes na própria usina sendo, portanto, desnecessários os equipamentos para extração e transporte.

Analisando a terceira coluna da Tabela 3 (Economia em %), nota-se que a amostra 216, que é composta por materiais reciclados (brita 1, brita 0, areia e pedrisco) em substituição aos usinados, apresentou o melhor desempenho com 19% de economia em comparação ao traço de referência (amostra 214), que contém só materiais usinados. Em segundo lugar com 12% de economia está a amostra 215, cujo traço contém apenas brita 1 reciclada em substituição a usinada. Apenas esta substituição impacta a economia, pois o consumo de brita 1 é elevado e o custo da usinada é praticamente o dobro da reciclada. Em último lugar têm-se as amostras 217 (com areia média e pedriscos reciclados) e 218 (brita 0 reciclada), com economia de 4%.

No entanto, ao se considerar a característica de resistência de cada amostra, observa-se que a amostra 218, que a princípio é uma das menos econômicas, é a única que apresenta um ganho de resistência em comparação com a amostra 214 (traço de referência). As demais amostras, em relação à referência, apresentaram valores menores de FCK. Deste modo, a amostra 218 é a que apresentou melhor relação custo-benefício, apesar desta amostra apresentar uma economia de apenas 4%. Em segundo lugar a amostra 215, que apresenta uma economia significativa sem comprometer a resistência, ficando ainda acima de 25 MPa após 28 dias de cura.

Por fim, as amostras 216 e 217 apresentam os piores desempenhos e acabam sendo descartadas, pois não atingiram o valor mínimo de 25 Mpa, conforme Figura 2. Em particular a amostra 216, que era a mais promissora em termos econômicos.

#### 4. Conclusões

A reutilização de entulho de demolição na composição de traços de concreto mostra-se interessante e apresenta aspectos técnicos, econômicos e ambientais, permitindo modelar o tipo

de traço conforme a aplicação desejada. Os testes mostraram que a substituição de todos os materiais usinados por reciclados, apesar de diminuir o custo em 19%, resulta num produto final com FCK menor que 25 MPa não atendendo, portanto, as especificações. As melhores misturas que tiveram FCK acima de 25 MPa, foram as que utilizaram brita 1 ou 0 recicladas no lugar das usinadas. A opção for por um material com maior FCK, resulta na escolha do traço 218, apesar deste ter apresentado uma redução de custo de apenas 4%. Todavia, se a opção for pelo custo mais baixo, mantendo um FCK acima de 25 MPa, o traço 215 que teve 12% de economia será o indicado.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NM67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1996.

—. *NBR 5739. Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

—. *NBR 5738 Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, L.A.F. *Materiais de Construção I*, 5a edição, Editora Afiliada, Rio de Janeiro, 1994.

BODI, J. Experiência Brasileira com Entulho Reciclado na Pavimentação. In: *Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para a proteção ambiental*, 29., São Paulo, 1997. *Anais*. São Paulo: Núcleo de Desenvolvimento de Pesquisas POLI /UPE, 1997. p. 56-63.

CARNEIRO, A.; BURGOS, P.; ALBERTE, E.. *Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção*. *Anais*. Salvador: UFBA, 2001.

DEMARCHE, D. Gestão de Resíduos da Construção Civil e de Demolição: Contribuições para a Sustentabilidade Ambiental. In: *V Congresso nacional de excelencia em gestão*. *Anais*. Niterói/RJ, 2009. v.2, p.12, 13.

GONÇALVES, D. B. *A Gestão de Resíduos da Construção Civil no Município de Sorocaba-SP*. REEC - *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 2016.

GRUBBA, D. *Estudo do Comportamento Mecânico de um Agregado Reciclado de Concreto para Utilização na Construção Rodoviária*. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP, 2009.

LEITE, M. B. *Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição*. Porto Alegre, 2001. 270f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. *Reciclagem do Entulho de Construção Civil para Utilização como Agregado de Argamassas e Concretos*. São Paulo, 1997. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PINTO, T. P. P. *Utilização de Resíduos de Construção: Estudo do Uso em Argamassas*. São Paulo, 1986. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. Z.; CARDOSO, A. C. F. Gestão de Resíduos da Construção Civil e de Demolição: Contribuições para a Sustentabilidade Ambiental. In: V Congresso nacional de excelência em gestão. *Anais*. Niterói/RJ, 2004. 13.

ZORDAN, S. E. *A Utilização do Entulho como Agregado na Confecção do Concreto*. Campinas, 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.