

DOSAGEM DE MICROCONCRETOS ESTRUTURAIS LEVES COM AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – ESTUDO DE CASO

MACHADO JR, Eloy F.(1); AGNESINI, Marcos V. C.(2); BALLISTA, Luiz P.(3)

(1) Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Estruturas - EESC-USP
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, CEP 13560-250 - São Carlos, SP - FAX (016) 2739482

(2) Professor Doutor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo - EESC-USP
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, CEP 13560-250 - São Carlos, SP - FAX (016) 2739482

(3) Mestrando do Departamento de Engenharia de Estruturas – EESC-USP
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, CEP 13560-250 - São Carlos, SP - FAX (016) 2739482

RESUMO

A indústria da construção civil utiliza recursos naturais e dispõe, em grandes quantidades, os resíduos de construção e demolição em aterros, muitos deles ilegais. Tanto a intensa utilização de recursos naturais, quanto a deposição ilegal de resíduos de construção e demolição (C&D) são, reconhecidamente, atividades danosas ao meio-ambiente. No Brasil, a conscientização ambiental tem gerado políticas de redução do uso de recursos naturais, cada vez mais escassos, e incentivando a reciclagem dos resíduos de C&D. Colaborando com esta política, o Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP vem desenvolvendo pesquisas com concretos utilizando agregados reciclados de C&D, mostrando que a utilização do agregado graúdo reciclado com $D_{máx} = 9,5\text{mm}$, equivalente à brita 0, pode produzir microconcretos estruturais, mais leves que o convencional, com consumo de cimento em torno de 350kg/m^3 e com propriedades mecânicas equivalentes. O objetivo deste trabalho é mostrar a influência do agregado reciclado, nas propriedades do concreto fresco e endurecido e sua aplicação na dosagem experimental de microconcretos.

ABSTRACT

The industry of construction uses natural resources and disposes, in great amounts, the construction and demolition waste in landfills, many of them, illegal. Both, the intense use of natural resources, and the illegal deposition of construction and demolition waste (C&D) are, thankfully, harmful to the environment. In Brazil, the environmental understanding has been generating politics of reduction of the use of natural resources, more and more scarce, and motivating the recycling of C&D waste. Collaborating with them, the Department of Engineering of Structures of EESC-USP is developing researches on concrete technology using recycled aggregates of C&D, showing that the coarse aggregates with $D_{máx} = 9,5\text{mm}$, can produce structural concretes, lighter than conventional concretes, with a cement consumption around 350kg/m^3 and with equivalent mechanical properties. The objective of this work is to show the recycled aggregate's influence in the properties of the fresh and hardened concrete and your application in the experimental definition of concretes.

1. INTRODUÇÃO

Os concretos leves estruturais têm massa específica entre os limites de 1300kg/m³ e 1900kg/m³, com resistência mínima de 17MPa (NEVILLE, 1997). Já os concretos estruturais, de peso normal, têm massa específica variando entre 2300kg/m³ e 2500kg/m³. No intervalo entre 1900kg/m³ e 2300kg/m³, estão localizados os concretos estruturais com agregados reciclados de entulho de construção e demolição.

Os concretos com agregados graúdos reciclados de rejeitos de construção e demolição, popularmente conhecidos como "entulho de construção", vêm sendo estudados na Escola de Engenharia de São Carlos, mais precisamente no Laboratório de Engenharia de Estruturas, desde 1996. Os estudos utilizando agregados com dimensão máxima característica ($D_{máx}$) igual a 9,5mm e 19,5mm (brita 0 e brita 1), mostraram que se pode obter concretos com propriedades mecânicas semelhantes aos concretos normais, para um mesmo consumo e classe de resistência (MACHADO JR et al, 1998).

2. OBJETIVOS

O estudo dos microconcretos de agregados reciclados apresentado neste trabalho, tem como escopo principal, caracterizar as propriedades físicas e mecânicas de microconcretos produzidos com agregados graúdos reciclados ($D_{máx} = 9,5\text{mm}$) e sua aplicação na dosagem destes microconcretos. Os traços utilizados na pesquisa tinham consumo de cimento entre 320kg/m³ e 470kg/m³. Neste trabalho, foram analisadas as seguintes propriedades:

Concreto fresco: consistência, massa específica e consumo de cimento

Concreto endurecido: massa específica seca, resistência à compressão, resistência à compressão diametral, resistência à tração na flexão e módulo de deformação elástica.

3. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS EMPREGADOS

O cimento empregado foi o Portland composto (CPII-E-32). O agregado miúdo utilizado foi uma areia natural de origem quartzosa, proveniente do rio Mogi-Guaçu, obtida na região de São Carlos-SP. O agregado reciclado utilizado era proveniente da Estação de Reciclagem de Entulho de Ribeirão Preto-SP, processado sem peneiramento em bica corrida. O material graúdo utilizado ($D_{máx}=9,5\text{mm}$) era composto de pedaços de argamassa (58%), pedaços de concreto (12%), britas (16%) e pedaços de cerâmica porosa (12%). As características dos agregados, determinadas em conformidade com as Normas da ABNT, podem ser vistas na tabela 1.

4. DOSAGEM EXPERIMENTAL DOS MICROCONCRETOS

Os traços dos microconcretos foram determinados por metodologia experimental. As características adotadas para definição dos traços estão listadas a seguir:

- Índice de consistência: espalhamento (IC) igual a $(200 \pm 10)\text{mm}$.
- Teor de água: para todos os microconcretos, igual a 13,0%.
- Teor de argamassa seca: para todos os microconcretos, igual a 61,5%.

Neste trabalho foram estudadas três dosagens, sendo que cada traço dos microconcretos foi identificados pelas siglas R I, R II e R III. Os consumos efetivos de cimento (C) calculados para todos os microconcretos através da massa específica no estado fresco (γ_{cf}), determinada conforme a NBR-9833, e os respectivos traços são mostrados na tabela 2.

Tabela 1: Características Físicas dos Agregados Miúdos e Graúdos

Características Físicas		Areia Natural	Agregado Reciclado
Massa específica (kg/dm ³) NBR-9776 e NBR-9937		2,63	2,15
Massa unitária estado solto (kg/dm ³) NBR-7251		1,52	1,09
Massa unitária estado compactado (kg/dm ³) NBR-7810		-	1,21
Absorção (%) NBR-9937	Após 1 hora	-	-
	Após 24 horas	-	8,70
Substâncias nocivas NBR-7211		Isenta	-
Dimensão máxima característica (mm) NBR-7217		2,4	9,5
Módulo de finura NBR-7217		2,17	5,65

Tabela 2: Traços em Massa dos Microconcretos

Micro Concreto	Traço em Massa	Relação a/c (kg/kg)	IC (mm)	γ_{cf} (kg/m ³)	C (kg/m ³)
R I	1:1,60:1,63	0,55	190	2.217	464
R II	1:2,07:1,93	0,65	202	2.200	390
R III	1:2,55:2,22	0,78	202	2.150	328

5. PRODUÇÃO DOS MICROCONCRETOS

As misturas foram preparadas mecanicamente em betoneira basculante de eixo inclinado com capacidade para 350 litros. Os agregados utilizados estavam secos ao ar, e os componentes das misturas obedeceram a seguinte ordem de lançamento na betoneira: graúdo - parte da água - cimento - miúdo - resto da água.

Após a adição total da água, os componentes foram misturados durante 3 minutos, quando então, foram moldados sob as mesmas condições de temperatura e umidade relativa. Adotou-se o adensamento mecânico, com vibrador de agulha. Após 24 horas, os exemplares foram desmoldados e levados à câmara úmida até a data dos ensaios.

6. PROPRIEDADES ESTUDADAS

6.1. Programa dos Ensaios

Para determinação das propriedades dos microconcretos, foram moldados ao todo 63 exemplares, sendo 45 cilíndricos 100 x 200mm para ensaio de compressão axial e diametral e absorção por imersão, 9 cilíndricos 150 x 300mm para módulo de elasticidade e 9 prismáticos com 150 x 150 x 500mm para ensaio de tração na flexão.

6.2. Resultados Obtidos

6.2.1. Propriedades Mecânicas do Concreto Endurecido

As propriedades mecânicas dos concretos endurecidos foram determinadas conforme as normas correspondentes. Os resultados destas propriedades estão apresentados na tabela 3 e nos gráficos abaixo, em função da relação a/c e do consumo de cimento.

Tabela 3: Propriedades Mecânicas dos Microconcretos

Micro Concreto	a/c (kg/kg)	C (kg/m ³)	f_c (MPa)		f_{tD} (MPa)		f_{tF} (MPa)	E_0 (GPa)
			7 dias	28 dias	7 dias	28 dias		
R I	0,55	464	28,0	37,5	2,5	2,9	3,8	27,2
R II	0,65	390	21,5	30,9	1,9	2,6	3,4	25,8
R III	0,78	328	15,2	22,7	1,4	2,1	3,3	23,5

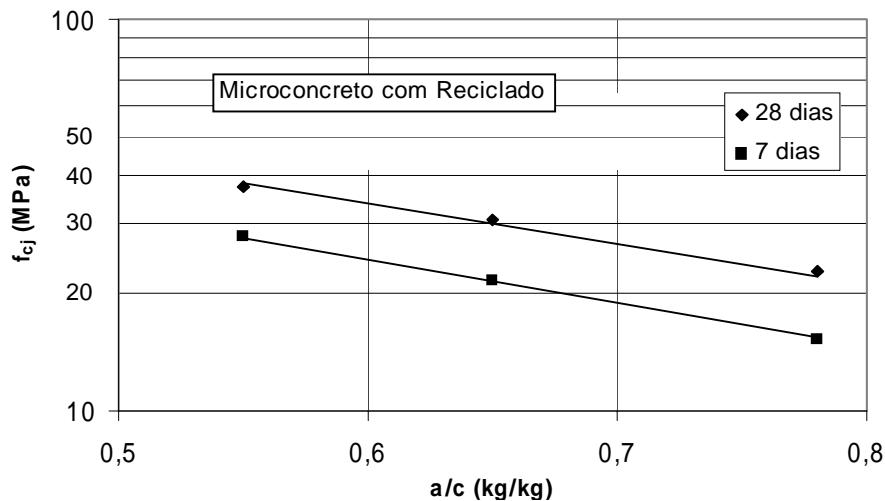


Figura 1: Resistência à Compressão Axial x Relação a/c

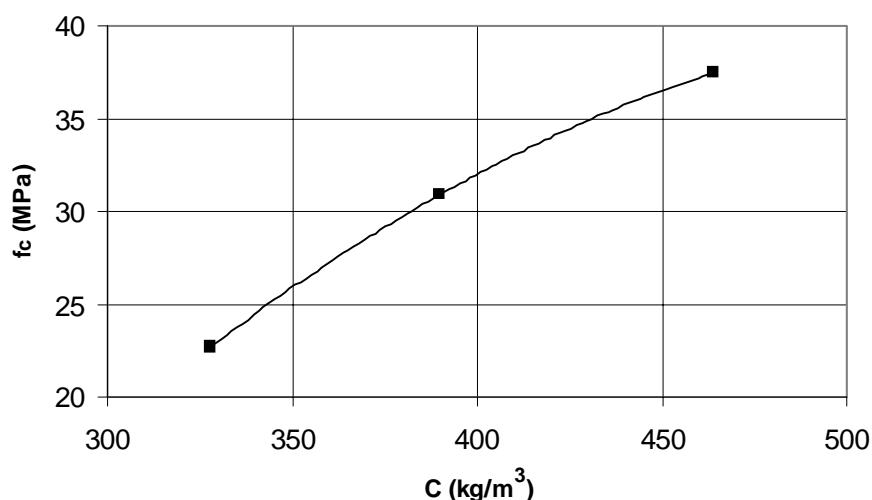


Figura 2: Resistência à Compressão aos 28 dias x Consumo de Cimento

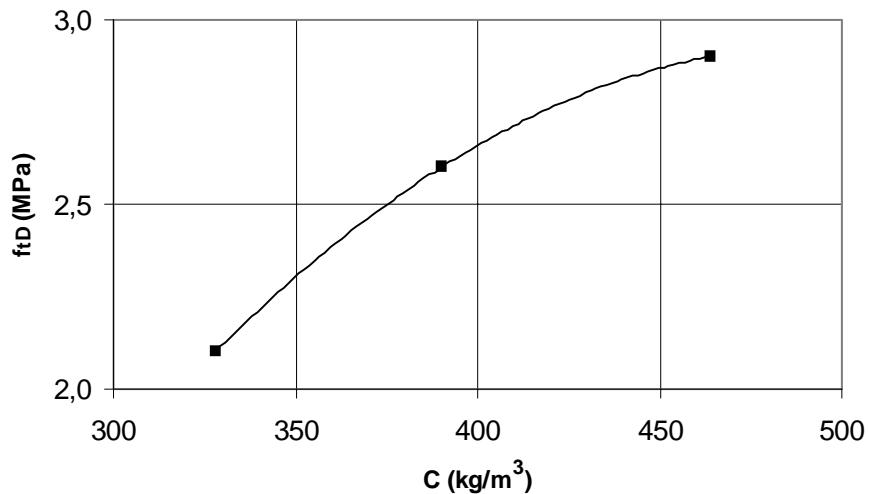


Figura 3: Resistência à Compressão Diametral aos 28 dias x Consumo de Cimento

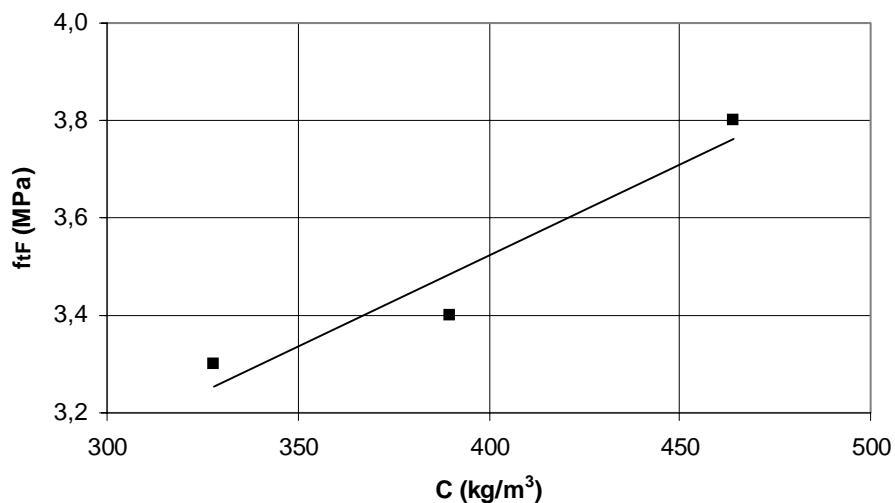


Figura 4: Resistência à Tração na Flexão aos 28 dias x Consumo de Cimento

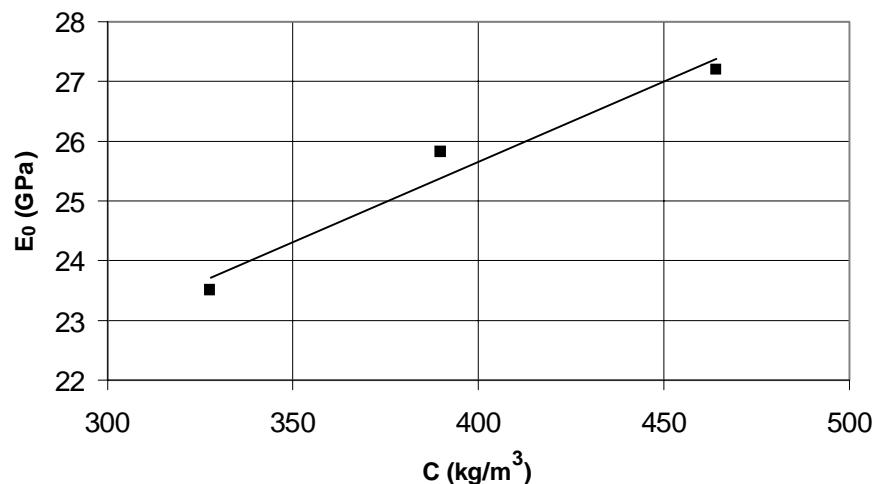


Figura 5: Módulo de Elasticidade aos 28 dias x Consumo de Cimento

6.3. Propriedades Físicas do Concreto Endurecido

A massa específica seca (γ_c) e a absorção por imersão (A) foram determinadas aos 28 dias para todos os microconcretos, obedecendo-se às prescrições da NBR-9778. Os resultados são mostrados na tabela 4.

Tabela 4: Propriedades Físicas dos Microconcretos aos 28 dias

Micro Concreto	C (kg/m ³)	γ_c (kg/m ³)	A (%)
R I	464	2.040	5,3
R II	390	2.020	6,1
R III	328	1.997	7,0

7. DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS E ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MICROCONCRETOS

7.1. Dosagem dos Microconcretos

Os traços em massa dos microconcretos podem ser rapidamente determinados, conhecendo-se o f_{ck} , o padrão de controle de qualidade do concreto (desvio-padrão – NBR 12655) e as condições específicas de exposição. Conhecendo-se a resistência de dosagem (f_{c28}), determina-se a relação a/c através da figura 1. Esta não deverá ser superior ao valor máximo especificado considerando-se a esbeltez da peça e o grau de agressividade (micro-clima) do meio-ambiente. Em função da relação a/c e do teor de água (A%), calcula-se a quantidade de agregado total (m). Finalmente, o traço em massa é determinado conhecendo-se o teor de argamassa seca experimentalmente encontrado quando da dosagem do concreto.

- Resistência:

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65.S_d, \text{ onde: } S_d = \begin{cases} 4,0 & (\text{usinado}) \\ 5,5 & (\text{misturado em obra}) \end{cases} \text{ e } f_{c28} = F(x) \rightarrow \text{função de } x_R$$

- Durabilidade:

Situação 1: peças protegidas e sem risco de condensação de umidade $\rightarrow a/c \leq 0,65$

Situação 2: peças expostas à intempéries em atmosfera urbana ou rural $\rightarrow a/c \leq 0,55$

Situação 3: peças expostas à intempéries em atmosfera industrial/marinha $\rightarrow a/c \leq 0,48$

Obs: Devido ao grande índice de absorção observado nos microconcretos estudados, não é recomendada sua utilização em ambientes como os apresentados na Situação 3.

7.2. Exemplo 1

$f_{ck} = 15 \text{ MPa}$, Teor de Água (A) = 13%, e Teor de Argamassa Seca (α) = 61,5%

$S_d = 4,0$ (concreto usinado)

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65.S_d = 15 + 1,65 \cdot 4,0 \approx 22 \text{ MPa}$$

Da Figura 1, para um $f_{ck28} = 22$ MPa, obtém-se um fator a/c = 0,78.

Segundo o critério de durabilidade apresentado, tem-se:

Situação 1: fator a/c = 0,65

$$m = \frac{100 \cdot 0,65}{13} - 1 = 4,00$$

$$\alpha = 61,5\%$$

$$a = 0,615(1 + 4,00) - 1 = 2,08$$

$$p = 4,00 - 2,08 = 1,92$$

Traço:

$$1 : 2,08 : 1,92 : x = 0,65$$

Com:

$$m = \frac{100 \cdot x}{A} - 1$$

$$a = \alpha(1 + m) - 1$$

$$p = m - a$$

$$A = 13\%$$

$$\alpha = 61,5\%$$

$$\text{Traço: } 1 : a : p : x$$

7.3. Exemplo 2

$f_{ck} = 25$ MPa, Teor de Água (A) = 13%, e Teor de Argamassa Seca (α) = 61,5%

$S_d = 5,5$ (concreto misturado em obra)

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d = 25 + 1,65 \cdot 5,5 \approx 34 \text{ MPa}$$

Da Figura 1, para um $f_{ck28} = 34$ MPa, obtém-se um fator a/c = 0,60.

Segundo o critério de durabilidade apresentado, tem-se:

Situação 1: fator a/c = 0,60

$$m = \frac{100 \cdot 0,60}{13} - 1 = 3,62$$

$$\alpha = 61,5\%$$

$$a = 0,615(1 + 3,62) - 1 = 1,84$$

$$p = 3,62 - 1,84 = 1,78$$

Traço:

$$1 : 1,84 : 1,78 : x = 0,60$$

Situação 2: fator a/c = 0,55

$$m = \frac{100 \cdot 0,55}{13} - 1 = 3,23$$

$$\alpha = 61,5\%$$

$$a = 0,615(1 + 3,23) - 1 = 1,60$$

$$p = 3,23 - 1,60 = 1,63$$

Traço:

$$1 : 1,60 : 1,63 : x = 0,55$$

7.4. Estimativas das Propriedades Mecânicas dos Microconcretos

As propriedades dos microconcretos dosados (exemplos 1 e 2) podem ser estimadas através das figuras 2, 3, 4 e 5.

Com a relação a/c, determina-se a resistência à compressão aos 28 dias (figura 1). Com a resistência à compressão aos 28 dias, determina-se através da figura 2, o consumo de cimento. Tendo-se o consumo de cimento, estimam-se a resistência à tração por compressão diametral (figura 3), a resistência à tração na flexão (figura 4) e o módulo de elasticidade (figura 5).

Considerando-se a situação 2 apresentada no exemplo 2, tem-se:

$$a/c=0,55 \rightarrow f_{c28}=38 \text{ MPa} \rightarrow C=464 \text{ kg/m}^3 \rightarrow f_{tD}=2,9 \text{ MPa} \rightarrow f_{tF}=3,7 \text{ MPa} \rightarrow E_0=27 \text{ Gpa}$$

8. CONCLUSÃO

As propriedades físicas e mecânicas dos microconcretos estudados são semelhantes as dos microconcretos com agregados naturais. A massa específica seca do concreto endurecido situa-se entre os limites 1900kg/m³ e 2100kg/m³.

Pode-se concluir que os microconcretos com agregados graúdos reciclados podem ser dosados segundo os critérios utilizados para os concretos normais, e a partir da dosagem, pode-se estimar suas propriedades mecânicas.

Dado o elevado índice de absorção apresentado pelos concretos com reciclados graúdos de construção e demolição, a utilização da situação 3 (relação a/c = 0,48) do critério de durabilidade, não é recomendada.

A continuidade das pesquisas tem sido direcionada no sentido de combater as deficiências deste tipo de concreto, através da modificação com látex Estireno-Butadieno.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LATTERZA, L.M. (1998). **Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição. Um novo material para fabricação de painéis leves de vedação.** São Carlos. 116p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MACHADO JR, E.F.; AGNESINI, M.V.C. (1999). **Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de microconcretos leves produzidos com argila expandida e com agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição [CD-ROM].** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 41. Salvador, ago. 1999. Salvador - BA, IBRACON, 1999. 14p.
- MACHADO JR, E.F.; LATTERZA, L.M.; MENDES, C.L. (1998). **Influência do agregado graúdo, proveniente da reciclagem de rejeitos de construção e demolição (entulho), na perda do abatimento do concreto fresco e nas propriedades mecânicas do concreto endurecido [CD-ROM].** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 40. Rio de Janeiro, ago. 1998. O estado da arte do concreto: tecnologia e qualidade na construção civil. São Paulo, IBRACON, 1998. 14p.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. (1994). **Concreto: estruturas, propriedades e materiais.** São Paulo, PINI.
- NEVILLE, A.M. (1997). **Propriedades do concreto.** 2. ed. São Paulo, Pini.