



## Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto

**Márcia I. B. Souza<sup>1</sup>, Antonio A. S. Segantini<sup>1</sup> & Joelma A. Pereira<sup>1</sup>**

### RESUMO

Neste trabalho são apresentados resultados de ensaios de laboratório, através dos quais se objetivou avaliar a possibilidade de aproveitamento dos resíduos de concreto na confecção de tijolos prensados de solo-cimento. Foram realizados ensaios de caracterização do solo utilizado, das composições desse solo com resíduos de concreto e das misturas de solo-cimento produzidas com essas composições. Conforme os resultados de ensaios realizados em corpos-de-prova cilíndricos e em tijolos de solo-cimento, verificou-se que a adição dos resíduos proporcionou melhoria nas propriedades mecânicas do solo-cimento, favorecendo a redução do consumo de cimento e a obtenção de tijolos de melhor qualidade.

**Palavras-chave:** reciclagem, resíduos de construção, meio-ambiente

## Soil-cement pressed bricks made with concrete wastes

### ABSTRACT

In this work results are presented of laboratory tests aiming to evaluate the possibility of using concrete wastes in manufactured soil-cement pressed bricks. Tests of characterization of used soil of the composite of this soil with concrete wastes and of the mixtures of soil cement made with this composite were evaluated. According to results of tests carried out with cylindrical specimens and with soil cement pressed bricks, it was verified that the addition of the concrete wastes improved soil cement mechanical properties, favoring the a reduction of the cement consumption, obtaining pressed bricks with a better quality.

**Key words:** recycling, construction waste, environment

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia/UNESP, Alameda Bahia 550, CEP 15385-000, Ilha Solteira, SP. Fones: (18) 3743-1137, (18) 3743-1115, Fax: (18) 3743-1160.  
E-mail: [marcia\\_ikarugi@hotmail.com](mailto:marcia_ikarugi@hotmail.com); [anderson@dec.feis.unesp.br](mailto:anderson@dec.feis.unesp.br); [jo\\_unesp@hotmail.com](mailto:jo_unesp@hotmail.com)

## INTRODUÇÃO

A necessidade de preservação ambiental e a tendência de escassez dos recursos naturais fazem com que a construção civil adquira novos conceitos e soluções técnicas visando à sustentabilidade de suas atividades. Nesse contexto, a reciclagem e o aproveitamento dos resíduos de construção e demolição se destacam como alternativas alinhadas a esses novos conceitos, buscando valorizar os materiais descartados nas obras de engenharia, atribuindo-lhes a condição de material nobre, ao invés de simplesmente lançá-los na natureza.

A reciclagem na construção civil pode gerar muitos benefícios, como: redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (John, 2000); redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos, de vez que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (Pinto, 1999); diminuição da poluição gerada pelo entulho e de suas conseqüências negativas, como enchentes e assoreamento de rios e córregos além de preservação das reservas naturais de matéria-prima.

Os resíduos de construção e demolição são constituídos de restos de argamassa e concreto, materiais cerâmicos, metais, plásticos, madeiras, papéis e vidros. Os restos dos três primeiros, que normalmente são encontrados em maior volume, podem ser transformados em agregados para uso, por exemplo, em matrizes de solo-cimento, e a grande maioria dos outros resíduos pode ser reciclada.

Na composição do solo-cimento, o solo é o material que entra em maior proporção, devendo ser selecionado de modo que permita o menor consumo possível de cimento. Segundo Pinto (1980) o solo ideal deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho, sendo que os solos arenosos bem graduados e com razoável quantidade de silte mais argila, são os mais indicados, de vez que exigem baixo consumo de cimento; já a Portland Cement Association (PCA, 1969) considera excelentes os solos arenosos e pedregulhosos, contendo de 65 a 90% de areia e quantidade de silte mais argila variando de 10 a 35%. Segundo a ABCP (1986), em geral para fins de pavimentação podem ser empregados solos com as seguintes características: grãos com diâmetro máximo de 75 mm; 50% dos grãos passando na peneira n. 4 (4,8 mm); de 15 a 100% dos grãos passando na peneira n. 40 (0,42 mm); menos de 50% dos grãos passando na peneira n. 200 (0,075 mm); limite de liquidez –  $LL \leq 40\%$ ; e índice de plasticidade –  $IP \leq 18\%$ .

Quando o solo não possui essas características, muitos autores consideram a possibilidade de se efetuarem correções na sua granulometria, através da composição com solos mais arenosos ou mesmo a adição de areia grossa, de modo que o resultado seja favorável, técnica e economicamente (Ferraz, 2004).

Os resíduos de concreto, quando triturados, possuem características físicas semelhantes às de uma areia grossa, podendo ser adicionados aos solos finos visando corrigir a sua composição granulométrica, de forma a torná-los viáveis para a confecção do solo-cimento.

De acordo com Grande (2003), os tijolos de solo-cimento representam uma alternativa em plena sintonia com as diretrizes do desenvolvimento sustentável, pois requerem baixo consumo de energia na extração da matéria-prima, dispensam o processo de queima e reduzem a necessidade de transporte, uma vez que os tijolos podem ser produzidos com solo do próprio local da obra; outro aspecto é a possibilidade de racionalização do processo construtivo, por meio do uso de tijolos modulares, que possibilitam o uso das técnicas empregadas na alvenaria estrutural, proporcionando redução de desperdícios e diminuição no volume de entulho gerado; deste modo, propiciam maior rapidez no processo construtivo; economia de materiais e de mão-de-obra; eliminam os rasgos nas paredes para a passagem de tubulações, visto que os tijolos possuem furos que ficam sobrepostos no assentamento e formam dutos por onde são passados os fios e as tubulações hidráulicas; reduzem o consumo de argamassas de assentamento e de regularização (Souza, 2006).

Objetivou-se, neste trabalho, estudar o aproveitamento dos resíduos de concreto na confecção de tijolos prensados de solo-cimento. Pretendeu-se, com isso, avaliar a possibilidade técnica dessa aplicação e sua influência na qualidade dos tijolos e no consumo de cimento, bem como contribuir no sentido de proporcionar uma alternativa apropriada para a destinação dos resíduos de construção e demolição.

## MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia de trabalho consistiu na caracterização dos materiais em estudo e determinação dos parâmetros de resistência e absorção dos produtos resultantes. Foram realizados ensaios de laboratório para a caracterização do solo, dos resíduos de concreto, das composições solo-resíduo, dos traços de solo-cimento e dos tijolos produzidos.

### Solo

O solo utilizado na composição do solo-cimento foi coletado em Ilha Solteira, SP; trata-se de um solo A<sub>4</sub> (HRB, 1945), cujas características geotécnicas são representativas das dos solos existentes em mais de 50% da área do Estado de São Paulo. Solos com características semelhantes também são encontrados em extensas áreas no Centro Sul do Brasil.

### Cimento

Com relação ao cimento, usou-se o CP II Z-32, pois possui propriedades satisfatórias para confecção do solo-cimento; além disso, os cimentos Portland compostos (CP II) são os mais utilizados, sendo facilmente encontrados no mercado, respondendo por aproximadamente 75% da produção industrial brasileira.

### Resíduo de concreto

Obteve-se o resíduo de concreto através de uma empresa coletora de entulhos, constituindo-se basicamente de material resultante da demolição de paredes de blocos de concreto. Especificamente, a escolha desse tipo de resíduo foi motivada pelo fato de ser o mais encontrado nos entulhos de

obras de reforma e demolição em Ilha Solteira, SP; isso acontece porque todas as edificações comerciais, residenciais e industriais, erguidas no período da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP, há mais de 30 anos, foram executadas em alvenaria de blocos de concreto, estimulando, assim, o interesse por pesquisas que visem ao seu aproveitamento. Após a coleta os resíduos de concreto foram processados em um triturador de mandíbulas e peneirados na malha 4,8 mm visando, deste modo, à obtenção de um material granular, similar a uma areia grossa de construção.

### Traços estudados

Na composição do solo-cimento, além do estudo com o solo natural, foram estudadas mais três composições: solo mais 20% de resíduos de concreto; solo mais 40% de resíduos de concreto; e solo mais 60% de resíduos de concreto (em relação à massa do solo). Para cada uma dessas composições se utilizaram três teores de cimento (6, 8 e 10%) em relação à massa da composição solo-resíduo. Apresenta-se, na Tabela 1, a descrição dos traços estudados.

### Análise granulométrica

A granulometria de um solo tem influência direta na qualidade e no custo do solo-cimento, sendo mais indicados na sua confecção os solos com características arenosas. Segantini (2000) considera importante a presença de areia grossa e até de pedregulhos na composição do solo, pois sendo materiais inertes, com função apenas de enchimento, haverá liberação de maiores quantidades de cimento para aglomerar os grãos menores. Os ensaios para a determinação da composição granulométrica do solo e das composições solo-resíduo em estudo, foram realizados segundo as prescrições da NBR 7181 (ABNT, 1984c).

### Compactação

Os ensaios de compactação visam à obtenção dos valores de umidade ótima e de massa específica aparente seca máxima. A umidade ótima é um parâmetro muito importante nos trabalhos realizados com solos, pois propicia melhores condições de trabalhabilidade e máxima compactação do material,

proporcionando maiores valores de densidade, resistência e, certamente, maior durabilidade. Grande (2003) diz que o teor de umidade é tão significativo quanto a porcentagem de cimento, pois exerce forte influência nas características de resistência e de absorção de água. Os ensaios de compactação foram realizados em conformidade com as normas NBR 7182 (ABNT, 1986) e NBR 12023 (ABNT, 1992a).

### Limites de consistência

Os limites de consistência são as variáveis que melhor expressam as condições de trabalhabilidade dos solos. Valores elevados podem conduzir a maiores dificuldades na secagem e no destorroamento e também no processo de mistura dos componentes. A ABCP (1985) recomenda que o limite de liquidez seja inferior a 45% e que o índice de plasticidade seja inferior a 18%. Na determinação dos limites de consistência foram utilizadas as normas NBR 6459 (ABNT, 1984a) e NBR 7180 (ABNT, 1984b).

### Retração

O ensaio de retração sugerido pelo CEPED (1984) visa detectar, na composição dos solos, a presença de argilas expansivas que tendem a comprometer o desempenho do material em razão da retração na secagem. As argilas expansivas podem absorver grande quantidade de água e depois ocasionar, na secagem, o surgimento de fissuras e até trincas. Os ensaios de retração foram executados de acordo com as recomendações do CEPED (1984). Neste ensaio, a amostra de solo é umedecida até que se obtenha um material de consistência plástica, similar a uma argamassa de emboço, sendo então colocada dentro de uma caixa com 60,0 cm de comprimento, 8,5 cm de largura e 3,5 cm de espessura. Após a realização do adensamento manual o material fica em repouso à sombra durante sete dias; após este período faz-se a medida da retração no sentido do comprimento da caixa, sendo que a soma das leituras deve ser inferior a 20 mm e a amostra não deve, após os sete dias, apresentar nenhuma fenda transversal na parte central da amostra.

A Figura 1 mostra duas amostras de solo no momento da leitura das retrações. Na parte superior da figura tem-se uma

Tabela 1. Descrição dos traços de solo-cimento em estudo

Traço SC (R, C) <sup>(1)</sup>	Composição da Mistura				Equivalente em Massa			
	Solo	Resíduo	Cimento	Soma	Solo	Resíduo	Cimento	Soma
	(kg)				(%)			
SC (0, 6)	100	0	6,0	106,0	94,3	0,0	5,7	100,0
SC (0, 8)	100	0	8,0	108,0	92,6	0,0	7,4	100,0
SC (0, 10)	100	0	10,0	110,0	90,9	0,0	9,1	100,0
SC (20, 6)	100	20	7,2	127,2	78,6	15,7	5,7	100,0
SC (20, 8)	100	20	9,6	129,6	77,2	15,4	7,4	100,0
SC (20, 10)	100	20	12,0	132,0	75,8	15,2	9,1	100,0
SC (40, 6)	100	40	8,4	148,4	67,4	27,0	5,7	100,0
SC (40, 8)	100	40	11,2	151,2	66,1	26,5	7,4	100,0
SC (40, 10)	100	40	14,0	154,0	64,9	26,0	9,1	100,0
SC (60, 6)	100	60	9,6	169,6	59,0	35,4	5,7	100,0
SC (60, 8)	100	60	12,8	172,8	57,9	34,7	7,4	100,0
SC (60, 10)	100	60	16,0	176,0	56,8	34,1	9,1	100,0

<sup>(1)</sup> SC (R, C) – Denominação dos traços de solo-cimento; R – Resíduo; C – Cimento

amostra de solo com 20% de resíduo de concreto e, na parte inferior, uma do solo natural, ou seja, sem adição de resíduo. Observa-se que a amostra com resíduos não apresentou nenhuma fenda transversal na parte central da caixa, enquanto na de solo natural ocorreu o surgimento de uma fenda, indicando que o solo não é apropriado para a confecção do solo-cimento; neste caso se recomenda a adição de areia grossa até que se obtenha um solo com as características desejadas (ABCP, 1986b).



Figura 1. Retração linear do solo

### Confecção dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova cilíndricos foram confeccionados no cilindro de Próctor (diâmetro = 9,6 cm; altura = 12,7 cm), sendo a compactação efetuada em três camadas aplicando-se, em cada camada, 25 golpes de um soquete de 5,0 kg, em queda livre de 45 cm; já os tijolos foram confeccionados em uma prensa manual, da marca Sahara, obtendo-se tijolos maciços com espessura de 5,0 cm, largura de 11,0 cm e comprimento de 23,0 cm. Os corpos-de-prova foram moldados com o material na umidade ótima, previamente determinada para cada composição por meio do ensaio de compactação. Após a confecção, os corpos-de-prova foram transferidos para a câmara úmida, onde permaneceram em cura até a data da realização dos ensaios de compressão simples e absorção, os quais foram realizados aos 7, 28, 56, 120 e 240 dias. Foram confeccionados treze tijolos e seis corpos-de-prova cilíndricos para cada ensaio; dos treze tijolos, três foram utilizados nos ensaios de absorção e dez nos de compressão simples. Dos corpos-de-prova cilíndricos, três foram utilizados nos ensaios de absorção e outros três nos de compressão simples; enfim, os corpos-de-prova foram confeccionados em conformidade com as normas NBR 8492 (ABNT, 1984d) e NBR 12024 (ABNT, 1992b).

### Resistência a compressão

A resistência a compressão simples é um dos parâmetros mais importantes do solo-cimento. A NBR 8491 (ABNT, 1984d) determina que a resistência média dos tijolos de solo-cimento deve ser igual ou superior a 2,0 MPa aos sete dias,

mas que os valores individuais não podem ser inferiores a 1,7 MPa. Em experiências anteriores, Segantini (2000) e Ferraz (2004) notaram que a resistência do solo-cimento, confeccionado com o solo em estudo, aumentava de forma considerável ao longo do tempo, razão pela qual neste trabalho, além dos sete dias, foram também realizados ensaios aos 28, 56, 120 e 240 dias. Os ensaios foram realizados em conformidade com as normas NBR 8492 (ABNT, 1984e) e NBR 12025 (ABNT, 1990). A Figura 2 mostra o instante da ruptura de dois corpos-de-prova, sendo um de tijolos e o outro, cilíndrico.

A.



B.



Figura 2. Ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos (A) e em tijolos (B)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Análise granulométrica

Realizaram-se ensaios de análise granulométrica do solo, do resíduo de concreto e das composições solo-resíduo em estudo. Os resultados são mostrados na Figura 3.



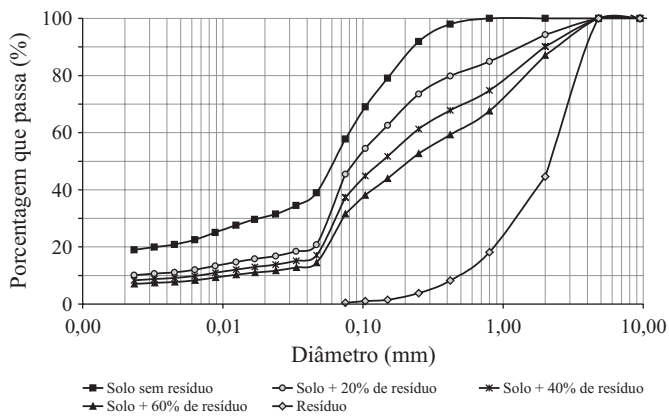


Figura 3. Curvas de distribuição granulométrica

Obtiveram-se, na análise granulométrica efetuada para o resíduo de concreto, a seguinte composição: 55,4% de areia grossa; 36,4% de areia média; e apenas 8,2% de areia fina; trata-se, portanto, de excelente material para ser utilizado na correção da granulometria dos solos, tornando-os mais arenosos, sobretudo o solo em estudo, pois se trata de um solo arenoso fino, mas os solos devem ter um mínimo da fração fina. O CEPED (1984) sugere que o teor de silte mais argila esteja entre 10 e 55% e que o de argila seja inferior a 20%. A mistura contendo 40% de resíduos de concreto, por exemplo, apresentou 20% de silte mais argila e 80% de areia constituindo-se, portanto, em excelente composição para a confecção do solo-cimento; desta forma, a adição dos 40% de resíduo de concreto propiciou a constituição de um novo material, com características granulométricas apropriadas para a confecção do solo-cimento.

#### Limites de consistência e retração

Na Figura 4 são mostradas as curvas dos limites de consistência e a do índice de plasticidade, que foi obtida pela diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade. Mostra-se, também, no eixo secundário, a curva obtida no ensaio de retração.

Nota-se que a adição dos resíduos promoveu redução nos limites de consistência. O LL, que para o solo natural é de 27,1%, com a adição de 60% de resíduo passou a ser de 21,4%; já o LP, que para o solo natural é de 18%, com a

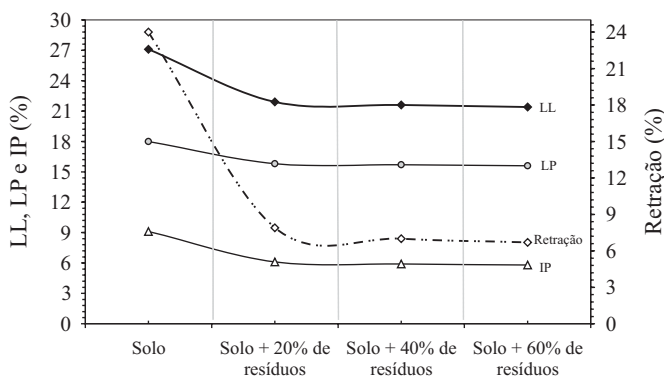


Figura 4. Limites de consistência e retração

adição de 60% de resíduos passou a ser de 15,6%; assim, o IP teve redução de 9,1 para 5,8%; esta redução confere nos limites de consistência, melhores condições de trabalhabilidade ao solo-cimento.

Com relação à retração e segundo as recomendações do CEPED (1984), para ser viável na confecção do solo-cimento, a soma das leituras de retração linear nas extremidades da amostra deve ser inferior a 20 mm e não pode haver ocorrência de fendas na parte central da amostra. O ensaio realizado com o solo natural apresentou retração de 24 mm, acima, portanto, do limite recomendado pelo CEPED (1984); além disso, houve ocorrência de uma fenda na parte central da amostra; assim, o solo natural em estudo não é apropriado para a confecção do solo-cimento; já as amostras com adição de resíduo não apresentaram fendas nem fissuras e a retração foi bastante inferior à do solo natural. Para o solo com apenas 20% de resíduo, a retração foi de apenas 7,9 mm; este aspecto é bastante significativo, de vez que a retração linear está diretamente relacionada com a retração por secagem e tem forte influência na qualidade das alvenarias de modo que, com relação a este aspecto, os resultados obtidos foram bastante favoráveis.

#### Compactação

Mostra-se, na Figura 5, as curvas de umidade ótima em função da massa específica aparente seca máxima, obtidas nos ensaios de compactação.

Observa-se, em todas as composições analisadas, uma pequena redução dos valores de umidade ótima em função da adição dos resíduos. O solo-cimento com 6% de cimento, sem adição de resíduo, por exemplo, apresentou umidade ótima de 13%. Com 60% de resíduo, a umidade ótima foi de 11,2%; ou seja, houve redução de 13,8% na umidade ótima. A tendência observada na Figura 5 foi de redução da umidade ótima e aumento da massa específica, indicando que a adição dos resíduos promoveu uma acomodação melhor das partículas na compactação; a tendência é, portanto, a obtenção de materiais mais compactos, mais resistentes, com menor absorção de água e, certamente, mais duráveis.

A adição de cimento ao solo, pela maior quantidade de finos, normalmente tende a aumentar o valor da umidade ótima, o que de fato aconteceu para o solo utilizado neste trabalho. Para o solo natural, por exemplo, se obteve umidade ótima de 12,7%, enquanto para o solo-cimento sem resíduo, foram obtidos 13%. Considerando-se que a adição dos resíduos tende a diminuir a umidade ótima, este aspecto pode ser de grande valia no caso de haver necessidade de maiores quantidades de cimento; assim, a adição dos resíduos poderá compensar os possíveis aumentos na umidade ótima, causados pelo cimento, contribuindo positivamente para as outras propriedades, como os limites de consistência, que estão diretamente relacionados com a trabalhabilidade e influem na qualidade do solo-cimento.

Trabalhando com esse mesmo solo, porém com resíduo de argamassa de cimento, Ferraz (2004) obteve, nos ensaios de compactação, valores muito próximos aos encontrados neste trabalho.

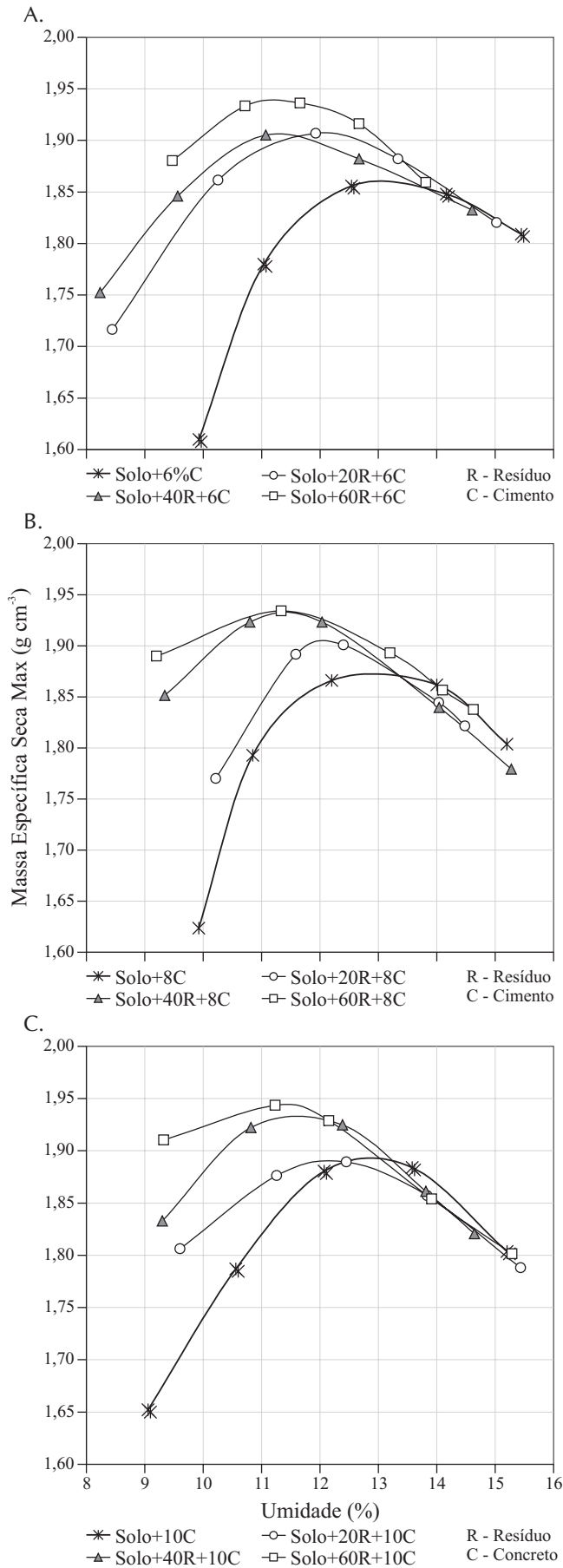


Figura 5. Curvas do ensaio de compactação

**Resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos**

A resistência à compressão do solo-cimento é uma propriedade das mais importantes, pois está diretamente relacionada com o desempenho das paredes de uma edificação. Os ensaios de resistência a compressão foram realizados segundo as normas NBR 12024 (ABNT, 1992b) e NBR 12025 (ABNT, 1990). Na Figura 6 se acham os gráficos de resistência média dos corpos-de-prova cilíndricos, em função do tempo de cura e da quantidade de resíduos adicionada.

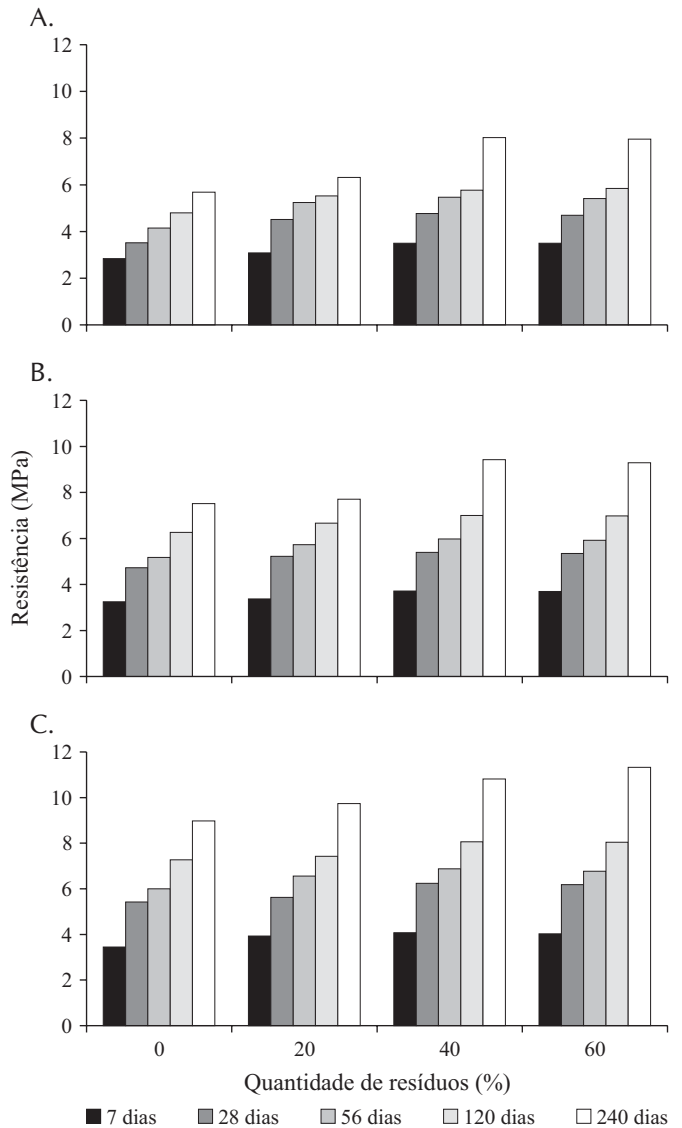


Figura 6. Resistência dos corpos-de-prova cilíndricos com 6 (A), 8 (B) e 10% (C) de cimento

**Resistência à compressão dos tijolos**

Na Figura 7 estão os gráficos de resistência média à compressão dos tijolos, em função do acréscimo na quantidade de resíduos e do tempo de cura.

De modo geral e conforme indicado nas Figuras 6 e 7, observa-se que a adição dos resíduos de concreto promoveu elevação nos valores de resistência a compressão simples do material, tanto nos corpos-de-prova cilíndricos como nos tijolos; contudo, os valores obtidos para os materiais

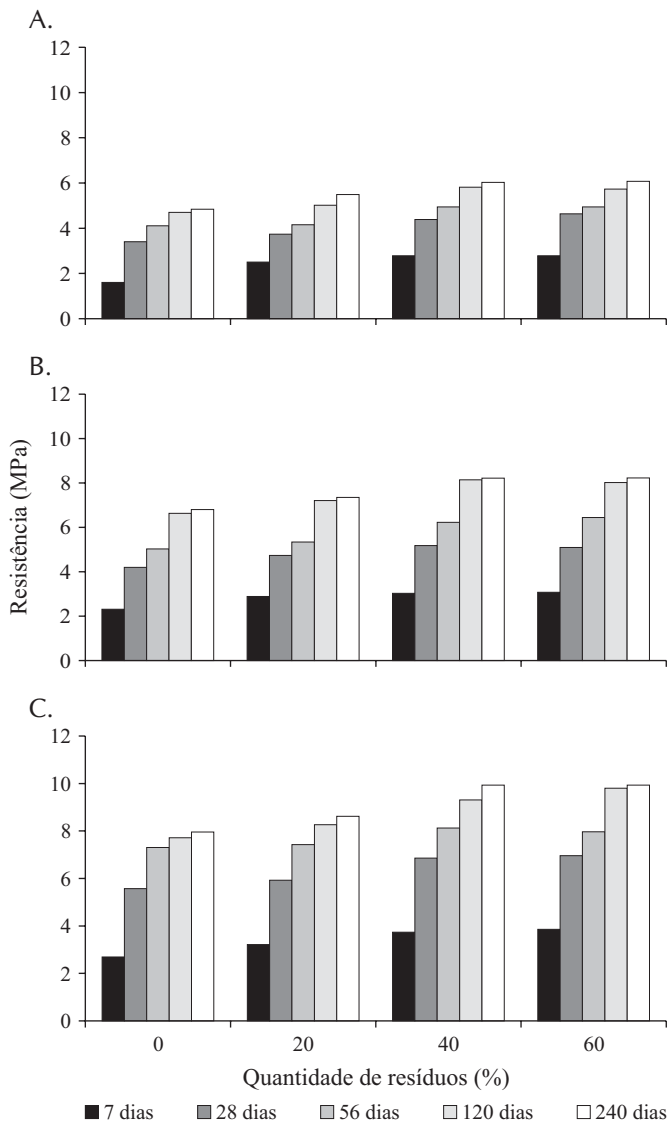


Figura 7. Resistência dos tijolos de solo-cimento com 6 (A), 8 (B) e 10% (C) de cimento

confeccionados com 60% de resíduo ficaram muito próximos dos obtidos com 40%. Parece existir um valor ótimo de adição entre 40 e 60%, a partir do qual ocorre tendência de redução nos valores de resistência. A confirmação desse fato, no entanto, requer a realização de ensaios com adição de resíduos superiores aos 60% pesquisados neste trabalho.

Rolim et al. (1999) obtiveram, em corpos-de-prova cilíndricos, aos sete dias, resistência de 3,2 MPa para o solo-cimento confeccionado com um solo A<sub>2,4</sub>, com 8% de cimento. No presente trabalho, utilizando-se um solo A<sub>4</sub> (inferior ao A<sub>2,4</sub>) com 60% de resíduos de concreto e 6% de cimento, obteve-se resistência de 3,5 MPa, ou seja, um valor de resistência superior com menor consumo de cimento, cujo resultado evidencia a possibilidade de uso de menores quantidades de cimento nas composições com resíduos de concreto.

No que diz respeito ao comportamento do material ao longo do tempo, os gráficos apresentados na Figura 6 apontam aumentos consideráveis de resistência nos corpos-de-prova

cilíndricos, inclusive após a idade de 120 dias; já nos tijolos, Figura 7, observa-se, em alguns casos, a ocorrência de estabilização do aumento da resistência após a idade de 120 dias; esta diferença de comportamento pode estar associada às características dos corpos-de-prova ensaiados. Os corpos-de-prova cilíndricos preservam mais as características originais do material, pois na sua confecção são empregados procedimentos que resultam em número menor de variáveis, enquanto na confecção dos corpos-de-prova feitos a partir dos tijolos, ocorre influência de muitas variáveis, como: corte dos tijolos ao meio; manipulação no assentamento das metades do tijolo; tipo, espessura e resistência da argamassa de assentamento; aderência entre o tijolo e a argamassa de assentamento e também o capeamento feito com gesso, isto é, são muitas variáveis influenciando no resultado do ensaio enquanto nos corpos-de-prova cilíndricos isto não acontece; então, do ponto de vista da análise do comportamento do material, os corpos-de-prova cilíndricos se mostraram mais apropriados para esta finalidade mas, do ponto de vista da análise dos tijolos e tendo em vista a sua aplicação em paredes, os corpos-de-prova padronizados pela NBR-8492 (ABNT, 1984e), confeccionados a partir do assentamento de duas metades de tijolo, são os mais indicados. Utilizando um solo A<sub>2,4</sub>, melhor indicado para a confecção do solo-cimento compactado, Rolim et al. (1999) ensaiaram tijolos e corpos-de-prova cilíndricos, encontrando também maiores valores de resistência para os corpos-de-prova cilíndricos.

Em vista dos resultados obtidos para os corpos-de-prova cilíndricos, Figura 6, é provável que a resistência do solo-cimento continue aumentando após a idade de 240 dias indicando, para trabalhos futuros, a necessidade de se avaliar o comportamento do material com idades de cura superiores. Comportamento semelhante foi observado por Segantini (2000) no caso do solo-cimento plástico, sem adição de resíduos; assim, esta característica de aumento da resistência ao longo do tempo parece estar associada às características do solo utilizado e não de uma possível reatividade do resíduo, como se poderia pensar. Ressalta-se que o resíduo em estudo é oriundo da demolição de paredes de blocos de concreto construídas há mais de trinta anos.

No ensaio de resistência a compressão simples dos tijolos, conforme se mostra na Figura 7 (A), o traço sem adição de resíduo e 6% de cimento não atendeu às prescrições da NBR 8491 (ABNT, 1984d); esta norma prescreve um valor médio de no mínimo 2,0 MPa aos sete dias. Nota-se, na Figura 7, que todos os tijolos com resíduos de concreto atenderam aos requisitos mínimos das normas brasileiras, implicando em que, para os materiais em estudo, podem ser utilizados até 60% de resíduos, sem prejuízo para o solo-cimento, ou seja, o solo-cimento é uma excelente matriz para o aproveitamento desses resíduos. Porém, uma avaliação da influência do custo do resíduo na composição do material deve ser realizada.

Os valores de resistência obtidos por Ferraz (2004) em corpos-de-prova cilíndricos foram ligeiramente inferiores aos obtidos neste trabalho. Aos sete dias, por exemplo, este mesmo autor obteve resistência média de 3,3 MPa para os tijolos com 10% de cimento e 40% de resíduo, enquanto neste trabalho o valor obtido foi de 3,7 MPa.

Para os tijolos confeccionados com 6% de cimento e 60% de resíduos de concreto, Figura 7A, obtiveram-se aos sete dias resistência a compressão de 2,7 MPa, sendo que a norma prescreve no mínimo 2,0 MPa, isto é, os valores obtidos são 35% superiores aos recomendados pela norma. Fica evidente, então, a possibilidade de se utilizar teores de cimento inferiores a 6%, enquanto para o solo sem adição de resíduo, com 6% de cimento, os valores obtidos não atenderam aos requisitos da norma. Ressalta-se, no entanto, que a resistência do material continua aumentando obtendo-se, para este mesmo traço, aos 240 dias, resistência superior a 6,0 MPa, ou seja, três vezes superior ao mínimo prescrito na norma aos sete dias.

Conforme se observa na Figura 7B, para atender aos requisitos normalizados, com uso do solo em estudo, foi preciso utilizar teor de cimento igual a 8%; já com adição de apenas 20% de resíduos de concreto, conforme se observa na Figura 7A, o teor de cimento necessário foi de 6%, ou seja, foi possível uma redução de 25% na quantidade de cimento para que fossem atendidas as prescrições da NBR 8491 (ABNT, 1984d); dessa forma, se evidencia em trabalhos futuros, a possibilidade de se estudar composições solo-resíduo que propiciem consumos mínimos de cimento na confecção de tijolos.

### CONCLUSÕES

1. O solo-cimento é uma excelente matriz para o aproveitamento dos resíduos de concreto, possibilitando a adição de 60% de resíduos em relação à massa de solo, sem prejuízos para as características do solo-cimento.

2. A adição dos resíduos de concreto promoveu condições favoráveis para a utilização do solo em estudo reduzindo, de forma substancial, a sua retração na secagem, tornando-o plenamente indicado para a confecção dos tijolos.

3. Todos os traços com adição de resíduos atenderam plenamente às especificações das normas brasileiras, mostrando haver possibilidade de se utilizar dosagens com menos de 6% de cimento na confecção dos tijolos.

4. Para o solo em estudo, a resistência do solo-cimento continua aumentando de forma considerável, após a idade de sete dias, com tendência de aumento mesmo após a idade de 240 dias.

5. Todas as propriedades estudadas do solo e do solo-cimento apresentaram melhorias sensíveis com a adição dos resíduos de concreto constituindo-se, portanto, em excelente alternativa para melhorar as características dos solos, visando à sua aplicação na produção do solo-cimento.

### LITERATURA CITADA

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensas manuais. São Paulo: ABCP, Boletim Técnico BT-111, 1985, 5p.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Dosagem das misturas de solo-cimento – normas de dosagem. São Paulo: ABCP, Estudo Técnico ET-35, 1986. 51p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 1984a. 6p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1984b. 3p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984c. 13p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1984d. 4p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência a compressão e da absorção d' água. Rio de Janeiro: ABNT, 1984e. 5p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 10p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12025: Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. 2p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12023: Solo-cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 1992a. 6p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12024: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992b. 5p.

CEPED – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. Manual de construção com solo-cimento. Camaçari: CEPED, 1984. 116p.

Ferraz, A. L. N. Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento. Ilha Solteira: UNESP, 2004. 107p. Dissertação Mestrado

Grande, F. M. Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com adição de sílica ativa. São Carlos: EESC-USP, 2003. 165p. Dissertação Mestrado

HRB – Report of committee on classification of materials for subgrades and granular type roads. Proceedings, Highway Research Board, v.25, p.376-384, 1945.

John, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo: Escola Politécnica/USP, 2000. 102p. Tese Livre Docência

PCA – Portland Cement Association. Soil-cement construction handbook. Illinois, 1969. 42p.

Pinto, T. P. Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento. São Paulo: ABCP, 1980. 22p.

Pinto, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo: USP, 1999. 189p. Tese Doutorado

Rolim, M. M.; Freire, W. J.; Beraldo, A. L. Análise comparativa da resistência à compressão simples de corpos-de-prova, tijolos e painéis de solo-cimento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.89-92, 1999.

Segantini, A. A. S. Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira-SP. Campinas: UNICAMP, 2000. 176p. Tese Doutorado

Souza, M. I. B. Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento. Ilha Solteira: UNESP, 2006. 121p. Dissertação Mestrado