

TIJOLOS MODULARES PRODUZIDOS COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

M. C. Lucas¹, L. C. N. Lima¹, A. dos Santos², S. R. Teixeira¹

¹Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciência e Tecnologia,
Presidente Prudente – SP

²Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Faculdade de Engenharia Civil,
Presidente Prudente – SP

rainho@fct.unesp.br

RESUMO

A Construção Civil é uma grande geradora de impactos ambientais, quer seja pelo consumo de recursos naturais, pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos. Aproximadamente 50% do volume do resíduo gerado é composto de material cerâmico (tijolos, blocos, lajotas, telhas, revestimento etc.). Neste trabalho, resíduo de construção foi britado, peneirado e a parte mais fina (< 5mm) foi utilizada para preparação de tijolos modulares. Foi utilizada uma mistura de 65% de resíduo e 35% de cal, em peso, com 15% (da massa sólida total) de água adicionada à massa da mistura. Os tijolos foram prensados utilizando uma prensa manual uniaxial (21 ton). Após 28 dias de cura eles foram submetidos a ensaios de compressão simples, apresentando uma resistência média igual 3,1 MPa. Corpos de prova com cimento e cal foram prensados e apresentaram resistência média de 4MPa (10% em peso de cimento) que aumenta com a concentração de cimento.

Palavras Chave: resíduo, construção, demolição, tijolos, entulho.

INTRODUÇÃO

Praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil são geradoras de entulho. No processo construtivo, o alto índice de perdas do setor

é a principal causa do entulho gerado. Embora nem toda perda se transforme efetivamente em resíduo a quantidade de entulho gerado corresponde, em média, a 50% do material desperdiçado. Nas obras de demolição a quantidade de resíduo gerado não depende dos processos empregados ou da qualidade do setor, pois se trata do produto do processo ⁽¹⁾.

Segundo a Resolução CONAMA 307/02 ⁽²⁾, somente os resíduos de construção civil Classe A podem ser utilizados em processos de reciclagem na sua forma de agregados reciclados. Normalmente, a utilização desses agregados é feita através de um controle visual por coloração. Assim, os agregados ditos “vermelhos” são usados em obras de pavimentação (base e sub-base) e correção de estradas, pois não são submetidos a um controle granulométrico. Os agregados “vermelhos” são provenientes da triagem de materiais cerâmicos que possuem maior porosidade do que os materiais com predominância de cimento. Por outro lado, os agregados “cinza ou brancos” cuja composição predominante é de argamassas e concretos (materiais cimentícios) possuem utilização mais nobre como confecção de artefatos cimento (guias, blocos para calçamento, tubos de galerias, bancos, postes etc.).

No ano de 2010 entrou em vigor a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Esta lei foi implantada no Brasil para disciplinar a coleta, o destino final e o tratamento de resíduos urbanos, perigosos e industriais, incluindo os resíduos de construção e demolição. O texto da PNRS estabelece diretrizes para reduzir a geração e combater a poluição e o desperdício de materiais descartados, por meio de um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a facilitar a coleta e o retorno dos resíduos sólidos aos seus geradores para que sejam tratados ou reaproveitados em novos produtos, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, visando sempre a menor ou não geração de rejeitos. O artigo 9º regulamenta que no gerenciamento de resíduos sólidos deve ser cumprida a seguinte ordem de prioridades: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos sólidos e disposição ambientalmente adequada.

As paredes construídas com tijolos de solo-cimento prensados têm comportamento térmico e durabilidade, equivalentes às construídas com tijolos ou blocos cerâmicos ⁽³⁾. Além disso, os tijolos de solo-cimento podem ser utilizados em alvenaria de vedação ou estrutural, desde que atendam as resistências estabelecidas nos critérios de projeto, que devem ser os mesmos aplicados aos materiais de alvenaria convencional, bem como devem seguir as indicações de

cuidados e manutenção do material. Outra vantagem deste tipo do tijolo é a não necessidade de queima, reduzindo o consumo de energia e, conseqüentemente, os danos ambientais causados pela queima de lenha e emissão de outros poluentes. O processo de moldagem deste tijolo possibilita manter a regularidade dimensional das faces das peças, implicando em menor consumo de argamassa de assentamento e de revestimento, isso se houver necessidade. A moldagem permite obter um design diferenciado dos tijolos, possibilitando modulações e encaixes que podem reduzir a zero o consumo da argamassa de assentamento ⁽⁴⁾.

No presente trabalho resíduo de construção e demolição (RCD) será usado em lugar do solo para produção de tijolos de RCD – Cimento. O RCD é um material arenoso com baixa, ou nenhuma, plasticidade. Por isso, será necessário utilizar uma prensa de compactação para moldar os tijolos. Neste caso, além de retirar do meio ambiente um resíduo, não é necessária a queima das peças, tornando o processo mais barato e ambientalmente melhor. Considerando somente os resíduos de construção e demolição pertencentes à Classe A ⁽²⁾, a composição gravimétrica da fração mineral nas caçambas de coleta e nos pontos de descarte é aproximadamente igual, isto é: resíduo cerâmico (50%), concreto (20%) e argamassa (30%). Considerando esta composição média e os resultados de trabalhos anteriores ^(5,6), com corpos de provas (CPs), foram prensados tijolos modulares com a seguinte composição: 65% de massa sólida de RCD e 35% de cal, mais água (15% da massa total de sólidos). Também foram prensados corpos de prova de RCD com 10, 20 e 30% em peso de cimento, mais 13% de água.

Neste trabalho são apresentadas as propriedades destes tijolos com RCD e cal e, dos corpos de prova com RCD e cimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos de material cerâmico, concreto e argamassa foram coletados separadamente em caçambas em construções. O RCD foi triturado utilizando um britador de impacto de pequeno porte com 10 hastes (martelos) e motor de 5 HP. O material foi triturado até passar através de uma peneira com abertura de malha igual a 4,8 mm de diâmetro (ϕ). Este material mais fino foi utilizado para preparação dos corpos de provas e dos tijolos.

Foi adotada a seguinte composição para confecção os tijolos: 65% de RCD e 35% de Cal, mais 15% (do sólido total) de água. Inicialmente, foram misturadas as quantidades pré-definidas dos agregados miúdos e, em seguida, foi adicionada a água e, depois, a cal hidratada (empregada na construção civil). Após a homogeneização manual do material, os tijolos modulares foram prensados.

Para confecção dos tijolos, foi projetada no laboratório e fabricada pela Escola SENAI de Presidente Prudente, uma matriz de aço com formato de um tijolo modular, ou seja, de encaixes não vazados (tipo LEGO[®]), como mostra a **Figura 1**. As dimensões adotadas foram 210 x 105 x 50 mm.

Os tijolos foram preparados utilizando uma prensa hidráulica manual, marca Schulz, e uma carga de 21 toneladas. Foram prensados 40 tijolos e colocados em local ventilado e isolado do sol, por 28 dias. Após este período de cura, os ensaios de resistência à compressão foram realizados no laboratório de engenharia civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente-SP. Este laboratório é credenciado e realiza os ensaios de acordo com as normas técnicas da ABNT.



Figura 1: Peça superior e inferior da matriz e tijolos modulares secando (28 d).

No Laboratório de Engenharia Civil os tijolos foram cortados ao meio e as duas metades foram assentadas com pasta cimento ou com argamassa (**Figura 2**) utilizada na construção civil (traço: 1 cal, 1 cimento, 1 areia fina). Os tijolos modulares foram imersos em água antes do assentamento, para saturação dos poros, de modo que a umidade da pasta de cimento (e na argamassa) não fosse absorvida pelos poros tijolos durante o assentamento.



Figura 2: Tijolos assentados com a argamassa (esq.) e capeados com enxofre (dir).

Após secagem, as peças assentadas foram capeadas com enxofre fundido (**Figura 2**). O capeamento é um procedimento necessário para manter regular a superfície dos tijolos no ensaio de resistência à compressão simples, para que a carga (tensão aplicada) seja distribuída igualmente por toda área da superfície do tijolo. Esses procedimentos adotados objetivam realizar o ensaio sob condições ideais (tijolos assentados com pasta de cimento e capeados) para obtenção dos maiores valores de resistência, para comparação com os valores obtidos no ensaio de resistência sobre condições reais (tijolos assentados com argamassa).

Além das peças assentadas, foram ensaiadas três peças para avaliação da resistência dos tijolos a seco, ou seja, pela simples justaposição dos mesmos devido aos encaixes que permitem amarração direta entre os componentes. As imprecisões dos encaixes podem diminuir o desempenho da alvenaria ⁽⁷⁾. Assim, puderam-se comparar os resultados com os obtidos para os tijolos assentados.

Após 28 dias de cura, os tijolos modulares foram submetidos a ensaios de compressão simples (**Figura 3**) usando-se uma máquina universal de ensaios UMC marca Contenco. Esta máquina está acoplada a um computador que registra o ensaio no *software* Pavitest Cerâmica 2.7.7.0, programado com o ensaio da NBR 6460 (Ensaio de resistência à compressão simples para tijolos maciço cerâmico). A resistência à compressão simples fornece a tensão de ruptura (colapso) do tijolo.

Um painel de alvenaria, 104 mm x 420 mm, foi montado sobre uma base rígida e indeformável no local de ensaio (**Figura 3**). Neste painel os tijolos modulares foram simplesmente encaixados, sem usar argamassa, a fim de comparar a resistência das peças individuais com a resistência da parede. Para esta etapa do

trabalho foram 6 peças (assentadas com cimento e capeadas com enxofre), 6 peças (assentadas com argamassa), 3 peças encaixadas e 1 parede (tijolos encaixados).



Figura 3: Ensaio de tijolo e da parede de tijolos modulares assentados a seco.

Em fase posterior, foram preparados corpos de prova (CP) de RCD com cimento, utilizando três amostras diferentes: (1) com composição de RCD (50:20:30) igual à usada para os tijolos, com 13% (da massa sólida total) de água e (2) duas amostras coletadas na usina de reciclagem de RCD em São José do Rio Preto-SP. As composições dos CPs foram (RCD/Cimento): 90/10, 80/20 e 70/30. Após a homogeneização, foram prensados 27 corpos de prova (três amostras e três composições, em triplicata) cilíndricos ($\phi = 30$ mm) e comprimento de ~60 mm. Foi utilizada uma prensa hidráulica (**Figura 4**) e carga de 7 tonf (sete toneladas-força). Esses CPs foram submetidos a ensaios de resistência à compressão simples (EMIC DL-2000) e uma célula de carga para até 2000 kgf, da UNESP/FCT). As três amostras foram denominadas de CP, BC1 e BC2 (bica corrida da UR-SJRP).



Figura 4: Prensa hidráulica com matriz para corpos de provas cilíndricos (esquerda), CPs, CP rompido (centro) e máquina de ensaio EMIC – 2000 (direita).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tijolos Individuais

A **Tabela 1** mostra o resultado valores (médios, mínimo, máximo e de desvio-padrão) da resistência à compressão simples dos tijolos modulares (peças individuais) para cada procedimento adotado.

Tabela 1: Resistência à compressão simples dos tijolos modulares.

Tipo de Procedimento	Valor Médio (MPa)	Desvio-Padrão	Valor Mínimo (MPa)	Valor Máximo (MPa)
Argamassa	2,81	0,7731	1,8	3,8
Cimento/Enxofre	3,24	0,8385	2,2	4,0
Seco	3,13	0,5508	2,6	3,7

A análise estatística dos dados permitiu calcular o Intervalo de Confiança (IC) dos valores de resistência à compressão simples para cada procedimento adotado (**Tabela 2**). Este IC é estruturado na distribuição amostral dos dados e é um parâmetro indicativo para avaliar se a resistência à compressão simples é estatisticamente igual para todos os tipos de procedimentos. Além disso, o tamanho do intervalo de confiança mostra a confiabilidade (magnitude do erro cometido) dos resultados do trabalho. IC largos são menos confiáveis do que IC estreitos, pois quanto menor o intervalo, mais os valores se aproximam da média obtida.

Tabela 2: Intervalo de Confiança Amostral para os três tipos de procedimentos.

Tipo de Procedimento	Valor Médio (MPa)	Intervalo de Confiança 95%
Argamassa	2,81	2,13 – 3,50
Cimento/Enxofre	3,24	2,48 – 3,99
Encaixe	3,13	2,16 – 4,10

A largura do IC está associada ao número de amostras (peças individuais de tijolos) ensaiadas. Assim o reduzido número de amostras avaliado, em cada procedimento, resultou em um IC largo. Dessa maneira, pode-se dizer que há 95% de certeza que o valor médio de medidas, para um novo número de amostras de tijolos, estará dentro deste IC. Porém, o valor médio de resistência a compressão, para o novo conjunto de amostras, poderá ser diferente do obtido aqui.

Nota-se também que os valores médios de resistência são muito similares para as composições analisadas, pois esses valores pertencem há uma mesma

intersecção dos IC. Para verificar se a resistência à compressão simples dos tijolos é a mesma, para os três tipos procedimentos, foi feita uma Análise de Variância (ANOVA), adotando-se o valor de 0,05 (5%) para o nível de significância. Os resultados desta análise mostrou que é possível concluir que a resistência à compressão simples dos tijolos modulares é estatisticamente igual para os três tipos de procedimentos adotados. Portanto, seu valor está entre 2,81 e 3,24 MPa. Este valor é maior que o valor mínimo (2,0 MPa) estabelecido para tijolos maciços de solo-cimento.

Ensaio do Pannel de Tijolos

A **Figura 6** mostra a ruptura do pannel de alvenaria, ou seja, o colapso da estrutura no ensaio de resistência à compressão. É observada uma fissura vertical, formando um ângulo de 90 graus com o eixo horizontal na face maior da parede e outra fissura na lateral. O estudo detalhado das fissuras não pôde ser realizado devido à falta de dados (não foi registrada a deformação em função da carga aplicada durante o ensaio).

O resultado deste ensaio foi um valor de resistência à compressão igual a **1,46 MPa**, considerado baixo para aplicação na construção civil como parede de alvenaria para vedação. Este valor é bem inferior aos resultados para peças individuais. Isso ocorreu devido à imperfeição das dimensões dos tijolos modulares, pois, como dito anteriormente, o controle da altura dos tijolos foi feita através de uma relação com a massa de cal, água e RCD utilizados. Nesse sentido, essas diferenças dimensionais na espessura dos tijolos provocam uma distribuição não homogênea da carga. Este problema poderá ser superado com a utilização de pequena quantidade de argamassa no assentamento das peças.

Os valores de resistência dos ensaios de peças individuais assentadas a seco foram maiores que o valor obtido para o pannel e, estatisticamente, iguais aos para as peças assentadas com argamassa e cimento. Isto se deve ao fato que, para peças individuais havia somente meio tijolo sobre a outra metade, dando um encaixe quase que perfeito (sem movimentação). Na confecção de paredes torna-se necessário a utilização desses aglomerantes para correção das distorções existentes entre os encaixes dos tijolos. A fissura presente na **Figura 6** é um forte indicativo de que a o pannel montado poderia ter apresentado uma resistência muito

maior, pois somente alguns tijolos de uma das faces da parede entraram em colapso, enquanto a maioria permaneceu intacta.



Figura 6: Ruptura do painel de alvenaria.

Corpos de Provas Com Cimento

A **Tabela 3** mostra os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão simples para cada uma das composições (traço) para as três amostras (CP, BC1 e BC2). Os corpos de prova compostos por 30% de cimento não romperam. Este fato se deu em virtude de que a resistência adquirida por estes corpos de prova excedeu a capacidade máxima de medição da célula de carga utilizada, que é de 2000 kgf. Nesta tabela são mostrados os valores médios (3 corpos de prova), valores mínimo e máximo, e do desvio-padrão da resistência à compressão simples para os três traços de Corpos de Prova.

Tabela 3: Valores da resistência à compressão para cada composição.

Amostra	Composição Resíduo/Cimento (%)	Valor Médio (MPa)	Valor Máximo (MPa)	Valor Mínimo (MPa)	Desvio Padrão
BC1	90/10	4,26	4,92	3,43	0,76
BC1	80/20	7,73	7,92	7,64	0,16
BC1	70/30	n/ rompeu			
BC2	90/10	3,93	4,54	2,97	0,84
BC2	80/20	7,67	7,92	7,17	0,43
BC2	70/30	n/ rompeu			
CP	90/10	4,12	4,73	3,72	0,53
CP	80/20	7,39	7,91	6,83	0,54
CP	70/30	n/ rompeu			

Observa-se que os valores médios de resistência a compressão simples são bastante distintos para os traços de 90/10 e 80/20 apresentado resistência em torno de 4,0 MPa para a composição 90/10 e em torno de 7,0 MPa para a composição 80/20.

No entanto, os valores obtidos foram bastante similares para diferentes amostras (CP, BC1 e BC2) o que a princípio mostra que diferentes composições de RCD apresentam valores bastante similares em termos de resistência mecânica. Este resultado mostra que a composição ideal (50:20:30) do resíduo é uma boa aproximação para o comportamento mecânico de tijolos preparados com RCD obtidos aleatoriamente no depósito da UR-SJRP. O traço 90/10 apresenta resistência mecânica similar para as três amostras (CP, BC1 e BC2), com valor em torno de 4,0 MPa. O mesmo se verifica para o traço 80/20, com resistência em torno de 7,0 MPa e observa-se que dos corpos de prova com traço 70/30 nenhum rompeu para as diferentes amostras. Na **Figura 4** é mostrado um corpo de prova após o rompimento. Este desenho de rompimento é característico de corpos de prova que receberam uma distribuição homogênea de carga durante o ensaio.

CONCLUSÕES

Os resultados mostram que é possível fabricar os tijolos utilizando RCD e cal. Os ensaios de compressão simples mostram que eles apresentam valores de resistência da ordem de 3 MPa. De acordo com norma NBR 6460 pode-se dizer o que os tijolos modulares podem ser utilizados na construção civil como tijolos para vedação de paredes de alvenaria.

Apesar do reduzido número de amostras ensaiadas, os resultados finais também mostram que estatisticamente não há diferenças entre os tijolos ensaiados em condições ideais (laboratório) e os tijolos ensaiados em condições reais.

O Pannel de alvenaria confeccionado não se mostrou adequado, pois o assentamento a seco ocasionou grandes diferenças dimensionais provocando contrações de tensão durante a aplicação da carga. Assim, o valor de 1,46 MPa obtido é questionável e não condiz com os resultados obtidos nos ensaios de peças individuais.

Os ensaios com corpos de prova de RCD e cimento apresentam resistência a compressão (da ordem de 4 MPa) superiores aos valores obtidos com cal.

Valores de resistência à compressão semelhantes, para a mesma composição (RCD/Cimento), mas para amostras diferentes de RCD (BC1 e BC2) e para a amostra CP (40:20:30) preparada no laboratório, mostram que a composição do RCD influencia pouco na resistência mecânica dos corpos de provas. Este resultado garante, a princípio, que o método pode ser empregado em unidades distintas de reciclagem, desde que se garanta que o material usado seja apenas a fração mineral contida nos resíduos de construção civil e demolição.

Agradecimentos: Os autores agradecem à FAPESP pela bolsa de IC Científica, a FUNDUNESP pelo apoio ao desenvolvimento do projeto e divulgação do trabalho e, a UNOESTE e UNESP pela disponibilização da infra-estrutura de laboratórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ZORDAN, S. E. Entulho da indústria da construção civil. 2007. São Paulo. Disponível em: < www.reciclagem.pccc.usp.br>. Acesso em: 01 de junho de 2007.
- (2) CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Resoluções do CONAMA. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_307.pdf. Acesso em: 02 de março 2008.
- (3) CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. & CASSA, J. C. S. (2001) Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção. EDUFBA; Caixa Econômica Federal, Salvador.
- (4) ASSIS, J. B. S. de. (1995). Bloco inter-travado de solo-cimento “tijolito”. In: WORKSHOP ARQUITETURA DE TERRA. São Paulo. Anais. NUTAU-FAUUSP. p.149-162.
- (5) TEIXEIRA, S.R.; LIMA, Leandro Cesar Neves, LUCAS, Murilo César, Recycling of civil engineering solid waste to produce modular bricks. In: 2nd International Congress University-Industry Cooperation, 2007, Perugia, Itália.
- (6) LIMA, L.C.N. Utilização do resíduo de construção civil e demolição para a fabricação de tijolos modulares, relatório de bolsa IC – FAPESP, UNESP/FCT, 2009.
- (7) TANGO, C. E. S. Materiais: tecnologia e controle. In: Manual Técnico de Alvenaria. 1990. São Paulo. ABCI.

MODULAR BRICKS MADE WITH CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE

ABSTRACT

The Building is a major generator of environmental impacts, either by consumption of natural resources, by the modification of the landscape or by the generation of waste. Approximately 50% of the volume of generated waste is composed of ceramic material (brick, blocks, slabs, tiles, coating etc.). In this paper, construction residue was crushed, sieved and the thinner part (< 5mm) was used for preparation of modular bricks. Was used a mixture of 65% waste and 35% lime by weight, with 15% (of the total solid mass) of water added to the mass of the mixture. The bricks were pressed using a manual uniaxial press (21 ton). After 28 days of curing they were submitted to simple compression tests, giving an average strength equal to 3.1 MPa. Test bodies with cement and lime were pressed and the average strength was 4MPa (10% by weight of cement), which increases with the concentration of cement.

Key-words: residue, construction, demolition, bricks, waste.