TIJOLOS VAZADOS DE SOLO-CIMENTO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Soil-cement hollow bricks with construction and demolition waste

Letícia Matias Martins[1]
[1]Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, MG | leticia.mm@aluno.ufop.edu.br

Resumo

Os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) representam uma parte significativa dos resíduos sólidos urbanos. Este estudo avaliou a viabilidade de uso do RCD na fabricação de tijolos vazados de solo-cimento. Para isso, foram realizados ensaios em tijolos produzidos com solo, RCD, cimento Portland e água. Os resultados mostraram que a adição de RCD melhorou as propriedades mecânicas dos tijolos e reduziu a absorção de água. Os tijolos com 62% de RCD + 38% de solo (SC1) alcançaram uma resistência média de 2,0 MPa e absorção de 18,8%. Os tijolos com 57% de RCD + 43% de solo (SC2) apresentaram uma resistência média de 1,8 MPa e absorção de 19,2%. Já os tijolos com 53% de RCD + 47% de solo (SC3) tiveram resistência média de 1,2 MPa e absorção média de 21,0%. Além disso, a adição de RCD reduziu a retração durante a secagem. Esses resultados indicam que o uso de RCD na fabricação de tijolos de solo-cimento mostra-se uma alternativa promissora e sustentável.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição; Solo-cimento; Tijolos; Construções sustentáveis.

Abstract

Construction and Demolition Waste (CDW) represents a significant part of solid urban waste. This study evaluated the feasibility of using CDW in the manufacture of soil-cement hollow bricks. For this, tests were carried out on bricks produced with soil, CDW, Portland cement and water. The results showed that the addition of CDW improved the mechanical properties of the bricks and reduced water absorption. Bricks with 62% CDW + 38% soil (SC1) achieved an average strength of 2.0 MPa and absorption of 18.8%. Bricks with 57% CDW + 43% soil (SC2) had an average strength of 1.8 MPa and absorption of 19.2%. Meanwhile, bricks with 53% CDW + 47% soil (SC3) had an average strength of 1.2 MPa and average absorption of 21.0%. Additionally, the addition of CDW reduced shrinkage during drying. These results indicate that the use of CDW in the production of soil-cement bricks proves to be a promising and sustainable alternative.

Keywords: Construction and demolition waste; Soil-cement; Bricks; Sustainable buildings.

1 INTRODUÇÃO

Com o intuito de reduzir o consumo de recursos naturais e, consequentemente, mitigar os impactos ambientais, o setor da construção civil busca constantemente conceitos e soluções para promover a sustentabilidade em todas as fases do processo construtivo. Nesse contexto, a reciclagem e o aproveitamento dos resíduos provenientes de construção e demolição surgem como alternativas, visando valorizar os materiais descartados nas obras e impedir seu descarte irresponsável na natureza. Esses resíduos englobam uma variedade de materiais, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto, madeiras e compensados, argamassa, gesso, entre outros (CONAMA, 2002).

Paralelamente, a utilização do solo como matéria-prima principal na construção de alvenaria é uma prática antiga e amplamente difundida, porém somente recentemente suas propriedades e aplicações estão sendo estudadas de forma mais aprofundada (HEATH, MASKELL, *et al*., 2012). O interesse crescente por métodos construtivos que empregam o solo está relacionado à redução das emissões de carbono em comparação com materiais convencionais (MASKELL, HEATH e WALKER, 2014). Nesse contexto, os tijolos de solo-cimento ganham destaque em termos de sustentabilidade, pois sua fabricação não envolve a queima de materiais.

Esses tijolos são produzidos por meio da compressão uniforme de uma mistura de solo, água e um ligante (cimento Portland), conferindo ao produto alta resistência e durabilidade.

Com o objetivo de desenvolver tijolos que possam substituir a alvenaria convencional feita de cerâmica e concreto, ao mesmo tempo em que proporcionam uma alternativa adequada para a destinação ambientalmente correta dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD), este estudo apresenta as propriedades dos tijolos de solo-cimento fabricados com diferentes proporções de RCD e solo, avaliando seu desempenho como material de construção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento dos tijolos de solo-cimento, a proposta tem como composto principal os resíduos sólidos da construção civil, definidos como classe “A” pela resolução CONAMA 307, constituído por componentes cerâmicos (tijolos) e argamassa.

Figura 1: Resíduo de Construção e Demolição utilizado.



Fonte: autora (2023).

O solo utilizado na composição do solo-cimento trata-se de um solo A-7-6 (HRB, 1945), sendo essa classificação adotada para materiais com mais de 35% de material passante na peneira #200, limite de liquidez superior a 40% e índice de plasticidade superior a 10%. Por fim, o cimento utilizado na confecção dos tijolos foi o CPII E 32.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

O solo, o RCD e as misturas solo-RCD foram submetidas aos seguintes ensaios: determinação da massa específica conforme a NBR 6458 (ABN, 2016), distribuição granulométrica de acordo com as normas NBR 7181 (ABNT, 2016) e NBR 17054 (ABNT, 2022). Os limites de consistência foram determinados seguindo as orientações das normas NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016).

Adicionalmente, foi realizado o ensaio de retração conforme recomendado pelo CEPED (1984), para avaliar a influência do resíduo na composição solo-cimento. Para esse propósito, uma caixa com dimensões de 60,0 cm de comprimento, 8,5 cm de largura e 3,5 cm de espessura foi preparada e revestida com papel manteiga (Figura 2).

Figura 2: Caixa utilizada no ensaio forrada com papel manteiga.



Fonte: autora (2023).

A amostra de solo foi umedecida até atingir uma consistência plástica semelhante à de uma argamassa de emboço. Em seguida, a amostra foi colocada em uma caixa e submetida a um processo de adensamento manual. Esse processo envolveu elevar a caixa em uma das extremidades em aproximadamente 5 cm e deixá-la cair por 10 vezes. O mesmo procedimento foi repetido para a outra extremidade. Após o adensamento, a superfície foi nivelada, como mostrado na Figura 3.

Figura 3: Amostra depois de regularizada.



Fonte: autora (2023).

Após o adensamento manual, a amostra foi deixada em repouso para que pudesse secar completamente. Em seguida, foi feita a medição da retração no sentido do comprimento da caixa. Para ser considerada adequada, a soma das leituras de retração não poderia ultrapassar 20 mm.

Por fim, para caracterizar os tijolos, foram realizados os ensaios de resistência à compressão e absorção de água de acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012).

2.3 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS

Na composição do solo-cimento, foram estudadas três composições que tivessem aproximadamente 70% de material retido na peneira #200. Então, inicialmente, para determinar os traços fez-se o peneiramento das amostras. Na Tabela 1 tem-se os resultados do material retido na peneira #200 do solo e do RCD.

Tabela 1– Porcentagem média de material retido na peneira #200

Amostra	Solo	RCD
% material retido na peneira #200	39	95

Fonte: autora (2023).

Logo, sendo o solo (X) com um teor de areia determinado no ensaio de peneiramento igual a 39% e o RCD (Y) com um teor de material retido na peneira n° 200 igual a 95%. Desejando-se fazer uma mistura que apresente um teor de areia de 70%, o sistema com as 2 equações seguintes resolve o problema:

$$\begin{cases} X \,.\, 0{,}39 \;+\; Y \,.\, 0{,}95 \;=\; 70 \\ X + Y = 100 \end{cases} \qquad (1)$$

Ao resolver o sistema encontra-se que a mistura deverá ser composta em massa, por 55% de RCD e 45% de solo. Logo, foram estudadas misturas próximas à encontrada e que pudessem aproveitar o máximo de RCD em sua composição. Na Tabela 2 tem-se o percentual de RCD e solo utilizado em cada mistura.

Tabela 2 – Percentual de RCD e solo

Mistura	% de RCD	% de Solo
SC1	62	38
SC2	57	43
SC3	53	47

Fonte: autora (2023).

Apresenta-se na Tabela 3, a descrição dos traços que foram estudados com 13,8% de cimento.

Tabela 3: Descrição dos traços de solo-cimento que foram estudados.

Traço	Equivalente em massa (%)			
	Resíduo	Solo	Cimento	Soma
SC1	53,9	32,3	13,8	100,0
SC2	49,3	36,9	13,8	100,0
SC3	45,4	40,8	13,8	100,0

Fonte: autora (2023).

2.4 CONFECÇÃO DOS TIJOLOS

Inicialmente, o solo e o RCD foram homogeneizados manualmente com o auxílio de uma enxada, e então o cimento foi adicionado, continuando a mistura até obter uma coloração uniforme. Em seguida, a água foi adicionada gradualmente utilizando um regador, a fim de homogeneizar a umidade e desfazer os torrões. O solo-cimento passou por peneiramento utilizando na peneira com abertura de 4,8 mm para garantir a uniformidade.

Nesta etapa, os tijolos vazados foram moldados usando uma prensa manual, seguindo as especificações da NBR 8491 (ABNT, 2012). Foram confeccionados 10 tijolos para cada composição: 7 destinados ao ensaio de compressão simples aos 28 dias e 3 para o ensaio de absorção de água (Figura 4).

Figura 4: Tijolos após o processo de cura.



Fonte: autora (2023).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO E DAS MISTURAS SOLO-RCD

Na Tabela 4, tem-se uma síntese dos resultados da análise granulométrica das misturas e a massa específica dos grãos. O solo apresenta fração argila elevada sendo classificado de acordo com o Sistema Rodoviário de Classificação como um solo A-7-6, o RCD apresenta módulo de finura igual a 3,89mm.

Tabela 4: Caracterização física das misturas.

Material	Fração granulométrica (%)				Massa específica dos grãos (g/cm³)
	Argila	Silte	Areia	Pedregulho	
Solo puro	49	8	42	1	2,75
SC1	16	7	39	38	2,72
SC2	18	5	41	36	2,75
SC3	24	5	39	32	2,77

Fonte: autora (2023).

3.2 LIMITES DE CONSISTÊNCIA E RETRAÇÃO

Na Tabela 5, são apresentados os resultados dos ensaios de limites de consistência e retração linear.

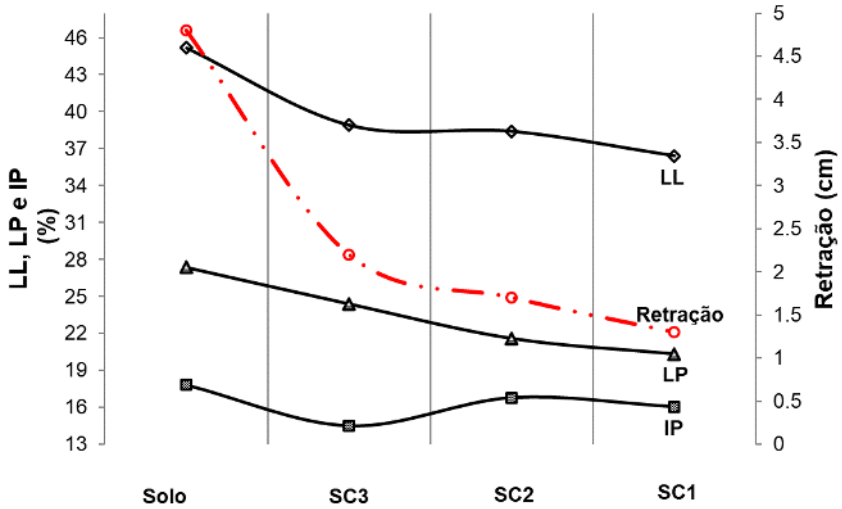
Tabela 5: Resultados dos ensaios de limites de consistência e retração.

Composição	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Retração (cm)
Solo puro	45,20	27,38	17,82	4,80
SC1	36,40	20,34	16,06	1,30
SC2	38,40	21,60	16,80	1,70
SC3	38,90	24,41	14,49	2,20

Fonte: autora (2023).

Na Figura 5, são apresentadas as curvas dos limites de consistência e do índice de plasticidade, obtido pela diferença entre os limites de liquidez e plasticidade. Além disso, é exibida, no eixo secundário, a curva obtida no ensaio de retração.

Figura 5: Resultados limites consistência e retração.



Fonte: autora (2023).

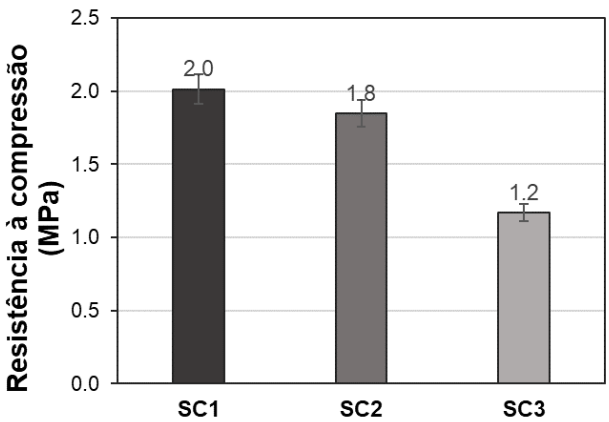
Conforme a ABCP (1987), os solos mais adequados para a fabricação de tijolos solo-cimento são aqueles com limite de liquidez igual ou inferior a 45% e índice de plasticidade igual ou inferior a 18%. Observa-se que a adição dos resíduos resultou em redução nos limites de consistência, o que é benéfico para que o solo atenda às especificações da ABCP (1987).

Em relação à retração, de acordo com as recomendações do CEPED (1984), para que o solo-cimento seja viável, a soma das leituras de retração linear nas extremidades da amostra deve ser inferior a 2 cm, e não deve haver ocorrência de fendas na parte central da amostra. O ensaio realizado com o solo natural apresentou uma retração de 4,8 cm, enquanto a amostra composta por 53% de RCD + 47% de solo (SC3) apresentou uma retração de 2,2 cm, ultrapassando o limite recomendado pelo CEPED (1984). Portanto, essa composição não é adequada para a fabricação de tijolos solo-cimento. Por outro lado, as amostras compostas por 62% de RCD + 38% de solo (SC1) e 57% de RCD + 43% de solo (SC2) não apresentaram fendas e a retração foi inferior à do solo natural. Esse resultado é bastante significativo, uma vez que a retração linear está diretamente relacionada à retração por secagem e tem uma influência significativa na qualidade das alvenarias.

3.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Na Figura 6 são apresentados os resultados resistência à compressão média dos tijolos.

Figura 6: Resistência à compressão média dos tijolos.



Fonte: autora (2023).

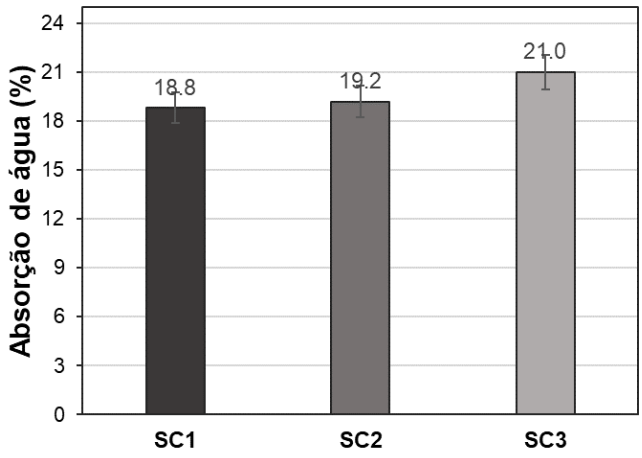
De acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012) o valor mínimo exigido para a resistência à compressão média dos tijolos é de 2,0 MPa. Entre as diferentes misturas analisadas, apenas a composição composta por 62% de RCD + 38% de solo (SC1) apresentou uma resistência satisfatória para atender a ABNT NBR 8491 (ABNT,

2012). Essa mistura possui um menor percentual de argila em sua composição. É interessante observar que a resistência média dos tijolos produzidos com 62% de RCD + 38% de solo (SC1) e 57% de RCD + 43% de solo (SC2) está próxima, o que pode ser atribuído à semelhança na composição granulométrica dessas misturas. Isso ressalta como uma pequena variação na granulometria pode afetar a qualidade dos tijolos produzidos.

3.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Na Figura 7 são apresentados os resultados da absorção de água média dos tijolos.

Figura 7: Absorção de água média dos tijolos.



Fonte: autora (2023).

Conforme estabelecido pela NBR 8491(ABNT, 2012), a absorção de água média dos tijolos deve ser inferior a 20%. Observa-se que nas duas composições com maior quantidade de RCD, foi possível atender a essa especificação da norma. No entanto, os tijolos produzidos com 53% de RCD + 47% de solo (SC3) não atenderam aos requisitos, indicando que um aumento no percentual de argila resulta em um aumento na absorção de água dos tijolos.

4 CONCLUSÕES

A adição dos resíduos de construção proporcionou condições favoráveis para a utilização do solo estudado, resultando em uma redução significativa na retração durante a secagem e nos limites de consistência. Isso tornou o solo adequado para a fabricação dos tijolos. Os melhores resultados das propriedades analisadas foram obtidos por tijolos com maior proporção de RCD, o que o torna uma excelente alternativa para melhorar as características dos solos e utilizá-los na produção de tijolos solo-cimento.

Os tijolos produzidos com 62% de RCD + 38% de solo (SC1) atenderam a todas as especificações estabelecidas nas normas. No entanto, não foi viável produzir tijolos com uma proporção maior de RCD devido à granulometria semelhante do RCD à de uma areia grossa. Uma possível solução para aumentar essa proporção e melhorar a qualidade dos tijolos seria realizar a peneiração do RCD em uma malha com abertura inferior a 4,8 mm. Isso permitiria uma maior incorporação do RCD na mistura. Conclui-se, portanto, que as características do solo exercem uma influência significativa no desempenho dos tijolos, especialmente sua composição granulométrica.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço aos responsáveis pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil da Univiçosa (Sr. Tarcísio, Jean e professor Rômulo), pelo apoio para a realização desse projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **ABCP EC-4**: Solo-cimento na habitação popular. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 6458:** Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Associação Brasileria de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 10. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 8491:** Tijolo de solo-cimento-Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 5. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 8492:** Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Associação Brasileria de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 4. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 6459:** Solo - Determinação do limite de liquidez. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 5. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 7180:** Solo - Determinação do limite de plasticidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 3. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 7181:** Solo - Análise granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 12. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 17054:** Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 5. 2022.

CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO - CEPED. **Manual de construção com solo-cimento**. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. Camaçari, p. 116. 1984.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução 307**, de 05 de julho de 2002. Brasília, DF, p. 95-96. 2002.

HEATH, Andrew et al. Modern earth masonry: Structural properties and structural design. **The Structural Engineer**, p. 38-44, 2012.

MASKELL, Daniel; HEATH, Andrew; WALKER, Pete. Inorganic stabilisation methods for extruded earth masonry units. **Construction and Building Materials**, v. 71, p. 602-609. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.094, 2014.