

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DA FIBRA DE BORRACHA DE PNEU COMO REFORÇO EM TIJOLO DE SOLO CIMENTO

Adriana Maria Pereira ¹

João Victor Fazzan ²

Verônica de Freitas ³

RESUMO

Estudos relacionados sobre materiais e técnicas de construção que visam a preservação ambiental vêm ganhando espaço, principalmente quando aliado a uma visão de melhor desenvolvimento econômico, social e sustentável. Desse modo, a produção de tijolos ecológicos a base de solo e cimento, reforçados com fibras, mostra-se como alternativa a ser aplicada, principalmente nas construções de habitações populares. A construção civil é um dos setores que provoca maior impacto ambiental, devido ao elevado consumo de matérias-primas. Contudo, a utilização de resíduos na construção civil pode vir a reduzir a quantidade de recursos naturais retirados do meio ambiente. Um exemplo desses resíduos é o de borracha de pneu, gerado em abundância durante o processo de recauchutagem. Este projeto estuda a utilização de tijolos vazados de solo-cimento e solo-cimento-fibra de borracha de pneu, para serem aplicados em alvenaria sem função estrutural. Os resultados indicam que o solo da cidade de Presidente Epitácio - SP pode ser utilizado como matéria-prima para a fabricação de tijolos de solo-cimento que o reforço da matriz com fibras de borracha provoca um incremento da resistência à compressão.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-cimento. Fibras de borracha de pneu. Resistência à compressão.

¹ Mestre em Engenharia Civil. Docente no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo - *Campus* de Presidente Epitácio-SP. Rua José Ramos Junior, 27-50, Jardim Tropical, CEP 19470-000, Presidente Epitácio-SP. (18) 3281-9595. E-mail: adrianapereiradu@ifsp.edu.br | adrianapereiradu@gmail.com

² Mestre em Engenharia Civil. Docente no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo - *Campus* de Presidente Epitácio-SP. Rua José Ramos Junior, 27-50, Jardim Tropical, CEP 19470-000, Presidente Epitácio-SP. (18) 3281-9595. E-mail: jvfazzan@ifsp.edu.br | jvfazzan@hotmail.com.

³ Mestre em Engenharia Civil. Docente no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo - *Campus* de Presidente Epitácio-SP. Rua José Ramos Junior, 27-50, Jardim Tropical, CEP 19470-000, Presidente Epitácio-SP. (18) 3281-9595. E-mail: veronica@ifsp.edu.br | veronicaifsp@gmail.com.

ANALYSIS OF THE VIABILITY OF TIRE RUBBER RESIDUE USE AS FIBER REINFORCEMENT IN THE SOIL-CEMENT BRICKS

ABSTRACT

Related studies of materials and construction techniques aimed at environmental protection is becoming more popular, especially when combined with a vision of better economic, social and sustainable development. Thus, the production of green bricks based soil and cement, reinforced with fibers is shown as an alternative be applied, particularly in public housing construction. The construction industry is one of the sectors that causes higher environmental impact due to the high consumption of raw materials. However, the use of waste in the construction can will reduce the amount of natural resources taken from the environment. An example is the tire rubber residue, generated in abundance during the retreading process. This project studies the use of soil-cement hollow brick and soil-cement-fiber to be used in brickwork without structural function. The results indicate that the soil City President Epitácio - SP can be used as raw material for manufacturing of soil-cement bricks and the rubber matrix with fibers causes an increase of the compressive strength.

KEY-WORDS: Soil-cement. Tire Rubber Residues. Compressive strength.

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL USO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO COMO REFUERZO EN BLOQUES DE SUELO-CEMENTO

RESUMEN

Estudios relacionados sobre materiales y técnicas de construcción destinados a la preservación del medio ambiente están ganando espacio, especialmente cuando se combina con una visión de un mejor desarrollo económico, social y sostenible. Por lo tanto, la producción de bloques de suelo a base de cemento reforzado con fibras se muestra como se aplica una alternativa, particularmente en la construcción de viviendas públicas. El edificio es uno de los sectores que causa mayor impacto ambiental debido al alto consumo de materias primas. Sin embargo, el uso de residuos de la construcción en última instancia, puede reducir la cantidad de recursos naturales tomadas desde el medio ambiente. Un ejemplo de este tipo de residuos es el caucho de neumáticos, generada en abundancia durante el proceso de recauchutado. Este proyecto estudia el uso de bloques de suelo-cemento y neumáticos fuera de uso para ser utilizado en albañilería sin función estructural. Los resultados indican que el suelo de la ciudad Presidente Epitácio - SP se puede utilizar como materia prima para la fabricación de bloques, y la matriz de bloques con fibras provoca un aumento de la resistencia a la compresión.

PALABRAS CLAVE: Suelo-cemento. Neumáticos fuera de uso. Resistencia a la compresión.

INTRODUÇÃO

O tijolo ecológico ou tijolo de solo cimento é derivado da mistura de solo, cimento e água. Os solos mais apropriados para a fabricação são os que possuem teor de areia entre 45% e 50%. Quando não se dispõe de um solo com as características indicadas, deve-se considerar a possibilidade correção do solo, de modo a garantir um produto final de qualidade e barato (SOUZA *et al.*, 2008).

Um dos princípios envolvidos na obtenção desse material é a melhoria das propriedades físicas e mecânicas do solo por meio de sua estabilização química através do cimento Portland, para Houben e Guillaud (1994), a estabilização do solo consiste em modificar as características do sistema solo-água-ar com a finalidade de obter propriedades de longa duração compatíveis com uma aplicação particular, assim o processo de estabilização confere ao solo uma resposta mais adequada ante as deformações quando ele é submetido ao efeito de cargas aplicadas

Para Milani e Freire (2006), na estabilização do solo com o cimento, ocorrem reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento, formando um gel que preenche parte dos vazios da massa e une os grãos adjacentes do solo, conferindo-lhe resistência inicial.

Pesquisas desenvolvidas por universidades públicas e privadas, pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) e pelo IPT (Instituto de Pesquisa e Tecnologias do Estado de São Paulo), têm estimulado o uso dessa técnica ecologicamente correta, nas construções populares. O sistema de produção possibilita a inserção de resíduos na composição, seja com a função de correção do solo, substituição parcial do cimento ou do solo e como reforço da matriz, como é o caso das fibras de borracha de pneu. Alguns estudos relacionados a adições na mistura de solo cimento foram realizadas por: Grande (2003); Souza *et al.* (2008); Dallacort *et al.* (2002) e Ferrari *et al.* (2014).

FIBRAS DE BORRACHA DE PNEU DE BORRACHA

Atualmente, uma das grandes preocupações no ramo da construção civil é a destinação correta dos resíduos, o que tem conduzido à conscientização de profissionais e gestores sobre os benefícios da reciclagem, ponto fundamental para a preservação da qualidade de vida e crescimento da economia.

De fato, o descarte inadequado dos pneus inservíveis em aterros sanitários tem acarretado prejuízos à natureza, justificado pelo fato dos pneus serem combustíveis que queimam em altas temperaturas, além de contribuírem para contaminação dos solos e lençóis d'água e para a proliferação de insetos e roedores.

Em função da produção em grande escala dos pneumáticos, tem-se constatado que seu descarte vem aumentando a cada ano. De fato, segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP (2014), em 2013, foram produzidos no Brasil 68,8 milhões de unidades de pneu. A Reciclanip, entidade que é parte do Sistema ANIP, coletou e destinou de forma ambientalmente correta mais de 109 mil toneladas de pneus inservíveis durante o primeiro trimestre deste ano. Esta quantia equivale a 21,8 milhões de unidades de pneus de carros de passeio.

Sendo assim, a incorporação de resíduos em misturas de solo, cimento e água surge como uma possibilidade para se atenuar impactos ambientais. Um exemplo desses resíduos é o de borracha de pneu, gerado em abundância durante o processo de recauchutagem. Barbosa (2006) menciona que, em consequência ao uso indiscriminado de areia natural, a exaustão de reservas naturais da mesma vem ocorrendo em diversos locais.

A maioria das pesquisas mostra que a inclusão do resíduo de borracha no concreto e na argamassa provoca uma diminuição da resistência mecânica à compressão e na consistência das misturas (NGUYEN, TOUMI e TURATSINZE, 2010).

No entanto, segundo Batayneh, Marie e Asi (2008), a adição de borracha em misturas cimentícias aumenta sua capacidade de deformação sem o surgimento de fissuras. Os autores observaram um comportamento não linear no diagrama de tensão-deformação das amostras com adição de resíduos de borracha, concluindo que o material proporciona aumento da tenacidade dos compósitos. As fibras de borracha, por ser um material altamente elástico, atuam como obstáculos para a propagação de fissuras, proporcionando um efeito de “costura”.

Neste contexto, a heterogeneidade dos materiais que compõem as misturas de solo e cimento, bem como a complexidade de seu comportamento representa um desafio para a sua fabricação. Com o surgimento dos métodos de dosagem, permitiu-se selecionar os componentes adequados entre os materiais disponíveis e determinar a combinação mais econômica que produz os tijolos com certas características mínimas de desempenho, sejam elas a trabalhabilidade no estado fresco e a resistência mecânica no estado endurecido. Com isso, permite-se valorizar o resíduo de borracha de pneu na construção civil, já que se trata de um dos setores que provoca maior impacto ambiental, devido ao elevado consumo de matérias-primas.

OBJETIVOS

Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho foi analisar a possibilidade de se utilizar fibras de borracha de pneu na produção de tijolos ecológicos a base de solo e cimento.

Objetivos específicos

- Desenvolver a dosagem de tijolos ecológicos, a partir do solo encontrado na cidade de Presidente Epitácio, interior do Estado de São Paulo;

- Analisar as propriedades mecânicas e físicas dos tijolos de solo cimento produzidos com fibras de borracha de pneu e;
- Ponderar sobre a utilização de fibras de borracha de pneu, material abundantemente encontrado no Brasil e que não apresenta uma destinação adequada.

METODOLOGIA

Materiais Utilizados

Cimento

Nesta pesquisa, utilizou-se o cimento CP II E 32 (Cimento Portland Composto de Escória de Alto-Forno) para a elaboração dos tijolos, pelo fato de seu emprego ser em larga escala para obras residenciais. Além disso, trata-se do cimento comercialmente vendido na região noroeste do Estado de São Paulo.

Solo

O solo proveniente da cidade de Presidente Epitácio – SP, foi coletado a uma profundidade de 0,20m, a fim de se evitar a utilização do solo superficial, que eventualmente pode estar contaminado com matéria orgânica. O solo que foi utilizado, era um material arenoso, com cerca de 85% de areia e 15% de silte e argila.

Fibras de borracha de pneu

Os resíduos de borracha de pneu foram fornecidos por uma empresa recauchutadora de pneus, situada na cidade de Presidente Venceslau – SP. Após o recebimento do material, impurezas como fios de nylon e fios de aço foram retirados.

Para a confecção dos concretos, foi selecionada uma faixa granulométrica do resíduo a ser utilizado por meio de um processo de peneiramento classificatório.

Deste modo, determinou-se um jogo de peneiras de modo a separar os resíduos de borracha em faixas granulométricas bem definidas, apresentando inclusive fácil distinção visual, conforme mostra o Quadro 1. A Figura 1 mostra os resíduos de borracha de pneu utilizados na pesquisa.

Quadro 1 - Classificação granulométrica do Resíduo de Borracha de Pneu

Classificação Granulométrica do Resíduo de Borracha de Pneu				
Peneiras Normais e Auxiliares		Resíduo de borracha de pneu		
Denominação da ABNT	Abertura (mm)	% Retida	Denominação do Trabalho	Observação
1/4"	6,3	1,7	B. Muito Grossa	Não utilizada
N.º 8	2,38	27,8	Borracha Grossa	Utilizada
N.º 16	1,19	32,8	Borracha Média	Utilizada
Fundo	0,075	37,7	Borracha Fina	Utilizada

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2015

Figura 1 – Separação do resíduo em diferentes granulometrias



(a) Borracha Grossa

(b) Borracha Média

(c) Borracha Fina

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2015

Método de mistura para a produção do tijolo ecológico

Inicialmente, procedeu com a coleta do solo *in loco*, sendo destorroado, peneirado e armazenado em local seco e protegido.

Para fabricação dos tijolos ecológicos, os componentes da mistura (solo e cimento) foram homogeneizados em betoneira, com posterior adição de água, sendo a mistura agitada até a obtenção da consistência ideal para moldagem dos tijolos. No final do processo de mistura, adicionou-se as fibras de borracha, sendo o produto final misturado por aproximadamente 1 minuto em betoneira.

O traço utilizado foi de 1:8 (cimento: solo). Segue abaixo na tabela 1, as misturas ensaiadas.

Tabela 1: Dosagem dos tijolos ecológicos em volume

Mistura	Solo	Cimento Portland	Borracha
TJ – Controle	08	01	00
TJ - Borracha	08	01	01

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2015

Após homogeneização, a mistura foi moldada em prensa manual de fabricação de tijolos. Para esse estudo foram moldados corpos de prova (CP's), nas dimensões de 25 x 12,5 x 6 cm. Após a prensagem, os tijolos moldados foram armazenados em local seco e sem contato direto com o sol até a idade de ruptura. Os corpos de provas passaram por um período de cura úmida de 7 dias, de acordo com a NBR 8491:2012 e NBR 8492:2012).

A prensa utilizada para produzir os tijolos, assim como amostras de tijolos ecológicos podem ser observados na figura 2.

Figura 2: Amostras de tijolos ecológicos e máquina para prensagem manual



Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2015

Ensaio mecânico

A fim de verificar a viabilidade da incorporação do resíduo nos tijolos, foi realizado o ensaio de resistência à compressão simples, conforme prescreve a norma NBR 8492:2012. Para cada traço, foram moldados três corpos de provas, para as idades de 7 e 14 dias, adotando-se como resistência final a média aritmética dos mesmos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os resultados do valor da massa específica aos 14 dias dos tijolos ecológicos.

Tabela 2: Valor médio da massa específica dos tijolos ecológicos aos 14 dias

Mistura	Massa específica (Kg/m³)
TJ – Controle	1628,7
TJ - Borracha	1899,0

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2015

Apesar da baixa densidade das fibras de borracha de pneu utilizadas na pesquisa, os dados obtidos demonstram que a inclusão de fibras na dosagem do tijolo provoca um aumento da massa específica das amostras, da ordem de 16,5% maior em relação ao traço controle. De fato, tal conclusão pode ter relação com a dosagem de materiais utilizada para os traços sem e com adição de resíduos, considerando que as misturas sem adição requereram um consumo menor de água do que a mistura com adição, o que pode ter proporcionado um efeito de confinamento das fibras na mistura em função do diferente teor de água para as misturas com fibras; além disso, pode-se inferir que o resíduo de borracha foi considerado uma adição para a mistura e não substituição em relação aos demais materiais (solo ou cimento), proporcionando um ligeiro aumento da massa específica.

A Tabela 3 fornece os resultados de resistência à compressão para os traços.

Tabela 3: Valores médio de resistência à compressão simples aos 7 e 14 dias

Misturas	7 dias	14 dias
TJ – Controle	1,72 MPa	2,06 MPa
TJ - Borracha	1,96 MPa	2,28 MPa

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2015

Apesar do aumento da massa específica com a inclusão das fibras de borracha, os dados obtidos na Tabela 2 mostram a relação direta com os dados de resistência à compressão, demonstrando que as duas propriedades obtidas são diretamente proporcionais.

Os resultados de resistência à compressão simples foram aceitáveis, já que os valores médios da resistência dos tijolos solo-cimento e solo-cimento-resíduo analisados na idade de 14 dias, atenderam ao mínimo de resistência estabelecido

pela NBR 8491:2012, visto que, segundo a NBR 8492:2012, os tijolos de solo cimento não devem apresentar valores médios de resistência à compressão simples inferior a 2,0 MPa.

Ressalta-se que a resistência média aumentou em 13,9% e 10,7%, quando se incorporou fibras na composição da mistura aos 7 e 14 dias, respectivamente. Houve também um incremento da resistência em função da idade, dos 7 para os 14 dias de cura, da ordem de 19,8% para os traços sem adição e 16,3% para os traços com adição.

Nestas condições, os dados mostram que pode existir a participação das fibras de borracha no processo de ruptura dos blocos; de fato, em função da borracha ser responsável pela capacidade de absorção de esforços, também é possível que o resíduo tenha absorvido uma pequena parcela dos esforços de tração, proporcionando um efeito de “costura” dos tijolos para resistir às forças aplicadas durante o processo de ruptura.

CONCLUSÕES

Conclui-se que:

- Os tijolos solo-cimento e solo-cimento-resíduo fabricados com a incorporação de resíduo de fibras de borracha de pneu tiveram suas características mecânicas melhoradas, atendendo aos requisitos mínimos impostos pela NBR 8491/2012, em relação a resistência mecânica.
- Apesar da baixa densidade das fibras de borracha de pneu, a incorporação destas em misturas de solo-cimento proporcionou um aumento da massa específica das misturas, considerando a heterogeneidade de dosagem das misturas e adição do material, sem levar em conta a retirada de solo ou cimento para substituição das fibras.
- A inserção de fibras de borracha proporcionou um aumento expressivo da resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento; considerando que as

fibras de borracha tenham atuado como concentradora de tensões, tal fato pode ter contribuído para um efeito de “costura” dos tijolos, o que refletiu no aumento das resistências.

- O aproveitamento dos resíduos de fibras de borracha de pneu na fabricação de tijolos de solo cimento contribui para reduzir o volume de material descartado na natureza, reduzir a exploração dos recursos naturais.
- E com a dispensa da queima na fabricação dos tijolos, consegue-se reduzir o desmatamento e a emissão de CO₂ no meio ambiente, mostrando que o tijolo ecológico pode ser uma alternativa ecologicamente viável.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: Tijolo maciço de solo-cimento - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão simples e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 5 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS - ANIP. **Reciclanip apresenta balanço do primeiro trimestre de 2014**. São Paulo: ANIP, 2014. Disponível em: < <http://www.anip.com.br> >. Acesso em: 28 nov. 2014.

BARBOSA, Michele Beniti; MARTINS, Israel Rodrigo de Freitas; VITA, Marcos Onofre; AKASAKI, Jorge Luís. **Influência da incorporação de diferentes porcentagens de resíduos de borracha de pneu no concreto de alto desempenho**. In: JORNADAS SULAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, XXXII, 2006, Campinas. **Anais...**, 2006, p. 2396-2404.

BATAYNEH, Malek K.; MARIE, Iqbal.; ASI, Ibrahim. Promoting the use of crumb rubber concrete in developing countries. **Waste Management**, Oxford, v. 28, n. 11, p. 2171-2176, 2008.

DALLACORT, Rivanildo *et al.* Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 511-518, Dec. 2002.

FERRARI, Vladimir José *et al.* Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná. **Ambiente constr.**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 131-148, set. 2014.



GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. **Earth Construction: a compressive guide**. Intermediate Technology Publications. London, 1994. 362 p.

MILANI, Ana. P. S.; FREIRE, Wesley. J. Características Físicas e Mecânicas de Misturas de Solo, Cimento e Casca de Arroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2006.

NGUYEN, T-H.; TOUMI, A.; TURATSINZE, A. Mechanical properties of steel fibre reinforced and rubberised cement-based mortars. **Materials and Design**, Surrey, v. 31, n. 1, p. 641-647, 2010.

SOUZA, Márcia. I. B.; SEGANTINI, Antonio A. S.; PEREIRA, Joelma. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n. 2, p. 205-212, dez. 2008.