

## **Tijolo solo cimento com acréscimo de resíduos de borracha de pneu**

**Brick soil cement with addition of tire rubber waste**

**Cemento de suelo de ladrillo con adición de residuos de caucho de neumáticos**

Recebido: 12/09/2021 | Revisado: 17/09/2021 | Aceito: 17/09/2021 | Publicado: 19/09/2021

### **Vander Alkmin dos Santos Ribeiro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0260-2454>  
Centro Universitário de Itajubá, Brasil  
E-mail: [vanderalkmin@gmail.com](mailto:vanderalkmin@gmail.com)

### **Demarcus Werdine**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9683-8307>  
Centro Universitário de Itajubá, Brasil  
E-mail: [civil@fepi.br](mailto:civil@fepi.br)

### **Luciano Floriano Barbosa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4297-6143>  
Centro Universitário de Itajubá, Brasil  
E-mail: [lucianofb@fepi.br](mailto:lucianofb@fepi.br)

### **Mario Vitor Pinheiro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9755-2092>  
Centro Universitário de Itajubá, Brasil  
E-mail: [mariovitorpinheiro@hotmail.com](mailto:mariovitorpinheiro@hotmail.com)

### **Adhimar Flávio Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2586-7359>  
Universidade Federal de Itajubá, Brasil  
E-mail: [adhimarflavio@unifei.edu.br](mailto:adhimarflavio@unifei.edu.br)

### **André Luiz Queiroz Alves**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0477-8912>  
Centro Universitário de Itajubá, Brasil  
E-mail: [andre.luz90@hotmail.com.br](mailto:andre.luz90@hotmail.com.br)

### **Lucas Ramon Roque Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0387-622X>  
Universidade Federal de Itajubá, Brasil  
E-mail: [lucasramonroque@gmail.com](mailto:lucasramonroque@gmail.com)

### **Resumo**

Este Trabalho tem como objetivo investigar as propriedades físicas e mecânicas do tijolo solo cimento com a utilização de resíduos de borracha de pneus. Trata-se de uma alternativa para solucionar um grave problema ambiental que existe nacionalmente, pois são descartados mais de 30 milhões de pneus, pois a grande maioria é disposta em locais inadequados, auxiliando na propagação de doenças e na poluição do meio ambiente. A metodologia empregada consistiu em ensaios laboratoriais do limite de liquidez, plasticidade do solo e após a moldagem, os tijolos foram submetidos ao ensaio de resistência a compressão e absorção. O solo apresentou alta umidade higroscópica acima do valor estabelecido pela norma e todos as porcentagens com resíduo de pneu não obtiveram resistência a compressão acima de 2 Mpa e os valores individuais da absorção obtidos foram superiores ao indicado pela norma para tijolo solo-cimento. Conclui-se que os tijolos não foram aprovados quanto à os ensaios de compressão simples, absorção de água, limites de liquidez, limite de plasticidade, pois não atendem aos requisitos estabelecidos nas NBR 8491/2012 e NBR 10833/2012.

**Palavras-chave:** Tijolo solo cimento; Resíduo de pneu, Limite de liquidez; Resistência a compressão; Ensaio de absorção.

### **Abstract**

This work has as objective to investigate the physical and mechanical properties of the soil-cement brick with the use of tire rubber residues. It is an alternative to solve a serious environmental problem that exists nationwide, as more than 30 million tires are discarded, as the vast majority are disposed of in inappropriate places, helping to spread diseases and pollute the environment. The methodology used consisted of laboratory tests of the limit of liquidity, plasticity of the soil and after molding, the bricks were submitted to the compressive and absorption resistance test. The soil presented high hygroscopic moisture above the value established by the standard and all percentages with tire residue did not obtain compressive strength above 2 Mpa and the individual absorption values obtained were higher than those indicated by the standard for soil-cement brick. It is concluded that the bricks were not approved in terms

of simple compression tests, water absorption, liquidity limits, plasticity limit, as they do not meet the requirements established in NBR 8491/2012 and NBR 10833/2012.

**Keywords:** Brick soil cement; Tire residue, Liquidity limit; Compressive strength; Absorption test.

### Resumen

Este trabajo tiene como objetivo investigar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo suelo-cemento con el uso de residuos de caucho de llantas. Es una alternativa para solucionar un grave problema ambiental que existe a nivel nacional, ya que se desechan más de 30 millones de llantas, ya que la gran mayoría se desechan en lugares inapropiados, contribuyendo a propagar enfermedades y contaminar el medio ambiente. La metodología utilizada consistió en pruebas de laboratorio del límite de liquidez, plasticidad del suelo y luego del moldeado, los ladrillos fueron sometidos a la prueba de resistencia a la compresión y absorción. El suelo presentó alta humedad higroscópica por encima del valor establecido por la norma y todos los porcentajes con residuo de llantas no obtuvieron resistencia a la compresión por encima de 2 Mpa y los valores de absorción individual obtenidos fueron superiores a los indicados por la norma para ladrillo suelo-cemento. Se concluye que los ladrillos no fueron aprobados en cuanto a ensayos de compresión simple, absorción de agua, límites de liquidez, límite de plasticidad, por no cumplir con los requisitos establecidos en NBR 8491/2012 y NBR 10833/2012.

**Palabras clave:** Cemento de suelo de ladrillo; Residuos de neumáticos, Límite de liquidez; Resistencia a la compresión; Ensayo de absorción.

## 1. Introdução

O pneu, por ser essencial para as atividades da vida moderna, se tornou um dos produtos de maior consumo no mundo e um dos resíduos mais problemáticos por sua difícil decomposição na natureza. Quando se tornam inservíveis, os pneus são colocados em aterros onde podem permanecer por mais de 500 anos. Isto constitui um problema ambiental que pode ser solucionado pela engenharia. Neste contexto, a reciclagem surge como instrumento promotor do bem-estar ecológico e social (Silva, et al., 2019; Ribeiro, Werdine, Barbosa, Oliveira e Santana, 2021)

A borracha utilizada como matéria prima dos pneus, tem sua origem sintética ou natural dependendo do produto final desejado, ou seja, o tipo do pneu. Este material devido da borracha e é agrupado com outros materiais como por exemplo o arame e este pode ser totalmente reciclado, reutilizado e reempregado na construção civil, tanto em massa asfáltica, tijolo, pisos dentre outros produtos decorativos.

Um dos mecanismos se dá através da incorporação de resíduos sólidos como matéria prima alternativa na confecção de tijolos ecológicos, concretos e/ou argamassas. Desta forma, é possível promover a gestão adequada dos resíduos gerados pelas indústrias que atendem tanto às demandas da construção civil, quanto de outros setores.

O tijolo ecológico ou sustentável, além de favorecer as questões ambientais por não emitir gases que comumente são lançados na atmosfera, o material contribui significativamente na economia do país, já que o material faz o uso do reaproveitamento de resíduos descartados pela construção; além de outros materiais que podem ser adicionados na confecção do material. Grande (2003; pág. 12) afirma que “os tijolos de solo-cimento representam uma 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, quando possível, os tijolos podem ser produzidos com o solo do próprio local da obra”.

Ademais, o tijolo modular de solo-cimento possui dutos formados pelos encaixes dos tijolos modulares em camadas termoacústicas possibilitando a passagem dos condutores para rede elétrica e hidráulica, evitando a quebra das alvenarias que geralmente ocorre no método convencional. Além disso, a baixa popularidade do tijolo ecológico é fator primordial para a desinformação e falta de discussão sobre o material (Júnior, Nunes, Silva e Colen, 2020).

O uso de tijolos solo-cimento apresenta características positivas, como seu formato, possibilitando o encaixe um sobre o outro, possui furos em sua geometria que permitem a passagem de vigas e tubulações, economiza o uso de argamassa e concreto, reduzindo também a geração de entulhos, que atualmente é considerado um grave problema (Teixeira, et al., 2021).

Comparando os tijolos solo-cimento com os tijolos convencionais de cerâmica queimada, eles são resistentes mecanicamente, podem apresentar durabilidade até 6 vezes superior ao convencional, possuem bom índice de permeabilidade e bom desempenho na resistência à compressão (Teixeira, et al., 2021).

Novato (2019) investigou a utilização resíduo de borracha dos pneus em conjunto com um tijolo solo-cimento, e analisou suas propriedades físicas e viabilidade para aplicação. Ensaio de resistência a compressão foram realizadas e notou-se o decréscimo da resistência média à compressão dos blocos com adição dos resíduos de pneu, sendo que houve uma queda aos 28 dias no valor de 1,54 MPa; 1,28 MPa e 1,58 MPa para as amostras com 8%, 10% e 12% de resíduo de pneu respectivamente.

Ferreira (2003) estudou a resistência à compressão simples e absorção d'água do material solo-cimento através da determinação experimental em corpos de-prova cilíndricos, tijolos e painéis. Os solos utilizados foram arenoso e argiloso, sendo adicionados a estes solos os teores de 6% e 10% de cimento Portland. O referido autor, com base nos resultados obtidos, recomendou solos com características semelhantes àsquelas do solo arenoso estudado para estabilização com cimento.

Este Trabalho tem como objetivo investigar as propriedades físicas e mecânicas do tijolo solo cimento com a utilização de resíduos de borracha de pneus.

## 2. Metodologia

O método utilizado para pesquisa é a Experimental: Esta pesquisa envolve qualquer tipo de experimento que auxilie no desenvolvimento da pesquisa e o estudo se configura numa abordagem quantitativa (Estrela, 2018).

A remoção do solo foi realizada na cidade de Pouso Alegre – MG em uma profundidade de 0,50m, tal distância da superfície foi levada em consideração para não utilizar um solo raso que poderia estar contaminado com matéria orgânica.

O resíduo de borracha de pneu foi comprado de uma empresa recauchutadora de pneus em Itajubá-MG, uma vez que nestes locais existe abundância deste material e seu peneiramento do resíduo de borracha foi realizado através de uma peneira com abertura de 4,75 mm.

O cimento utilizado foi CP II E 32 (Cimento Portland Composto de Escória de Alto-forno), pela circunstância que ele é muito utilizado na nossa região do sul de minas e também, devido à resistência inicial superior.

A confecção dos tijolos consistiu em realizar a coleta do solo, peneiramento e destorroamento do solo. Logo após, para a produção dos tijolos solo-cimento, as partes integrantes da mistura solo e cimento foram homogeneizadas com uma enxada e com adição de água e foi misturado até a consistência ideal para moldar os tijolos. A fabricação dos tijolos solo-cimento foi realizada com o traço 1:7 (cimento: solo); 1:7 (cimento: solo) com acréscimo de 10% resíduo de borracha de pneu e 1:7 (cimento: solo) com acréscimo de 20% resíduo de borracha de pneu, sendo 1 balde de cimento para 7 baldes de solo, de acordo com o fabricante da prensa utilizada.

Após a homogeneização, a mistura foi moldada em uma prensa manual e com as dimensões dos tijolos de 10 x 20 x 6 cm, conforme a norma ABNT NBR 10833 (2013). Depois de feita a prensagem os tijolos foram colocados sobre paletes e coberto com uma lona em um local seco e sem contato com sol ou chuva.

Após completar seis horas de moldagem e durante os setes primeiros dias, os tijolos foram mantidos úmidos pois receberam água com um regador levemente, para que eles tenham um processo de cura necessária. Esses tijolos podem ser manuseados por um período de 14 dias após a sua fabricação e estocagem. Para cada um dos traços foram confeccionadas 10 amostras sendo 7 para o ensaio de compressão simples e 3 para o ensaio de absorção de água.

Para a determinação do limite de liquidez (LL) foi utilizado a norma ABNT NBR 6459 (2017) que exige a utilização do aparelho de Casagrande, um cinzel e um gabarito. O limite de plasticidade (LP) do solo foi realizado seguindo

especificações da norma ABNT NBR 7180 (2016).

Para atender a ABNT NBR 8492 (2012), os tijolos foram cortados ao meio no sentido perpendicular à sua maior dimensão e para que seja feito o capeamento com argamassa e posteriormente o ensaio de compressão simples.

Os ensaios realizados de resistência a compressão simples foram realizados em todos os 7 tijolos de cada um dos traços feitos com 28 dias de cura conforme descreve a ABNT NBR 8492 (2012). Cada resultado de cada tijolo deve ser demonstrado individual e que cada um possua resistência maior ou igual a 1,7 MPa e a média desses não deve ser menor que 2 Mpa e o ensaio de absorção de água foi feito com 3 tijolos de cada traço conforme descreve a ABNT NBR 8492 (2012). Segundo a norma, o valor individual não pode ser maior que 22% e a média não pode ser maior que 20%

### 3. Resultados e Discussão

O Quadro 1 mostra o valor da umidade higroscópica da amostra inicial do solo. O solo apresenta alta umidade higroscópica podendo ser um indicativo de que este resíduo pode atrapalhar o processo de hidratação do cimento e consequentemente prejudicar as propriedades da mistura, pois este teor de umidade está acima do máximo de 3,0% estabelecido pela NBR 12653 (2014).

**Quadro 1:** Umidade higroscópica do solo (%).

Cápsula Número	58,0
Cápsula e solo úmido (g)	81,1
Cápsula e solo seco (g)	73,7
Peso da capsula (g)	14,9
Peso da água (g)	7,4
Peso do solo seco (g)	58,9
Umidade higroscópica (%)	12,5

Fonte: Autores (2021).

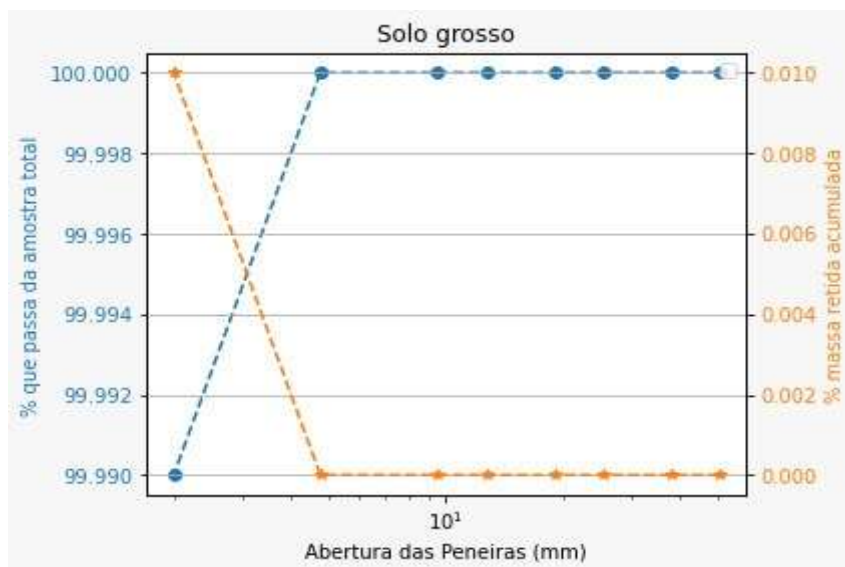
O Quadro 2 e a Figura 1 mostram os valores da análise granulométrica do peneiramento grosso do solo. Para o peneiramento grosso utilizou-se o material retido na peneira # 10 (2,0 mm) e passante na peneira de 76 mm. O material passante na peneira # 10 (2,00 mm) foi usado na determinação do teor de umidade da amostra. De acordo com a análise granulométrica realizada no solo do quadro 2 pode-se observar que o material grosso ficou retido 0,01 % na peneira # 10, no caso pode-se ser classificados como pedregulhos e areias. E a curva granulométrica resultante do peneiramento fino do solo, sendo um material 100% passante na peneira # 4,8mm.

**Quadro 2:** Análise granulométrica do peneiramento grosso.

PENEIRAS				MATERIAL RETIDO		PORC. QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
Nº	mm	Pol	Peso – g	% Amostra Total	% acumulada	
	50,3	2,68	0,0	0,0	0,0	100,0
	38,1		0,0	0,0	0,0	100,0
	25,4		0,0	0,0	0,0	100,0
	19,1		0,0	0,0	0,0	100,0
	12,7		0,0	0,0	0,0	100,0
	9,52		0,0	0,0	0,0	100,0
4	4,76		0,0	0,0	0,0	100,0
10	2,00	0,073	0,20	0,01	0,01	99,99

Fonte: Autores (2021).

**Figura 1.** Análise granulométrica do peneiramento grosso.



Fonte: Autores (2021).

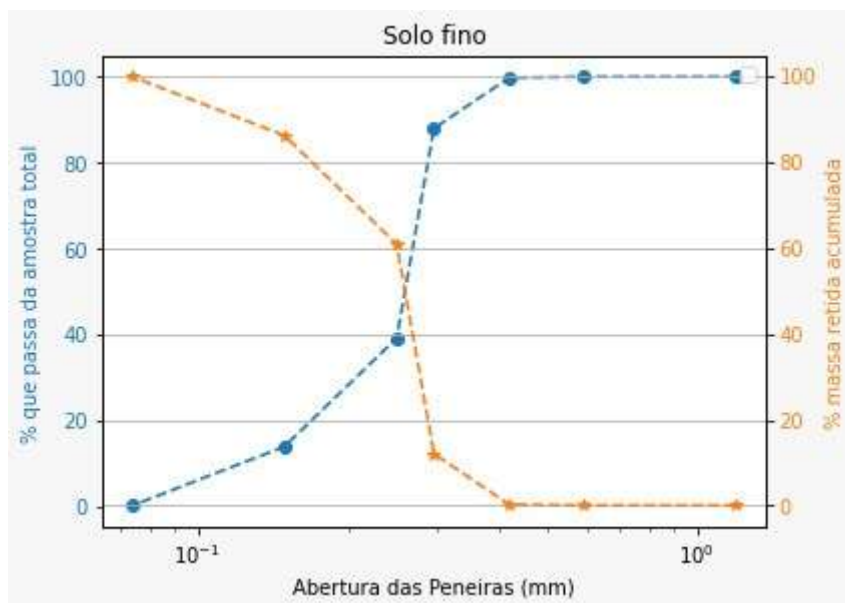
No Quadro 3 e Figura 2 mostram a análise granulométrica do peneiramento fino do solo. De acordo com a análise granulométrica realizada o material fino ficou retido 0,19 % (silte e argila) na peneira # 200, portanto conclui-se que o solo utilizado é grosso (mais de 50% retido na peneira # 200) e não atende os parâmetros pré- estabelecidos na ABNT NBR 10833 (2013), pois possui um baixo teor de material fino caracterizando assim como solo arenoso. 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; sendo que a Portland Cement Association (PCA, 1969) considera excelentes os solos arenosos e pedregulhos, contendo de 65 a 90% de areia e quantidade de silte mais argila variando de 10 a 35%.

**Quadro 3.** Análise granulométrica do peneiramento fino.

PENEIRAS		MATERIAL RETIDO			% passa na amostra	
Nº	mm	Peso - g	% parcial	% acumulada	% que passa amostra parcial	% que passa da amostra total
16	1,19	0,05	0,06	0,06	99,94	99,93
30	0,59	0,01	0,01	0,07	99,93	99,92
40	0,42	0,20	0,23	0,29	99,71	99,70
50	0,297	10,47	11,79	12,08	87,92	87,91
60	0,25	43,36	48,83	60,91	39,09	39,08
100	0,149	22,40	25,23	86,14	13,09	13,86
200	0,074	12,14	13,67	99,81	0,19	0,19

Fonte: Autores (2021).

**Figura 2.** Análise granulométrica do peneiramento Fino.



Fonte: Autores (2021).

O Quadro 4 mostra o resumo dos valores da granulometria do solo utilizado na fabricação dos tijolos com a quantidade de material passante nas peneiras de abertura 4,75 mm e 0,075 mm, e os valores de referência especificados para o solo utilizado na mistura solo-cimento segundo a ABNT NBR 10833 (2013). Na distribuição granulométrica do solo, feita por peneiramento, observou-se que a grande maioria das partículas possuíam entre 0,42 mm e 0,074 mm. Desta forma, o solo utilizado não é considerado adequado para a produção de tijolo solo-cimento. A granulometria de um solo tem influência direta na qualidade e no custo no tijolo solo-cimento, sendo mais indicados na sua confecção os solos com características arenosas. Segatini (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.

**Quadro 4.** Resumo da granulometria (%).

Pedregulho: acima de 4,7 cm	0,0
Areia grossa: 4,76 – 2,0 mm	0,1
Areia média: 2,0 – 0,42 mm	0,3
Areia fina; 0,42 – 0,074 mm	99,4
Finos (passante # 200 – 0,074 mm)	0,2
Total:	100,0

Fonte: Autores (2021).

Segundo a ABNT NBR 10833 (2013), os solos adequados para a fabricação de componentes de alvenaria são os que possuem as seguintes características no Quadro 5. De acordo com Neves (2003), os solos mais indicados são os que predominam a fração areia em sua composição, recomendando que o solo utilizado para fabricação dos tijolos de solo-cimento contenha entre 50% a 90% de areia, pois este tipo de solo necessita de menores quantidades de cimento na estabilização do que os argilosos e siltosos.

Além disso, segundo Segantini e Alcântara (2010), a presença de grãos de areia grossa e pedregulhos no solo cimento é benéfica, pois são materiais inertes, com função apenas de enchimento, favorecendo a liberação de maiores quantidades de cimento para aglomerar os 15 grãos menores.

Entretanto, a presença da argila na composição do solo é necessária para dar a mistura de solo e cimento, quando umedecida e compactada, coesão suficiente para a imediata retirada do molde, além da resistência inicial. Segantini e Alcântara (2010) acrescentam ainda que teores de silte mais argila inferiores a 20% não propiciam compactação adequada na produção de tijolos de solo-cimento.

**Quadro 5.** Critérios para seleção de solos ideal.

CARACTERISTICA	REQUISITOS (%)
% Passando na peneira 4,8 mm (n° 4)	100
% Passando na peneira 0,075 mm (n°200)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

Fonte: NBR 10833 (2012).

O ensaio de determinação do Limite de Liquidez forneceu os seguintes valores conforme mostra no Quadro 6. O limite de liquidez do solo é o teor de umidade para o qual o sulco se fecha com 25 golpes.

De acordo com a ABNT NBR 10833 (2013), para ser usado na fabricação de tijolos de solo cimento, o solo não pode conter matéria orgânica em quantidade que possa prejudicar a hidratação do cimento na sua constituição. O solo tem que obedecer à uma granulometria que está apresentada conforme a ABNT NBR 10833 (2013), seguidos do índice de liquidez, que é estabelecido com valor menor ou igual a 45%.

**Quadro 6.** Limite de liquidez.

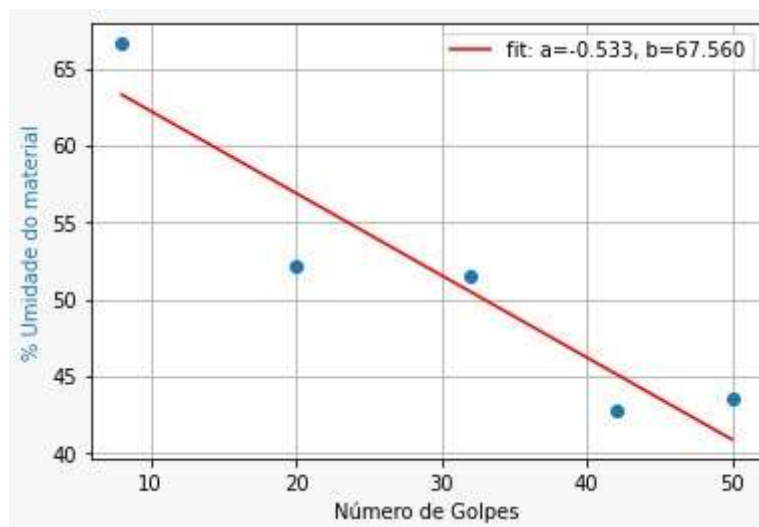
Cápsula	Nº	26	29	39	47	68
Nº Golpes	Nº	20	8	50	42	32
Peso Bruto Úmido	g	9,58	9,38	9,93	9,61	9,53
Peso Bruto Seco	g	9,46	9,00	9,66	9,40	9,20
Tara da Cápsula	g	9,23	8,43	9,04	8,91	8,56
Peso do solo seco	g	0,23	0,57	0,62	0,49	0,64
Teor de Umidade	%	52,17	66,67	43,55	42,86	51,56

Fonte: Autores (2021).

A Figura 3 mostra o gráfico da umidade em função do número de golpes no qual se determina o Limite de liquidez encontrado aos 25 golpes do ensaio. Em nenhuma das quantidades de água utilizada nos ensaios, a ranhura obtida pelo cinzel se fechou com 25 golpes, logo o valor de umidade referente a essa quantia foi obtido por uma interpolação dos dados, obtendo o valor de 50% como limite de liquidez do solo, valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico, sendo que a NBR 10833 (2013) se baseia que o ideal seria um solo com LL menor ou igual a 45%. Portanto, o limite de liquidez não está de acordo com a ABNT NBR 10833 (2013), pois a amostra de solo não é igual ou inferior a 45%.

Os resultados do Limite de liquidez chegaram em 50 % de umidade, o que significa que acima desse teor de umidade, o solo passa do estado plástico ao estado líquido.

**Figura 3:** Limite de liquidez.



Fonte: Autores (2021).

No ensaio de limite de plasticidade, os valores das capsulas 28 e 82 foram excluídos, pois eles estavam fora do intervalo de 5% de confiança como pode ser observado na Quadro 7. O limite de plasticidade do solo é encontrado pela média dos três valores de umidades restantes, conforme mostrado no Quadro 7. Multiplicou-se o cálculo da média por 1,05 e 0,95 onde obtive os valores de 28,83 e 26,09, portanto, subentendesse que o valor do limite de plasticidade encontrado é de 27% que é a média calculada, sendo que de acordo com NBR 10833 (2012) o limite ideal é de  $\leq 18\%$ .

De acordo com Pinheiros e Soares (2010), os valores acima de 45% para o limite de liquidez e acima de 18% para índice de plasticidade, são prejudiciais na secagem, no destorroamento e também na mistura dos componentes.



**Quadro 7.** Limite de plasticidade.

Cápsula	Nº	28	48	82	85	87
Peso Bruto Úmido	g	9,56	10,51	9,96	9,81	9,87
Peso Bruto Seco	g	9,25	10,16	9,25	9,48	9,58
Tara da Cápsula	g	8,29	8,89	8,01	8,30	8,50
Peso do solo seco	g	0,96	1,27	1,24	1,18	1,08
Teor de Umidade	%	32,29	27,56	57,26	27,97	26,85
Limite de Plasticidade	%	27,00				

Fonte: Autores (2021).

O Quadro 8 mostra o consumo de materiais para a fabricação do tijolo solo cimento.

**Quadro 8.** Consumo de materiais para a fabricação do tijolo solo cimento.

	Solo (kg)	Cimento (Kg)	Resíduo de pneu (Kg)
referência	213,36	36,00	-
10%	213,36	36,00	0,68
20%	213,36	36,00	1,37

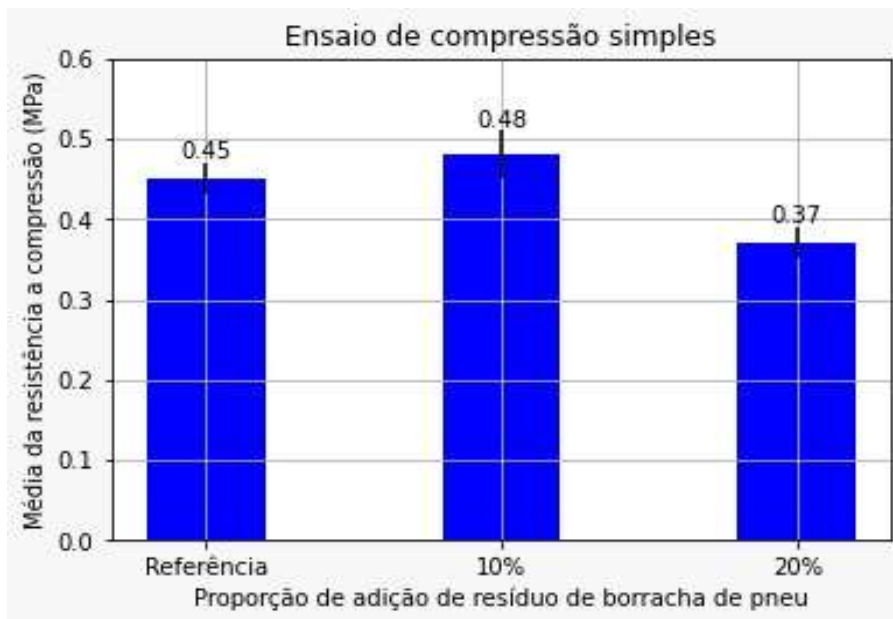
Fonte: Autores (2021).

A Figura 4 apresenta a resistência à compressão simples, obtida a partir de sete corpos-de-prova moldados nos tratamentos iniciais e com a umidade ótima de compactação. A NBR 8491 (2012) 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. Como se observa na Figura 4, todos os tratamentos não obtiveram resistência a compressão acima de 2 MPa, sendo que esse valor da resistência é suficiente para garantir a qualidade de blocos de solo-cimento. O valor de resistência a compressão simples de 1 MPa é o mínimo necessário para que as misturas de solo-cimento posteriormente possam ser utilizadas como componentes construtivos. Pode-se observar que o tijolo com 10% de resíduo de pneu obteve o maior valor da resistência a compressão simples.

Outro aspecto importante observado foi que nenhum dos elementos da amostra obteve resistência satisfatória, uma vez que o valor máximo obtido foi de 0,48 MPa e a exigência é de 1,7 MPa para valores individuais, denotando a necessidade de alterações imediatas na composição do tijolo solo cimento. A qualidade das matérias-primas empregadas bem como as quantidades são fundamentais para alcançar os requisitos técnicos exigidos, principalmente a resistência mecânica.

Os solos mais apropriados para serem utilizados nas misturas de solo-cimento são aqueles de constituição, predominantemente, arenosa contendo entre 70% de areia e 30% de argila (ABCP, 1985). Outro fator que estes valores podem ser justificados pelo alto teor de finos na mistura, que absorvem muita água, dificultando o processo de hidratação do cimento, diminuindo assim a resistência à compressão dos tijolos (ABCP, 1985).

**Figura 4.** Resistência a compressão simples dos corpos de prova a 28 dias.



Fonte: Autores (2021).

Conforme a Figura 5 são apresentados os resultados do teste de absorção de água para cada traço realizado. Segundo a NBR 8491 (2012), o valor individual não pode ser maior que 22% e a média não pode ser maior que 20% e também confeccionar 3 corpos de prova para cada traço. Para o tijolo vazado de solo-cimento pode-se observar que todos os valores individuais obtidos foram superiores ao indicado pela norma para tijolo solo-cimento, assim como o valor médio da absorção foi de  $(34,90 \pm 0,44)$  %. Observou-se que os tijolos produzidos com 10% são mais porosos, apresentando maior absorção de água, o que irá influenciar sua resistência à compressão. Um fato que contribui muito para essa elevada absorção de água é que o resíduo está organizado em forma de grumos, o que torna os tijolos mais porosos, e, portanto, mais propensos a absorver quantidades maiores de água.

**Figura 5.** Ensaio de absorção dos corpos de prova a 28 dias.



Fonte: Autores (2021).

#### 4. Conclusão

Conclui-se que os tijolos não foram aprovados quanto à os ensaios de compressão simples, absorção de água, limites de liquidez, limite de plasticidade, pois não atendem aos requisitos estabelecidos nas NBR 8491/2012, NBR 10833/2012, em razão da qual o solo utilizado era muito arenoso uma vez que o mesmo possuía material fino como descrito análise granulométrica.

Todos os tratamentos não obtiveram resistência a compressão acima de 2 MPa, sendo que esse valor da resistência é suficiente para garantir a qualidade de blocos de solo-cimento. Outro aspecto importante observado foi que nenhum dos elementos da amostra obteve resistência satisfatória, uma vez que o valor máximo obtido foi de 0,48 MPa e a exigência é de 1,7 MPa para valores individuais, denotando a necessidade de alterações imediatas na composição do tijolo solo cimento. Para o tijolo vazado de solo-cimento pode-se observar que todos os valores individuais obtidos foram superiores ao indicado pela norma para tijolo solo-cimento.

A reutilização de resíduos gerados pela construção civil consiste em um importante aspecto de sustentabilidade, uma vez que insere uma nova ótica destes resíduos e sua reutilização perante toda a sociedade. Como trabalhos futuros realizar a análise do ensaio de lixiviação e solubilização a partir das normas ABNT NBR 10005 e ABNT NBR 10006:2004, estudo de resistência do ensaio a tração e análise da microscopia dos tijolos.

Como sugestão para trabalhos futuros, o desenvolvimento de estudo da viabilidade econômica da construção com tijolos de solo-cimento em comparação aos tradicionais, investigação do índice de vazios e da sua microestrutura e correlacioná-la com a resistência a compressão e também análise do desempenho térmico.

#### Referências

- Milhomem, P. M., da Silva, J. M., & Costa, P. S. (2018). Avaliação das propriedades mecânicas do concreto produzido com resíduo de isoladores elétricos de porcelana. *Revista Eletrônica da Engenharia Civil*, 14(1), 238-247.
- ABCP. (1985). *Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais*. São Paulo.
- ABNT NBR 10833, A. B. (2013). *Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 16416, A. B. (2015). *Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos*. Rio de Janeiro .
- ABNT NBR 16605, A. B. (2017). *Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 5738 Versão Corrigida:2016, A. B. (2015). *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Riode Janeiro.
- ABNT NBR 5739, A. B. (2018). *Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 6118, A. B. (2014). *Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 6459:2017, A. B. (2017). *Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro .
- ABNT NBR 7180, A. B. (2016). *Solo — Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 8492, A. B. (2012). *Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 9778, A. B. (2005). *Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica - Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR NM 53, A. B. (2009). *Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro.
- ACI – 522R-06, A. C. (2006). *Pervious Concrete*.
- Association, PCA - Portland Cement. (1969). *Soil-cement construction handbook*. (42 ed.). Illinois.
- ASTM C1701, A. S. (2015). *Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete*.
- Batezini, R., & Balbo, J. B. (2013). Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves. *Revista Ibracon Estrut. Materiais*, 8(3).

- Batezini, R. (2015). Estudo da condutividade hidráulica com carga constante e variável em concretos permeáveis. *Rev. IBRACON Estrut. Mater.*, 8(3).
- Bechara, L. A. (2017). "Concreto poroso como revestimento de pavimento permeável: alternativa de drenagem urbana não estrutural à região metropolitana de Belém. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, PA.
- Botelho, D. N., & Aguado, R. A. (2020). Concreto permeável: análise de desempenho voltada para pavimentação, a fim de combater inundações em centros urbanos. *Braz. J. of Development*, 18300-18320.
- Botteon, L. M. (2017). *Desenvolvimento e Caracterização de Concreto Permeável para Utilização em Blocos Intertravados para Estacionamentos*. Trabalho de Conclusão de curso, Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- Campos, M. A. (2011). *Análise microestrutural e das propriedades mecânicas e de durabilidade de argamassas e concretos com isoladores elétricos de porcelana*. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Cardoso, E. B., Shimosaka, T. H., Filho, M. P., & Paulazzi, M. (2017). *Obtenção de Concreto Permeável produzido com Agregado*. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia.
- Carvalho, S. A., & Aquino, S. R. (2017). O Modelo de Decrescimento, Crescimento e Desenvolvimento Sustentável. *Revista FSA*, 14(1), 79-105. Committee, A. 5-0. (2006). *Pervious Concrete*. Michigan.
- Estrela, C. (2018). *Metodologia Científica: Ciência, Ensino, Pesquisa*. Artes Médicas.
- Faria, A. C., Santana, J. G., Barbosa, J. M., & Donato, M. (2019). *Pavimento de concreto drenante: estudo da granulometria que favorece a drenagem e que afete o mínimo na resistência*. Balneario Camboriu.
- Ferrão, P. A., & Costa, I. (2010). *Journal of Cleaner Production*, 18, 984-992.
- Grande, F. M. (2003). *Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Holtz, F. C. (2011). "Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Júnior, J. M., Nunes, K. s., Silva, F. M., & Colen, A. G. (2020). Produção de blocos sustentáveis com adição de resíduos para aplicação em construções civis. *Revista Multidebates*, 4.
- Li, J. M. (2009). Design of Previous Recycled Concrete. *Geohunan International Conference – Material Design Construction, Maintenance, and Testinf of paviments*, 195(15), 103-108.
- NBR 12653, A. (2014). *Materiais pozolânicos - Especificação*.
- NBR 16416, A. B. (2015). *Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos*. Rio de Janeiro.
- NBR 8491, A. B. (2012). *Tijolo de solo-cimento — Requisitos*.
- NBR NM 248, A. B. (2003). *Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Novato, F. G. (2019). *Tijolos de adobe de solo-cimento com adição de resíduo de recapagem de pneus*.
- Pinheiros, B. J., & Soares, D. M. (2010). Utilização de solos arenoso para obtenção de tijolos solo-cimento. *cerâmica industrial*(15), 30-36.
- Pinto, T. P. (1980). *Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento*. ABCP, São Paulo.
- Ribeiro, V. A., Werdine, D., Barbosa, L. F., Oliveira, A. F., & Santana, L. P. (2021). Investigação das propriedades do concreto convencional com adição de resíduos de pneu e metacaulim. *Research, Society and Development*, 10(5), p. e2410514463.
- Rizvi, R. T., Henderson, V., & Norris, J. (2010). Evaluating the Use of Recycled Concrete Aggregate in Pervious Concrete Pavement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2164, pp. 132-140.
- Segatini, A. A. (2000). *Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira-SP*. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas.
- Silva, L. S., Nogueira, M. H., Lima, G. K., Cipriano, F. S., & Batista, N. J. (2019). Concreto alternativo com utilização de resíduos de borracha de recauchutagem de pneus para elementos e componentes pré-fabricados. *Revista de Ciência e Tecnologia*, v. 05, pp. 1-19.
- Silva, R. G., Bortoletto, M., Spósito, F. A., Bigotto, S. A., Assunção, C. C., & Albuquerque, M. C. (2019). Concreto permeável: principais características e aplicação em pavimentação. *Anap Brasil Revista Científica*, 12(26), 2-11.
- Tennis, P. D., Leming, M., & Akers, D. (2004). *EB302, pervious concrete pavements*. Illinois.
- Yang, J., & Jiang, G. (2003). Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. *Cement and Concrete Research*, 33, 381-386.
- Zaetang, Y. S. (2016). Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 111, 15-21.
- Zhong, R., & Wille, K. (2015). Material design and characterization of high performance pervious concrete. *Construction And Building Materials*, 98, 51-60.

Zimmermann, M. V., & Zattera, A. J. (2013). Recycling and reuse of waste from electricity distribution networks as reinforcement agents in polymeric composites. *Waste Management*, 33(7), 1667–1674.