

USO DE MATERIAIS RECICLADOS DE PNEUS EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO GEOTÉCNICA

Data de aceite: 01/09/2023

Paulo Henrique Fernandes Cavalcante
Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Solo reforçado;
Resíduos pneumáticos; borracha.

RESUMO: A destinação adequada dos resíduos provenientes de pneus inservíveis tem ganhado enfoque devido às legislações vigentes. Uma solução seria a reciclagem para usos diversos na construção civil. Com base neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo a análise dos efeitos da adição de resíduos de pneus como reforço do solo. Para tal, foram analisadas misturas com diferentes percentagens de pedaços e lascas de borracha. Observou-se uma redução da massa específica aparente seca máxima, aumento do índice de vazios médios, aumento nos valores coesão e redução do ângulo de atrito, como consequência do aumento do teor de borracha. Não foram observados valores de tensão cisalhante de ruptura para as misturas, sendo que para todas as composições o aumento de tensão cisalhante levou ao aumento no deslocamento horizontal. Com base no comportamento observado, a adição de resíduos pneumáticos pode melhorar o desempenho do solo para certa propriedade específica.

ABSTRACT: Proper disposal of wastes from waste tires has gained focus due to current legislation. One solution would be recycling for several uses in construction. Based on this context, this research aimed to analyze the effects of the addition of tire residues as soil reinforcement. For this, mixtures with different percentages of pieces and rubber chips were analyzed. It was observe a reduction of the maximum specific apparent dry mass, increase of the average voids index, increase in cohesion values and reduction of the friction angle, because of the increase of the rubber content. No rupturing shear stress values were observe for the mixtures, and for all the compositions, the shear stress increase led to the increase in horizontal displacement. Based on the observed behavior, the addition of pneumatic wastes can improve the soil performance for a certain specific property.

KEYWORDS: Reinforced soil; Pneumatic waste, rubber.

1 | INTRODUÇÃO

Em virtude da Resolução do CONAMA 258 (1999), a qual determina que empresas fabricantes e importadoras de pneumáticos devem promover uma destinação adequada à pneus inservíveis, tem-se notado, no Brasil, um aumento na preocupação com o destino final destes.

Estudos de reciclagem desses resíduos, para utilização especialmente na construção de obras de contenção, aterros, drenagem e estradas, estão expandindo no país. Este processo leva à redução dos potenciais problemas gerados pelos resíduos pneumáticos: geração de foco e criadouros de vetores, acúmulo de material combustível e poluição ambiental.

Neste trabalho serão analisados os efeitos da aplicação de resíduos de pneus como reforço de solo. Para tal, estes foram adicionados à areia, para potencial uso em aterros, taludes, obras de drenagens, dentre outros. Ensaio laboratoriais foram realizados de modo a determinar as características físicas e mecânicas das seguintes composições: contendo apenas areia (M0%), formada por pedaços e lascas de borracha (M100%) e composta pela mistura solo-borracha nas proporções correspondentes de borracha (M10%, M20%, M30%, M40% e M50%).

2 | CARACTERÍSTICAS

Os pneus são constituídos por borracha, uma malha de aço, arame de aço e tecido de nylon. Dentre as características atrativas da borracha de pneus, para aplicação em obras geotécnicas, destacam-se a grande durabilidade, elevada permeabilidade e o baixo peso específico. Segundo Ahmed & Lovell (1993) e Humphrey *et al.* (1993) em algumas pesquisas já realizadas, o peso específico de pedaços e lascas de pneus, varia entre 2,4 kN/m³ e 7,0 kN/m³, ou seja, 0,1 a 0,4 vezes do peso de solos comuns. Com relação à permeabilidade da borracha, de acordo com Ahmed & Lovell (1993), esta propriedade varia entre 2,0 a 0,75 cm/s.

3 | ESTUDOS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MISTURAS SOLO-BORRACHA

Conforme o ensaio de granulometria (NBR 7181), a areia utilizada classifica-se como uniforme e bem graduada. Já as composições com percentagens de lascas de borrachas apresentaram-se mal graduadas e uniformes. O coeficiente médio de não uniformidade (CNU) para as misturas solo-borracha encontrado foi de 2,27 e o coeficiente de curvatura, 1,47.

A Tabela 1 apresenta os resultados dos índices de vazios máximos e mínimos, conforme NBR 12004 e NBR 12051, respectivamente, das misturas contendo areia, pedaços e lascas de borracha e solo-borracha.

Materiais Geotécnicos		Índice de vazios máximo		Índice de vazios mínimo	
		ϵ_{\max}	$\gamma_{\text{dm}}^{\text{m}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$\epsilon_{\text{m}}^{\text{m}}$	$\gamma_{\text{dm}}^{\text{m}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$
Areia		1,15	1,23	0,67	1,59
Pedacos e lascas de borracha		0,84	0,37	0,49	0,48
Mistura	90% areia + 10% de borracha	1,18	1,15	0,78	1,40
	80% areia + 20% de borracha	0,90	0,92	0,70	1,38
	70% areia + 30% de borracha	0,78	0,73	0,63	1,35
	60% areia + 40% de borracha	0,66	0,56	0,57	1,30
	50% areia + 50% de borracha	0,54	0,42	0,19	1,25

Tabela 1: Índices de vazios e massa específica seca

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de compactação (NBR 7182), das misturas solo-borracha empregadas nesta pesquisa.

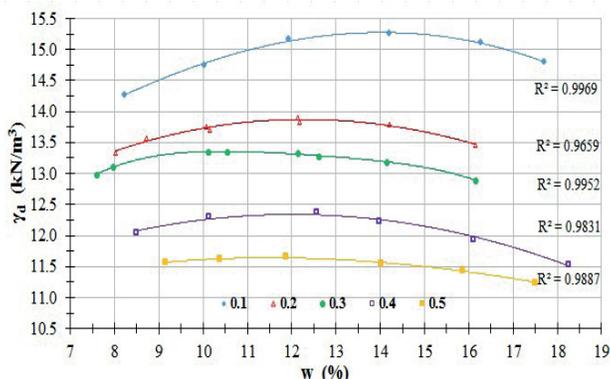


Figura 1: Resultados dos ensaios de compactação

Na Figura 2, encontram-se fotos dos corpos de prova dos ensaios de compactação, conforme o teor de borracha. Nota-se uma predominância de mais trincas nos corpos de provas com teores M30%, M40% e M50%. Já nos corpos de prova com teores M10% e M20% as trincas existentes são menos evidentes.



Figura 2: Corpos de prova com trincas

4 | ESTUDOS DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DAS MISTURAS SOLO-BORRACHA

A Tabela 2 apresenta o resumo dos resultados médios dos ensaios de cisalhamento direto, conforme a norma D 3080 ASTM.

Teor de Borracha	c' (kPa)	ϕ' (°)
M0%	2,80	34,85
M10%	12,84	31,16
M20%	4,62	40,17
M30%	12,30	32,69
M40%	13,77	30,31
M50%	12,09	29,44
M100%	8,87	29,44

Tabela 2: Resultados médios do ensaio de cisalhamento direto

Os gráficos obtidos das variações dos deslocamentos horizontais *versus* tensões cisalhantes estão apresentados na Figura 3 a Figura 9.

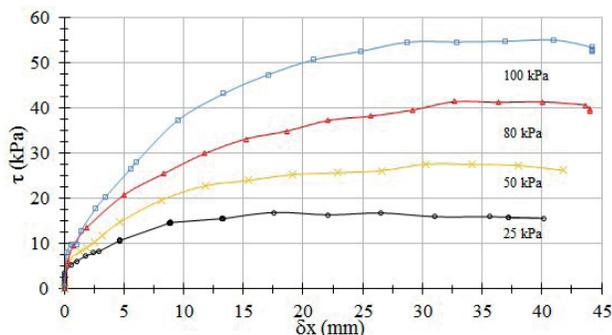


Figura 3: Deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante - M0%

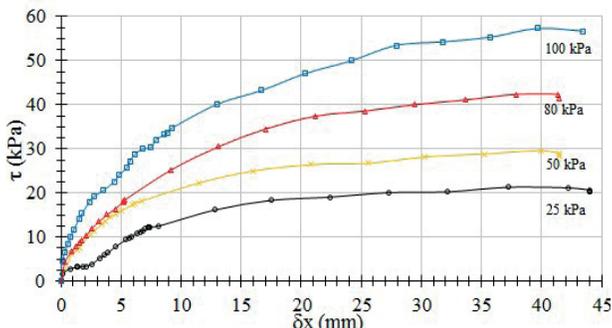


Figura 4: Deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante - M10%

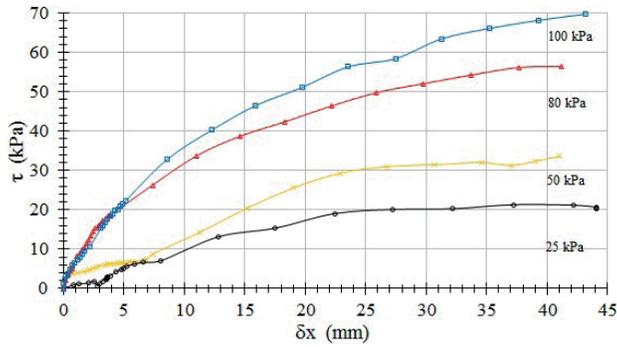


Figura 5: Deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante - M20%

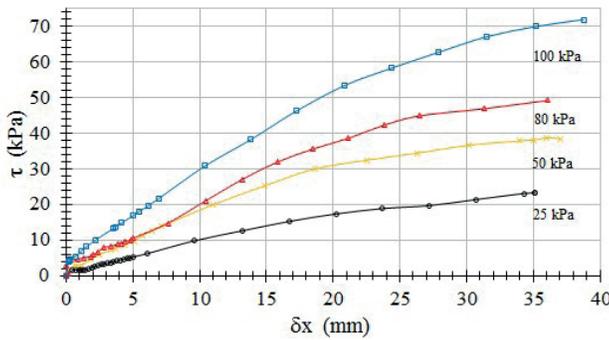


Figura 6: Deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante - M30%

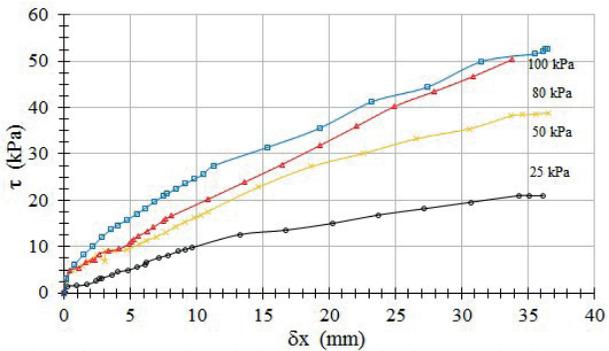


Figura 7: Deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante - M40%

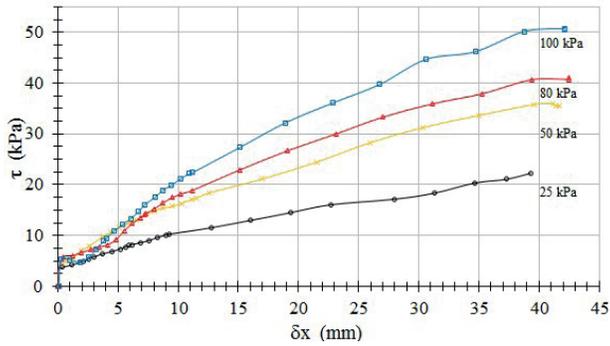


Figura 8: Deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante - M50%

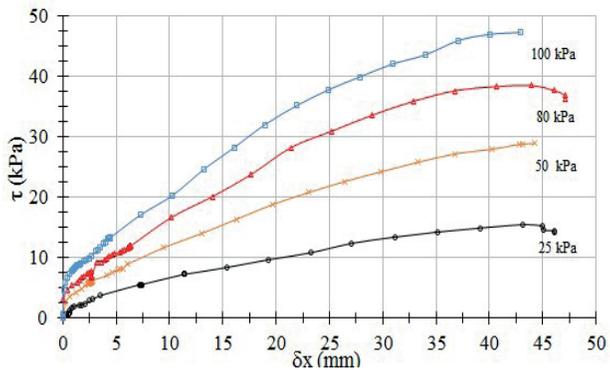


Figura 9: Deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante - M100%

5 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 ÍNDICES FÍSICOS

A partir dos resultados dos ensaios realizados é possível constatar que, conforme o aumento do teor de borracha na mistura solo-borracha ocorreu:

- Redução entre M0% a M50% da massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) média de até 30,9% entre os limites externos, devido à baixa massa específica dos pedaços e lascas de borracha;
- Diminuição da umidade ótima (W_{ot}) média de até 8,0%, entre M10% a M30%, devido ao fato da borracha ser um material leve e de baixa absorção de água;

- Aumento de 25,6% no índice de vazios médio entre M10% a M50%;
- Variação da massa específica dos sólidos equivalentes das misturas com redução de até 32,4% entre M10% a M50%.

5.2 ÍNDICES MECÂNICOS

Ao observar a Tabela 2 e comparar as misturas soloborracha M10% a M50%, com base na tensão confinante de 100 kPa, pode-se constatar que ocorreu:

- Aumento nos valores da coesão de aproximadamente de 320,3%;
- Decréscimo do ângulo de atrito de aproximadamente de 23,0% devido ao aumento do teor de borracha na mistura.

Com os resultados apresentados é possível verificar que ocorreu uma diminuição da tensão de cisalhante máxima de aproximadamente 29,9% à medida que aumenta o teor de borracha na mistura.

A partir das Figuras 3 a 9 é possível verificar:

- Ausência de valores de tensão cisalhante de ruptura (pico de tensão) para as misturas soloborracha;
- Com o aumento da tensão cisalhante ocorreu, proporcionalmente, um aumento do deslocamento horizontal, gerando uma curva crescente até atingir certo nível de tensão cisalhante. Este comportamento se repetiu para cada uma das quatro tensões confinantes. Estes resultados caracterizam um comportamento limitado de deformação para cada mistura sob o efeito de carregamento normal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Figura 10 apresenta uma análise comparativa dos resultados dos ensaios de cisalhamento direto dessa pesquisa com os resultados de outros autores que realizaram estudos semelhantes, com relação ao ângulo de atrito.

Com relação aos resultados dos ensaios de compactação é possível observar um comportamento semelhante aos outros autores pesquisados, conforme Figura 11, que apresenta a variação da massa específica aparente máxima *versus* os teores de borracha. Nessa pesquisa foi utilizado como base de referência o solo sem adição de borracha (M0%) para verificar as tendências de aumento de variação à medida que ocorre o aumento do teor de pedaços e lascas de borracha nas misturas.

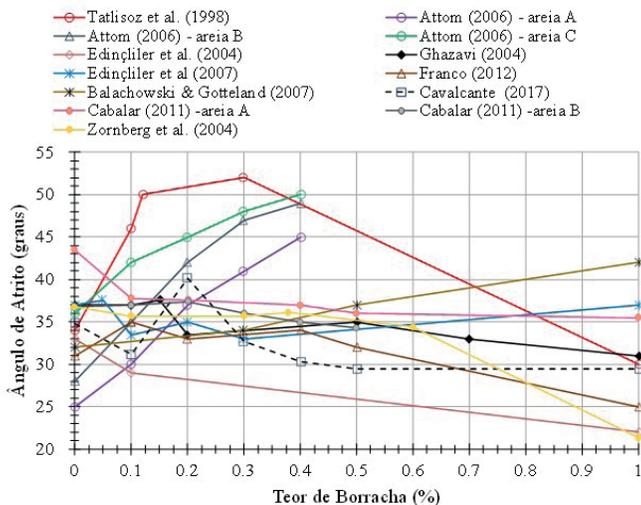


Figura 10: Teor de borracha versus ângulo de atrito

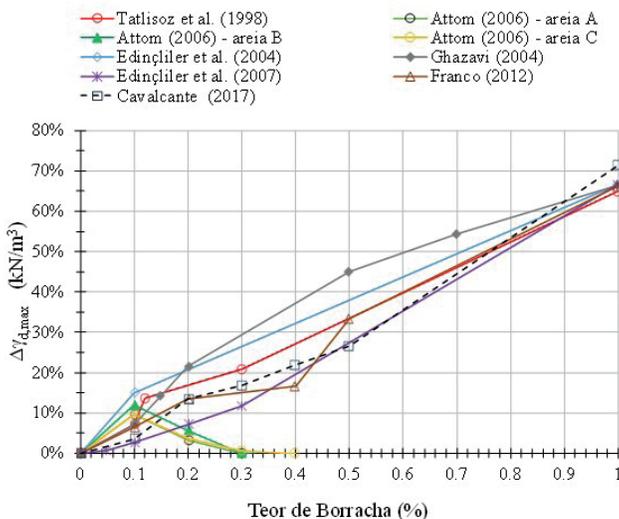


Figura 11: Teor de borracha versus variação da massa específica aparente máxima

REFERÊNCIAS

ABNT (1984). NBR 7.181: Solo – Análise Granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro/RJ, 13 p.

ABNT (1986). NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de

Janeiro/RJ, 10 p.

ABNT (1990). NBR 12004. Solo- Determinação de índice de vazios máximo de solos não-coesivos. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12004, 6 p.

ABNT (1990). NBR 12051. Solo- Determinação de índice de vazios mínimo de solos não-coesivos. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12051, 6 p.

AHMED, I., LOVELL, C. W. (1993). Rubber Soils as Lightweight Geomaterials. Transportation Research Record, 1422: 61-70.

ASTM, (1998). Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. American Society for Testing and Materials – ASTM D 3080, 6p

ATTON, M. F. (2006). The use of shredded waste tires to improve the geotechnical engineering properties of sands. Environ Geol 49: 497-503.

BALACHOWSKI, L. & GOTTELAND, P. (2007).

Characteristics of tyre chips-sand mixtures from triaxial tests. Archives of hydro-engineering and environmental mechanics. Vol 54 (1): 25–36.

CAVALCANTE, P.H. F (2017). Análise do emprego de pedaço se lascas de borracha com misturas granulares com areia. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Geotécnica da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 170 p.

CONAMA (1999). Resolução nº 258/1999. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.ht ml>. Acessado em 21/07/2016.

EDINÇLILER, A., BAYKAL, G., SAYGILI, A. (2004).

Determination of static and dynamic behavior of recycled materials for highways. Resources, conservation and Recycling, 42: 223–237.

EDINÇLILER, A., (2007). Using waste tire–soil mixtures for embankment construction. In: International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials “Opportunities and

Challenges”. Kanto Branch of Japanese Geotechnical Society, Japan, 1: 319–328

FRANCO, K. L. B. (2012). Caracterização do Comportamento Geotécnico de Misturas de Resíduo de Pneu e Solo Laterítico. Dissertação (Mestrado), Programa de Pósgraduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 139 p.

GHAZAVI, M. (2004). Shear strength characteristics of sandmixed with granular rubber. Geotechnical and Geological Engineering, 22: 401–416.

HUMPHREY, D., SANDFORD, T. C. (1993). Lightweight Subgrade Fill and Retaining Wall Backfill. Symposium on

Recovery and Effective Reuse of Discarded Materials and Byproducts for Construction of Highway Facilities Denver, Denver, Colorado, 19-22.

TATLISOZ, N., EDIL, T. B., BENSON, C. H. (1998).

Interaction between reinforcing geosynthetics and soil-tire chip mixtures. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 124 (11): 1109–1119.

ZORNBERG, J. G., CABRAL, A. R., VIRATJANDR, C. (2004). Behaviour of tire shred – sand mixtures. *Canadian Geotechnical Journal*, 41: 227-241.