

ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS XISTOSOS COM RESÍDUOS PLÁSTICOS E FIBRAS DE PNEU

Dinis Gardete¹, Rosa Luzia²

¹ Instituto Politécnico de Castelo Branco, UTC Eng.^a Civil – Castelo Branco, Portugal

email: dgardete@ipcb.pt <https://www.ipcb.pt>

² Instituto Politécnico de Castelo Branco, UTC Eng.^a Civil – Castelo Branco, Portugal

Sumário

Realizou-se a estabilização de duas amostras de solo de origem xistosa com dois resíduos, flocos de PET e fibras têxteis de pneu. As amostras de solo foram caracterizadas e procedeu-se à estabilização com os resíduos, utilizando-se 3 percentagens de incorporação por cada resíduo. A capacidade de suporte foi avaliada utilizando o ensaio CBR. Verificou-se que a massa volúmica seca diminui com a adição dos resíduos. Observaram-se em algumas amostras incrementos no valor do CBR, indicando que a estabilização com resíduos deste tipo pode ser vantajosa.

Palavras-chave: Estabilização de solos; resíduos plásticos; CBR; fibras de pneu

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem e reutilização de resíduos são questões ambientais relevantes, com as taxas observadas a serem inferiores ao desejado. A valorização dos resíduos, com novas soluções para a sua reutilização ou reciclagem pode contribuir para melhorar a situação atual onde as taxas de recuperação e reciclagem ainda são inferiores ao desejado [1]. Estudos realizados com a estabilização de solos com resíduos de plástico indicaram que estes podem incrementar os parâmetros de resistência dos solos [2, 3]. Os resíduos de plástico utilizados são obtidos de embalagens em polietileno de alta densidade, HDPE, tereftalato de polietileno ou PET [4, 5]. As embalagens são cortadas em pequenas tiras ou trituradas. As partículas podem ter forma regular ou irregular e apresentam, em geral, dimensões entre 4 mm e 20 mm de lado [2, 5]. As percentagens de incorporação de resíduos são, em geral, inferiores a 2%, embora alguns estudos tenham utilizado percentagens até 4% [2, 4, 5]. O aumento da resistência ocorre até uma percentagem ótima de incorporação diminuindo a resistência para maiores percentagens de resíduo, situando-se o valor ótimo de incorporação entre 0,5% e 1,5% [5, 6]. O teor ótimo em água pode apresentar variações opostas com a introdução do resíduo plástico, contudo estas variações não são consideráveis [5, 6, 7]. A massa volúmica seca máxima decresce com o aumento da percentagem de resíduo incorporado [8]. A estabilização de solos com fibras, naturais ou sintéticas, é uma técnica comum. Em geral são utilizadas as fibras sintéticas do pneu constituídas essencialmente por Nylon6.6, embora apresentem outros constituintes. A introdução de fibras de pneu pode ter efeitos opostos na resistência dos solos conforme as propriedades destes, oferecendo melhores resultados em solos arenosos [9]. O teor ótimo em água aumenta, embora ligeiramente, e a massa volúmica seca diminui com o incremento da quantidade de fibras incorporadas. Neste trabalho, desenvolvido no âmbito do projeto de fim de ciclo [10, 11] e inserido num conjunto de trabalhos realizados sobre este tema [12, 13], analisou-se a estabilização de solos xistosos, da região de Castelo Branco, com dois resíduos.

2 TRABALHO EXPERIMENTAL

2.1 Caracterização do solo

Neste trabalho realizou-se a estabilização de um solo xistoso com dois resíduos, um obtido por trituração de garrafas de PET e outro formado por fibras sintéticas provenientes do processo de reciclagem de pneus usados. O solo xistoso, embora proveniente do mesmo maciço, foi recolhido em dois locais distintos, constituindo duas

amostras diferenciadas e designadas por SA e SB [10, 11]. Estas amostras foram caracterizadas laboratorialmente. A granulometria das duas amostras apresenta-se na Figura 1.

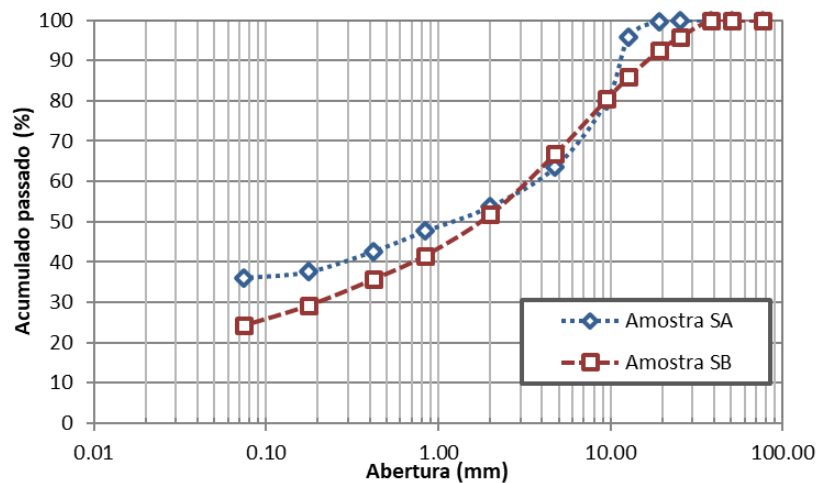


Fig. 1. Granulometria das amostras

Foi realizada a caracterização da fração fina do solo e da sua influência no comportamento deste recorrendo à determinação do limite de liquidez, limite de plasticidade, equivalente de areia e o valor de adsorção do azul de metileno. Os resultados apresentam-se no Quadro 1. Pode observar-se que a amostra SA apresentou uma granulometria mais fina e uma maior influência da fração fina. A classificação de ambas amostras foi semelhante, classificando-se como SC na classificação unificada e A-2-4 (0) na classificação para fins rodoviários.

Quadro 1. Resultados da caracterização da fração fina.

Propriedade	Limite de Plasticidade [%]	Limite de Liquidez [%]	Índice de Plasticidade	Equivalente de Areia	Azul de metileno
			[%]	[%]	VBS [g/100g]
Norma	NP 143	CEN ISO/TS 17892-12	NP 143	LNEC E 199	NF P 94-068
Amostra SA	23,8	35,2	11,4	9,5	1,7
Amostra SB	25,7	34,6	8,9	19,8	1,3

Foi realizado o ensaio de compactação *Proctor* de modo a determinar os valores do teor em água ótimo e da massa volúmica seca máxima (LNEC E 197). O ensaio *Proctor* foi realizado em molde grande com energia de compactação pesada. As curvas de compactação obtidas apresentam-se na Figura 2.

Para a amostra SA obteve-se um teor ótimo em água de 9,3% e uma massa volúmica seca máxima de 1,98 Mg/cm³, enquanto para a amostra SB os valores foram de 7,8% e 2,06 Mg/cm³, respetivamente [10, 11].

2.2 Resíduos utilizados

Os resíduos utilizados têm origens diferentes. Um dos resíduos é formado por fibras sintéticas provenientes do processo de reciclagem de pneus usados. As fibras são separadas do granulado de borracha e apesar do granulado de borracha ter diversas utilizações, as fibras sintéticas que foram utilizadas neste trabalho têm como destino final a inceneração nos fornos de uma cimenteira. As fibras representam cerca de 5 % a 10% do peso dos

pneus usados. São compostas essencialmente por Nylon6.6, existindo outros componentes como Nylon6, Dacron, Rayon ou Aramida [14]. As fibras do pneu apresentam-se na forma de algodão, conhecido por *fluff* devido ao seu aspeto, constituído em cerca de 40% de pequenas fibras têxteis sintéticas. O *fluff* apresenta ainda granulado de borracha e, em menores proporções, fibras metálicas e fibras sintéticas de reforço, Figura 3. O diâmetro das fibras têxteis é de cerca de 18 a 20 μm e o seu comprimento de 3 a 5 mm [15]. As fibras de pneu foram utilizadas na estabilização da amostra SA.

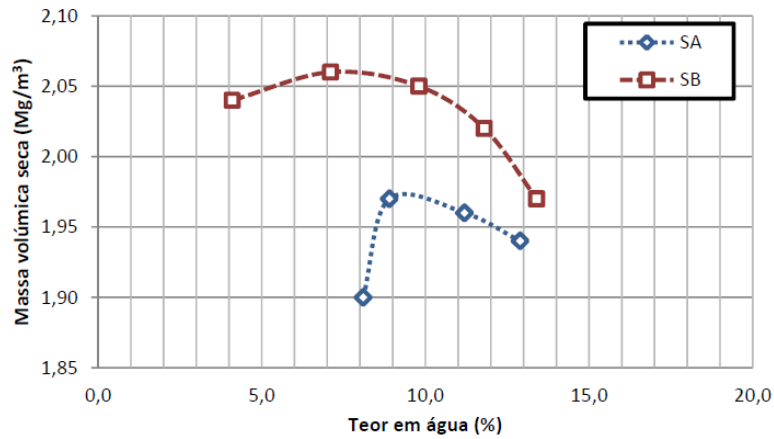


Fig. 2. Curvas de compactação



Fig. 3. Fibras têxteis de pneu, *fluff*

O outro resíduo utilizado é obtido pela trituração de garrafas de PET (ex. garrafas de água), sendo constituído por flocos de plástico de forma irregular e extremamente lamelar, Figura 4. Este tipo de resíduo apresenta um potencial de reciclagem elevado e interesse comercial, pois é constituído apenas por PET transparente. A utilização deste resíduo na estabilização de solos não é interessante, dado o seu valor comercial, contudo os

resultados obtidos podem ter interesse para resíduos semelhantes e com menor potencial de reciclagem. Este resíduo foi utilizado na estabilização da amostra SB. A dimensão dos flocos foi determinada por peneiração, apresentando-se na Figura 5 a curva granulométrica respectiva.



Fig. 4. Flocos de PET

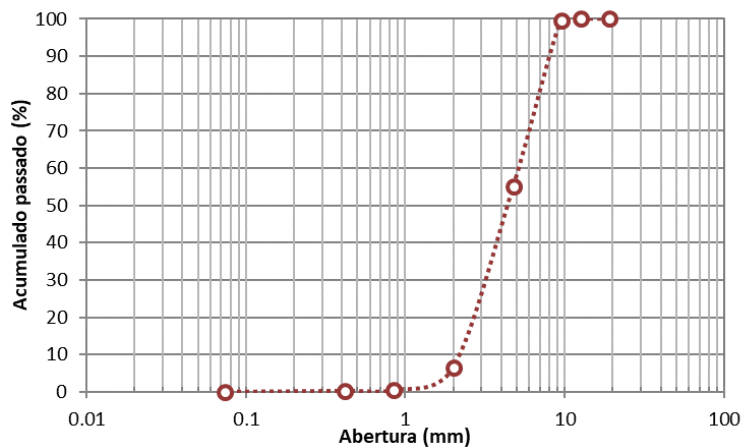


Fig. 5. Curva granulométrica dos flocos de PET [11]

2.3 Estabilização do solo

O solo foi estabilizado adicionando-se o resíduo e água. A água foi adicionada por fases, enquanto se misturava o solo manualmente, até se atingir o teor ótimo em água. A mistura manual continuou até o solo estabilizado apresentar um aspeto homogêneo. Este processo foi mais fácil com os flocos de plástico. Para as fibras de pneu procedeu-se inicialmente à separação manual do *fluff* em pequenos pedaços, observando-se que na fase de mistura a obtenção de uma homogeneidade satisfatória é mais difícil. Utilizaram-se percentagens de flocos de plástico de 1, 2 e 3% (w/wseco). A estabilização com fibras de pneu foi realizada utilizando 0,5%, 1,0% e 1,5% de fibras (w/wseco).

A capacidade resistente do solo foi medida utilizando o ensaio CBR. Os procedimentos seguiram a norma LNEC E 198. Realizaram-se dois provetes por cada percentagem em resíduo. Durante a fase de imersão foi medida a expansão dos provetes de solo estabilizado.

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Observou-se uma diminuição do valor da baridade seca com o incremento da percentagem em resíduo, Figura 6 [10, 11]. Para os flocos de PET a diminuição mostrou um andamento uniforme, obtendo-se 91,4% de compactação relativa para a percentagem mais elevada de resíduo plástico, 3%. Esta diminuição da baridade seca é esperada pois as partículas de resíduo plástico adicionadas apresentam massa volúmica significativamente inferior à apresentada pelas partículas que constituem o solo. Para as fibras de pneu foi igualmente observada uma redução e, apesar de as fibras terem granulado de borracha, que apresenta uma massa volúmica inferior à das partículas de solo, as fibras podem também dificultar a compactação do solo. Para o solo SA sem estabilização, 0% de resíduo, o valor de compactação relativa indicado na Figura 6 é de 98%. Este valor foi obtido nos provetes CBR e é ligeiramente inferior ao obtido no ensaio *Proctor*, considerado 100%, resultando provavelmente de alguma variabilidade expectável nos resultados laboratoriais.

A expansão na fase de imersão do ensaio CBR apresentou tendências distintas, mantendo-se mais regular para o solo SB estabilizado com flocos PET, Figura 7. Para o solo SA estabilizado com fibras de pneu a expansibilidade do solo original apresentou um valor muito elevado. Observou-se uma diminuição com a adição de fibra, mas sem tendência definida.

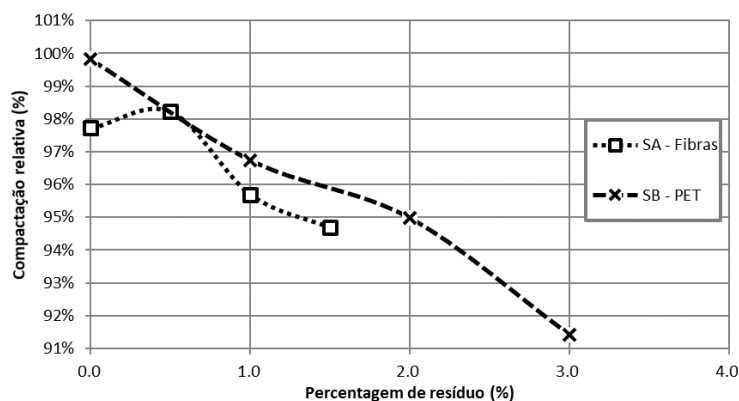


Fig. 6. Variação da compactação relativa com a percentagem de resíduo

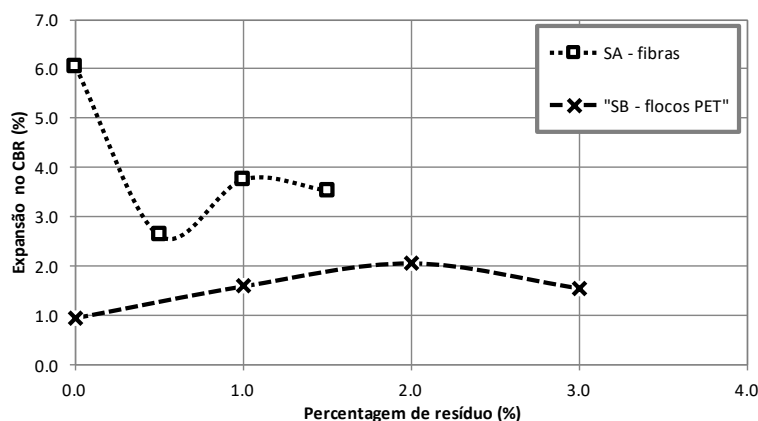


Fig. 7. Variação da expansão relativa no CBR com a percentagem de resíduo

Apresentam-se na Figura 8 as curvas Força-Penetração, não corrigidas, obtidas no ensaio de CBR, para a amostra SA estabilizada com as fibras de pneu [10]. A série correspondente a 0% de fibras refere-se ao solo original sem estabilização. Pode observar-se que a adição de fibras obteve um efeito positivo na resistência do solo, com todas as percentagens de incorporação de fibras a apresentarem melhor desempenho no ensaio que o solo original. A diferença no desempenho aumenta com o valor da penetração. Para a amostra SB obtiveram-se valores de resistência no ensaio CBR significativamente superiores aos da amostra SA, Figura 9. Este facto pode estar relacionado com a maior massa volúmica seca obtida para este solo. Embora tenham a mesma origem geológica os valores de compactação e resistência das duas amostras apresentam diferenças consideráveis. Observa-se uma dispersão significativa nos resultados obtidos nos provetes da série 0%, sem estabilização. Os melhores resultados foram obtidos para a série com 2% flocos PET, enquanto para 1% e 3% de incorporação de flocos PET o comportamento no ensaio CBR foi semelhante [11].

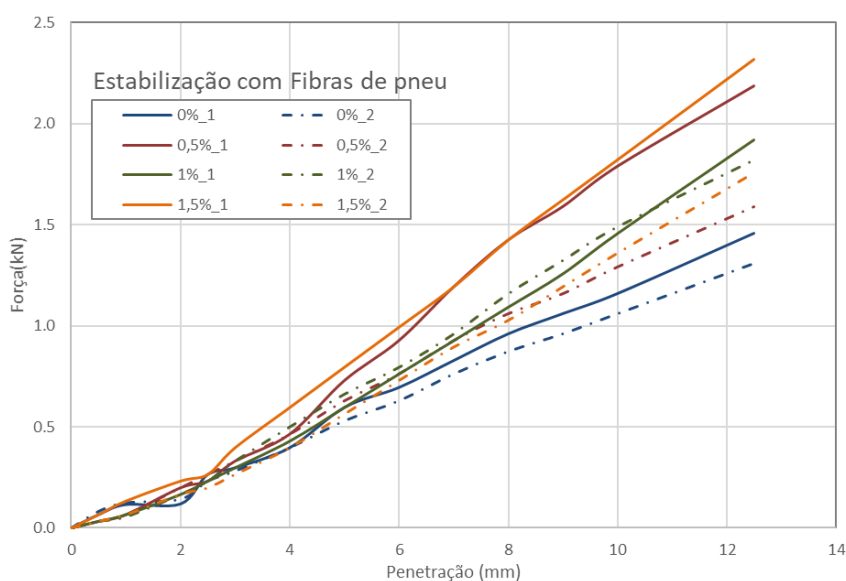


Fig. 8. Curvas Força-Penetração para a amostra SA estabilizada com fibras têxteis de pneu

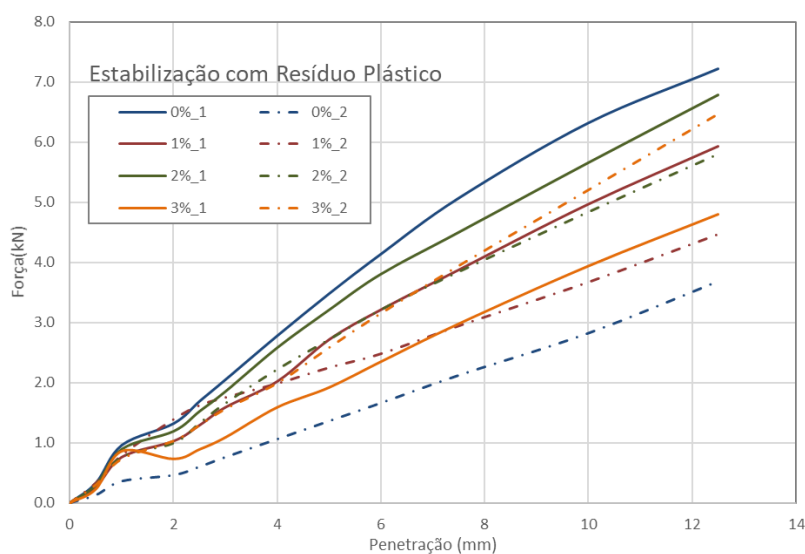


Fig. 9. Curvas Força-Penetração para a amostra SB estabilizada com flocos PET

Como consequência do referido para as curvas de compactação, os valores de CBR da amostra SA foram muito inferiores aos obtidos para a amostra SB. Observa-se um incremento dos valores de CBR com a adição de fibras, mais evidente para os valores de CBR determinados para uma penetração de 5,0 mm, podendo indicar que a ação das fibras necessita que existam deformações apreciáveis na matriz de solo, Figura 10. Apesar de os valores de CBR serem baixos verificou-se um incremento destes com a estabilização com fibras, observando-se um aumento de 100% nos valores do CBR_{2,5} e de 70% nos valores do CBR_{5,0} para as séries com incorporação de 1,5% de fibras [10].

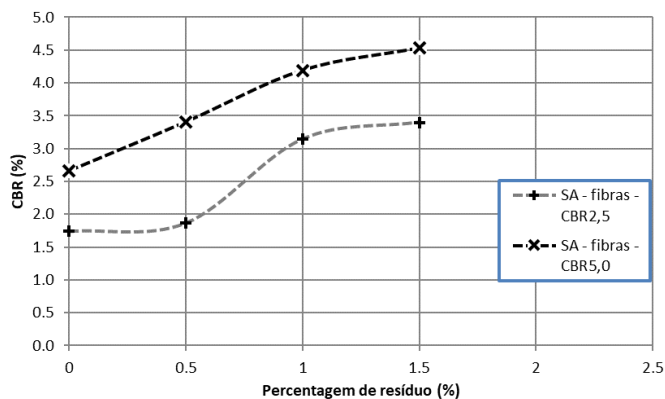


Fig. 10. Valores CBR para a amostra SA estabilizada com fibras têxteis de pneu

A amostra SB apresentou valores do CBR sem estabilização consideravelmente mais elevados que a amostra SA. A estabilização com flocos de PET permitiu incrementar os valores de CBR para 1% e 2% de incorporação, diminuindo o valor de CBR para 3%, Figura 11. Os melhores resultados foram obtidos para 2% de incorporação de resíduo, com um aumento de 24% nos valores do CBR_{2,5} e 22% nos valores do CBR_{5,0} [11].

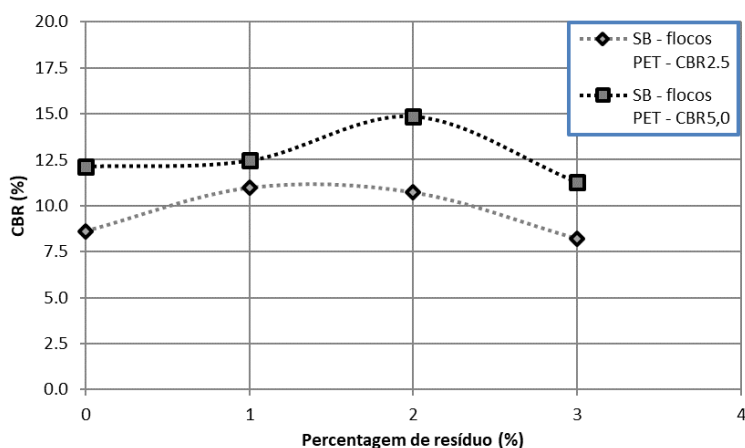


Fig. 11. Valores do CBR para a amostra SB estabilizada com flocos PET

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho utilizaram-se dois resíduos provenientes da trituração de garrafas PET e da reciclagem de pneus. Estes foram utilizados para estabilizar duas amostras retiradas de um maciço xistoso. Embora com a mesma origem, as amostras foram retiradas em localizações distintas e apresentaram características diversas. Ambas as amostras foram classificadas como SM e A-2-4. Do trabalho realizado observou-se:

- Os resíduos apresentam características muito distintas, com ações diferentes ao nível da interação com a matriz do solo. Observou-se maior facilidade de realizar a mistura com os flocos PET.

- A estabilização com ambos os resíduos conduziu a uma diminuição da massa volúmica seca com o aumento da percentagem em resíduo. Não se observaram tendências muito evidentes na expansão durante o ensaio CBR. A estabilização com fibras têxteis de pneu reduziu a expansibilidade da amostra original do solo, enquanto a estabilização com flocos PET provocou um ligeiro aumento da expansão. Apesar de as percentagens em fibras terem sido menores a sua dispersão é mais difícil podendo ser difícil obter misturas homogêneas para percentagens mais elevadas.

- Observou-se um incremento dos valores do CBR com a estabilização. Na estabilização com fibras têxteis de pneu o incremento ocorreu para todas as percentagens de fibras utilizadas. A estabilização com flocos PET obteve melhores resultados para 2% de incorporação, incrementando os valores do CBR_{2,5} e CBR_{5,0}, diminuindo os valores destes parâmetros para percentagens de incorporação superiores.

A utilização de resíduos plásticos para reforço de solos pode ser uma forma alternativa para promover a sua valorização. É uma forma de estabilização de baixo custo permitindo obter benefícios significativos na resistência dos solos. Contudo, deve considerar-se que este tipo de estabilização pode apresentar obstáculos no fim da vida útil do projeto em caso de remoção dos solos.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Ecoibéria-reciclados Ibéricos, S.A. por ter fornecido os flocos de PET e à empresa Biogoma - Sociedade de Reciclagem de Pneus Lda por ter fornecido as fibras têxteis de pneu. Agradecem especialmente aos estudantes César Vilarinho, Maria de Fátima Figueiredo, Ana Pacheco e Patrícia Sousa pela sua dedicação na realização dos ensaios laboratoriais.

6 REFERÊNCIAS

1. Eurostat, Packaging waste statistics, *European Commission*. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Packaging_waste_statistics#Recycling_and_recovery_targets (5/11/2016).
2. A. Choudhary, J. Jha, K. Gill, A Study on CBR Behavior of Waste Plastic Strip Reinforced Soil, *Emirates Journal of Engineering Research*, 15, pp 51-57, 2010.
3. R. Nagle, R. Jain, A. Shinghi, Comparative Study of CBR of Soil, Reinforced with Natural Waste Plastic Material, *International Journal of Engineering & Science Research*, Vol-4 Issue 6, pp. 304-308, 2014.
4. P. Rawat, A. Kumar, Study of CBR Behaviour of Soil Reinforced with HDPE Strips. *Indian Proceedings of the Geotechnical Conference IGC2016*, IIT Madras, Chennai, India 15-17 December, 2016.
5. B. Paramkusam, A. Prasad, C. Arya, A Study on Cbr Behavior of Waste Plastic (PET) on Stabilized Red Mud and Fly Ash, *Int. J. Struct. & Civil Engg. Res.*, 2013.
6. J. Singh, V. Sonthwal, J. Rattan, Review on Improvement of Engineering Properties of soil Using Waste Plastic Bottles Strips (Polyethylene Terephthalate), *International Journal on Emerging Technologies*, 8(1):01-04, 2017.
7. J. Kalliyath, J. Joy, J. Paul, A. Vadakkal, Soil Stabilization Using Plastic Fibers, *International Journal of Science Technology & Engineering*, Volume 2 Issue 12, 2016.
8. T. Damion, M. Ashique, P. Varkey, P. Keerthi, S. George, Use of Plastic Bottle Strips as an Admixture in the Soil Sub-grade for Road Construction, *International Research Journal of Engineering and Technology*, Volume: 03 Issue: 04, 2016.
9. M. Abbaspour, E. Aflaki, F. Nejad, Reuse of waste tire textile fibers as soil reinforcement, *Journal of Cleaner Production*, Volume 207, 1059-1071, 2019.
10. A. Pacheco, P. Sousa, Estudo da resistência de um solo reforçado com fibras provenientes de pneus, Projeto de Fim de Curso, Instituto Politécnico de Castelo Branco, 2017.

11. C. Vilarinho, M. Figueiredo, Melhoramento de um solo xistoso com resíduos de plástico, Projeto de Fim de Curso, Instituto Politécnico de Castelo Branco, 2017.
12. M. Sousa, D. Gardete, R. Luzia Utilização de resíduos de plástico no melhoramento de solos para aterros rodoviários, *Atas do 8º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia*, 4 a 8 de setembro, Maputo, 2017.
13. D. Gardete, R. Luzia, Construction and demolition waste use in road construction - issues arising from construction practice in Portugal. *International Scientific-Technical Conference: Prospects of Road Transport and Engineering - Communicative Infrastructure*, November 24 and 25, Tashkent, 2017.
14. D. Landi, S. Gigli, M. Germani, M. Marconi, Investigating the feasibility of a reuse scenario for textile fibres recovered from end-of-life tyres, *Waste Management* 75 187–20, 2018.
15. O. Onuaguluchi, B. Nemkumar, Durability performance of polymeric scrap tire fibers and its reinforced cement mortar, *Materials and Structures*, 50:158, 2017.