

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UM SOLO REFORÇADO COM FIBRAS EM CARREGAMENTO ESTÁTICO E CÍCLICO, DE MUITO PEQUENAS A GRANDES DEFORMAÇÕES

ASSESSMENT OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF FIBER REINFORCED SOIL IN STATIC AND CYCLIC LOADING CONDITIONS, FROM VERY SMALL TO LARGE STRAINS

Pereira, Cláudio; *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*, cpereira@civil.uminho.pt

Ferreira, Cristiana; *Universidade do Porto, Porto, Portugal*, cristiana@fe.up.pt

Carvalho, Raquel; *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*, raquelcarvalho@det.uminho.pt

Gomes Correia, António; *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*, agc@civil.uminho.pt

RESUMO

A utilização de fibras como solução de reforço de solos é reconhecida actualmente como uma técnica eficaz na melhoria das características de resistência e rigidez. Ao longo dos anos, os estudos realizados permitiram compreender a relação solo/fibras na melhoria do comportamento mecânico para gamas de deformação próximas da rotura. Porém, tem sido dispensada pouca atenção no que diz respeito à avaliação do comportamento mecânico e à determinação da rigidez no âmbito das muito pequenas deformações. Assim, este estudo visa identificar a influência de diferentes percentagens de fibras, bem como do uso de malhas de fibras orientadas, na resposta mecânica de um solo reforçado com fibras, numa gama variada de deformações. Para o efeito, foram realizados ensaios de compressão uniaxial e cíclica num solo residual granítico reforçado com fibras, com medições da velocidade das ondas sísmicas com recurso a *bender elements* e acelerómetros. Foi ainda realizado um estudo comparativo entre o uso de fibras orientadas aleatoriamente e em malha quadrada entre 0° e 90°.

ABSTRACT

The use of fibres for soil reinforcement is currently recognised as an effective technique in the improvement of the strength and stiffness properties of soils. Along the years, several studies have focused on the soil/fiber ratio for the improvement of the mechanical behavior of the soil for large strains, near failure. However, little attention has been given to the assessment of the mechanical behaviour and stiffness of the reinforced soil at very small strains. This paper aims to address this issue, by investigating the influence of different fiber percentages, as well as the use of oriented fiber meshes on the mechanical response of the reinforced soil for a wide range of strains. For this purpose, uniaxial static and cyclic compression tests were performed on a granitic residual soil, reinforced with fibers, together with measurements of seismic wave velocities by means of *bender elements* and accelerometers. A comparative study was also performed between randomly oriented fibers and square 0° to 90° oriented fiber meshes.

1 - INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, questões económicas e ambientais têm motivado a procura e o desenvolvimento de soluções construtivas alternativas que satisfaçam as exigências da engenharia geotécnica. Cada vez que o solo natural não cumpre os requisitos de projecto, é necessário considerar como alternativa, a melhoria do seu comportamento mecânico. Assim, a adição de fibras com o objectivo de alterar e melhorar as propriedades mecânicas do solo tem sido alvo de forte atenção por parte da comunidade científica, apresentando-se como uma alternativa eficaz e ecológica aos métodos convencionais de reforço e melhoria das capacidades mecânicas dos solos (Montardo, 2001).

Resultados experimentais mostram que a adição de fibras confere um comportamento reológico singular à mistura solo-fibras - quando comparados com o solo natural -, reflectindo-se num aumento da capacidade de carga e na redução da compressibilidade. Acresce o facto de as fibras, como elemento de reforço, impedirem a formação de fissuras e actuarem no controlo e propagação destas (Casagrande, 2001).

A quantidade de fibras, a sua geometria, tipo de solo e energia de compactação, são alguns dos parâmetros que influenciam o desempenho das misturas solo-fibras (Bueno e Lima, 1997). É de notar que a definição da percentagem de fibras de cada mistura depende naturalmente não só do tipo de solo, mas também da finalidade da mistura, isto é, da sua utilização (Teixeira et al., 1995).

Dos vários tipos de fibras utilizados neste tipo de reforço, assumem maior destaque as fibras em polipropileno (Feuerharmel, 2000), polietileno tereftalato (PET) (Carbonieri et al, 1999), resíduos de borracha de pneus (Cappi, 2004) ou as fibras de carácter natural como o sisal (Leocádio, 2005), bambu ou coco (Cabala, 2007; Sotomayor & Casagrande, 2015). Os estudos até aqui realizados permitiram na sua essência, compreender a relação solo/fibras na melhoria do comportamento mecânico para gamas de deformação próximas da rotura. Mais recentemente, através do aparecimento e desenvolvimento de novas técnicas de laboratório mais sofisticadas, tem sido dada especial atenção à obtenção de parâmetros de deformabilidade, apropriados para as zonas de deformação representativas do bom comportamento das estruturas (Gomes Correia, 2004). Neste contexto, a medição da velocidade de propagação de ondas sísmicas, através da utilização de transdutores piezoelétricos, como os *bender elements* e acelerómetros, tem-se revelado uma ferramenta útil na determinação da rigidez de geomateriais em laboratório (Pereira et al., 2015).

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência que diferentes percentagens de fibras, bem como o uso de malhas de fibras orientadas, têm no comportamento mecânico do solo reforçado com fibras, numa gama variada de deformações. Para o efeito, foram realizados ensaios de compressão uniaxial e cíclica num solo residual granítico reforçado com fibras de sisal, com medições da velocidade das ondas sísmicas com recurso a *bender elements* e acelerómetros. Adicionalmente, foi ainda realizado um estudo comparativo entre o uso de fibras orientadas aleatoriamente e em malha quadrada a 0° e 90°.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme referido anteriormente, para a realização dos ensaios foi utilizado um solo residual granítico (classificado como areia siltosa SM, de acordo com a Classificação Unificada dos solos da ASTM) da região de Guimarães – Norte de Portugal, submetido a um conjunto de ensaios de caracterização física. Na Figura 1 pode observar-se a curva granulométrica e respectiva curva de compactação (Proctor Modificado) obtida de acordo com a especificação LNEC E197-1966. No Quadro 1 é apresentado um resumo dos valores para os limites de Atterberg (de acordo com a Norma NP143-1969) e o peso específico das partículas sólidas (de acordo com a Norma NP83-1965).

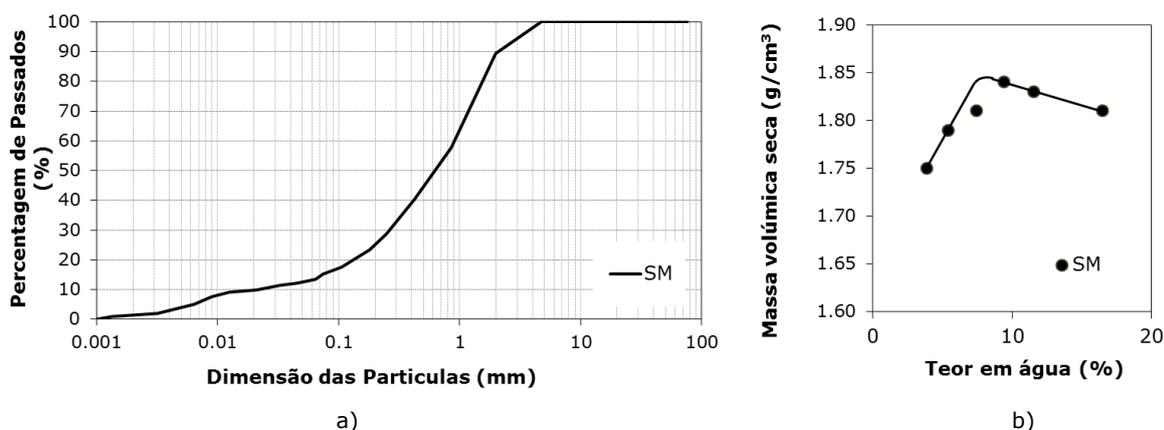


Figura 1 – a) Curva granulométrica; b) Curva de compactação

Quadro 1- Propriedades físicas-índice: limites de Atterberg e densidade das partículas sólidas

Material	Limites Atterberg (%)			Densidade das partículas sólidas
	W _L	W _P	W _S	G _S
SM	30	NP	26	2.62

O reforço do solo residual granítico foi feito com recurso a fibras de sisal. De origem natural, o sisal é uma fibra derivada da folha de uma planta classificada dentro da família *Agavaceae* da espécie *Agave sisalana*, considerada como indígena da América Central e do Sul (Akin, 2010). Na Figura 2 pode observar-se os dois tipos de fibras de sisal utilizadas neste estudo: dispostas aleatoriamente e orientadas a 0° e 90° em malha quadrada.

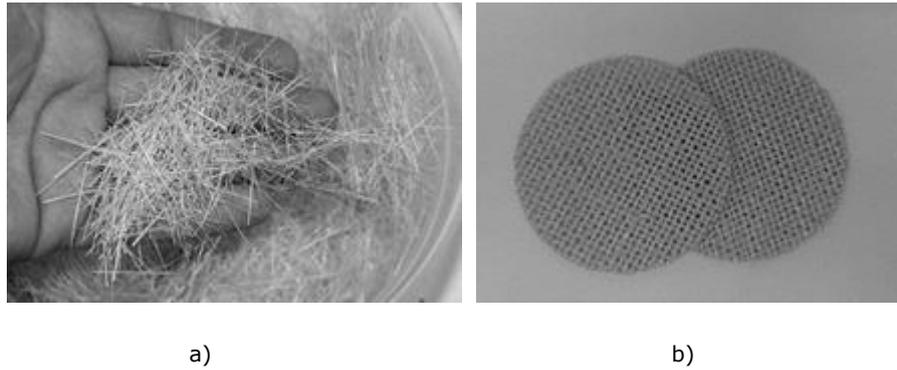


Figura 2 – a) Fibras de sisal aleatórias; b) Malha quadrada de fibras de sisal a 0° e 90°.

A preparação dos provetes de solo-fibra foi executada de acordo com um conjunto de pressupostos, que se apresentam de seguida. As proporções da mistura solo-fibras por massa compreenderam a percentagem de fibras (de acordo com os ensaios efectuados) e um teor em água de 12%, medidos em termos de massa seca de solo residual granítico. Assim, a densidade máxima para a mistura solo-fibras foi de 1710kg/m^3 - valor obtido no ensaio de Proctor. O processo de mistura foi realizado num misturador com 150L de capacidade e uma velocidade de rotação de 17rot/min. O processo de mistura compreendeu os seguintes passos: com o misturador parado, o solo residual foi colocado no interior do recipiente misturador; seguidamente, o misturador foi ligado e as fibras imediatamente adicionadas; passados 2 minutos, adicionou-se a quantidade prevista de água, e o misturador operou de forma contínua durante mais 5 minutos.

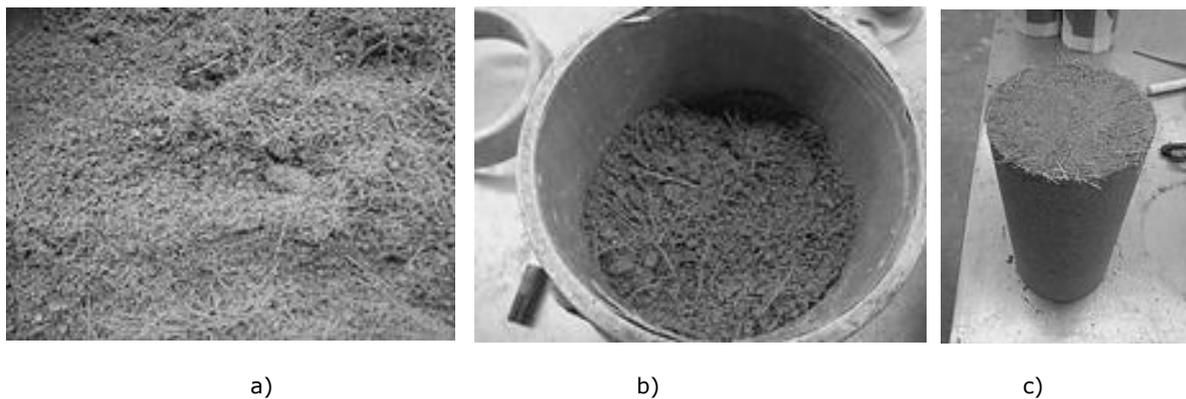


Figura 3 – a) Mistura solo-fibras; b) Preparação do provete; c) Vista geral de um provete solo-fibras

Na Figura 4 estão apresentadas as diferentes configurações de provetes ensaiados. Para a configuração de ensaio P1 foram ensaiados 5 provetes, enquanto que para as restantes configurações (P2 a P6), foram ensaiados 3 provetes. Todos os provetes ensaiados eram de geometria cilíndrica, aproximadamente com 100 mm de diâmetro (D) e 200 mm de altura (H). No Quadro 2, estão resumidas as propriedades físicas dos provetes ensaiados.

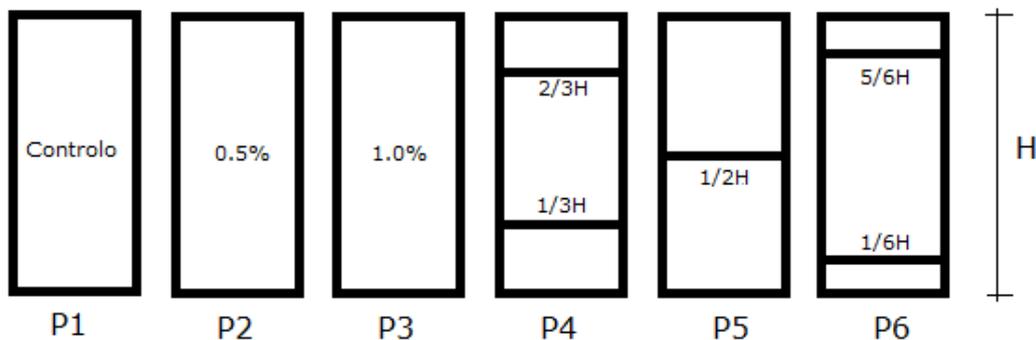


Figura 4 – Diferentes configurações de provetes ensaiados

Quadro 2- Resumo das propriedades físicas dos provetes ensaiados

Provete	Altura H (mm)	Diâmetro D (mm)	Peso específico (kg/m ³)	Percentagem de fibras (%) ou localização da malha	Teor em água (%)
P1A	201.9	99.7	1699	...	10.8
P1C	201.9	99.3	1714	...	
P1D	202.8	99.2	1697	...	
P1E	202.4	98.8	1718	...	12.3
P1F	202.5	99.2	1697	...	
P2A	202.1	99.4	1718	0.5	12.2
P2B	202.1	99.3	1707	0.5	
P2C	203.4	99.2	1739	0.5	
P3A	203.8	99.5	1678	1.0	12.7
P3B	202.7	99.7	1696	1.0	
P3C	203.4	99.6	1729	1.0	
P4A	203.2	99.3	1743	1/3H e 2/3H	11.8
P4B	203.3	99.1	1752	1/3H e 2/3H	
P4C	203.4	99.3	1795	1/3H e 2/3H	
P5A	201.9	99.2	1742	1/2H	12.0
P5B	202.9	99.2	1721	1/2H	
P5C	201.3	99.2	1763	1/2H	
P6A	203.3	99.3	1741	1/6h e 5/6H	11.8
P6B	204.3	99.0	1721	1/6h e 5/6H	
P6C	203.7	99.2	1763	1/6h e 5/6H	

Em cada um dos provetes foram realizados ensaios de compressão uniaxial e cíclica (UCC) e ainda medições da velocidade das ondas sísmicas com recurso a *bender elements* (BE) e acelerómetros (AC). No que concerne ao sistema de ensaio utilizado para a medição da velocidade das ondas sísmicas – primeiro dos ensaios a ser realizado –, o mesmo contemplou um par de *bender/extend elements* produzidos pela GDS e que permitem medir em simultâneo a velocidade das ondas S e P (GDS, 2015). Os acelerómetros piezoelétricos utilizados, da Brüel & Kjær, tipo 4513-001, têm uma sensibilidade de 100mV/g, uma gama de medida de $\pm 50g$ e uma gama de frequência que varia entre 1Hz e 10kHz. Possuem dimensões de 12.7mm de diâmetro, 15.65mm de altura e cerca de 9g de peso. A fixação ao provete é realizada com recurso a pivôs de cabeça roscada introduzidos no provete (mais detalhes em Martins, 2011), como mostra a Figura 5b. A utilização combinada de BE e AC apresenta vantagens ao nível da redundância das medições conforme discutido em Ferreira et al., (2013).

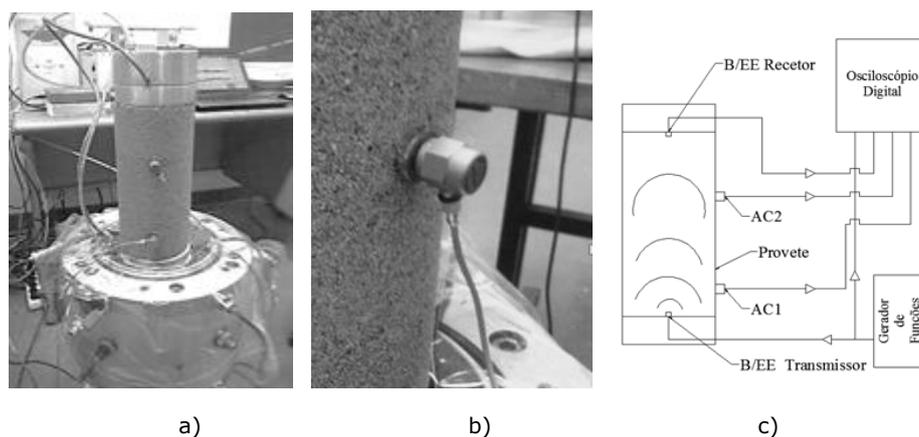


Figura 5 – a) Medição da velocidade das ondas sísmicas com recurso a *bender elements* e acelerómetros; b) Detalhe do acelerómetro fixo ao provete; c) Configuração do sistema utilizado (adaptado de Pereira et al., 2015).

O princípio de funcionamento do sistema utilizado consiste num gerador de funções (Huntingdon TG2511) que excita o BE transmissor com um sinal elétrico, produzindo vibrações de corte (onda S) ou compressão-extensão (onda P) na base do provete, e que se propagam através do mesmo. O BE recetor, em conjunto com o par de acelerómetros, é sujeito a essas vibrações que, por sua vez, são convertidas em sinais elétricos, gerando um sinal de saída. Estes sinais são posteriormente recolhidos por um

osciloscópio digital (Picoscope 4424 da Pico Technology). Todo este processo é controlado em tempo real com o auxílio do software de análise de sinal da PicoScope (versão 6.7.40.1).

No presente artigo é apenas abordada a medição das ondas de corte sendo que, na análise destas, foi apenas adotada como metodologia de interpretação, o método de medição direta da primeira chegada da onda (no domínio do tempo, DT) e o método de varrimento de frequências (no domínio da frequência, FD) (mais detalhes em Pereira et al., 2014). Após a determinação da velocidade das ondas de corte (V_S) o cálculo do módulo de distorção (G_0) é feito com recurso às equações 1 e 2, onde ρ é a massa volúmica do solo.

$$V_S = \frac{L_{tt}}{t_t} \quad [1]$$

$$G_0 = \rho \times V_S^2 \quad [2]$$

Posteriormente foram realizados ensaios UCC com o objectivo de quantificar o módulo de deformabilidade (E) dos provetes. Na ausência de regulamentação específica para a realização deste tipo de ensaios, a definição da gama de deformações foi feita com base em trabalhos anteriores. De acordo com Gomes Correia (2004) e Gomes Correia *et al.* (2006, 2009), a amplitude dos ciclos de carga e descarga deve ser pequena o suficiente por forma a assegurar que, os ciclos de resposta sejam fechados, quase lineares e que as deformações ocorram até 10^{-4} . Os ensaios foram realizados em provetes com diferentes características e o nível máximo de tensão utilizado foi estimado e ajustado de maneira a corresponder a 10% da tensão de rotura, e aplicada uma velocidade de carregamento de 30N/s. O *setup* deste ensaio envolveu a aplicação de uma pré-carga inicial correspondente à pré-carga mínima do sistema e posteriormente a aplicação de forma contínua de 20 ciclos de carga de igual amplitude.

O equipamento utilizado nos ensaios UCC envolveu um atuador hidráulico de 50kN e uma célula de carga (Figura 7a). A medição das deformações foi feita com recurso a 3 transdutores (LVDT), apoiados em dois anéis fixos aos provetes (Figura 7b e c). A resposta tensão-deformação em todos os ensaios UCC foi linear, com coeficientes de correlação R^2 superiores a 0,929 e o nível máximo de deformação em torno de 2×10^{-4} , isto é, dentro do domínio das muito pequenas deformações. A título de exemplo, na Figura 8 pode observar-se uma curva de tensão-deformação típica obtida nestes ensaios. Todos os provetes foram posteriormente levados a rotura, tendo-se determinado a tensão máxima de rotura.

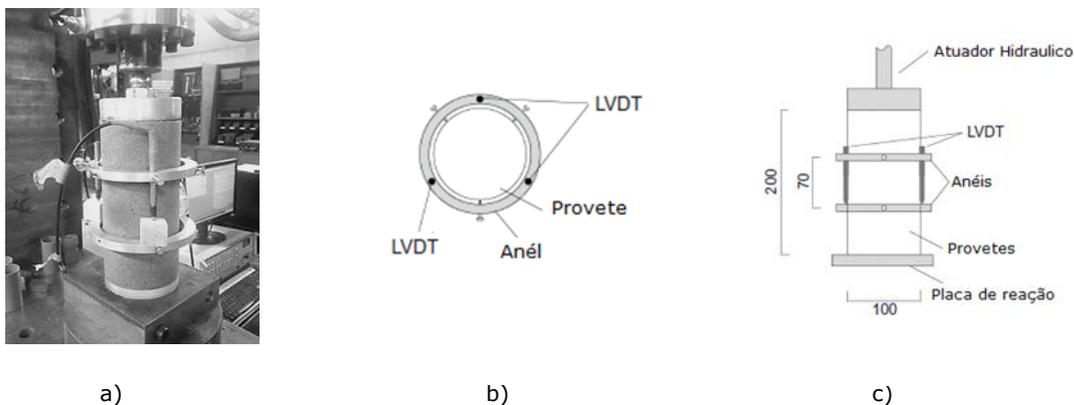


Figura 7 – a) Vista geral do *setup* do ensaio UCC; b) Vista superior da fixação dos LVDTs aos anéis no ensaio UCC; c) Vista lateral da fixação dos LVDTs aos anéis no ensaio UCC (adaptado de Silva et al., 2011)

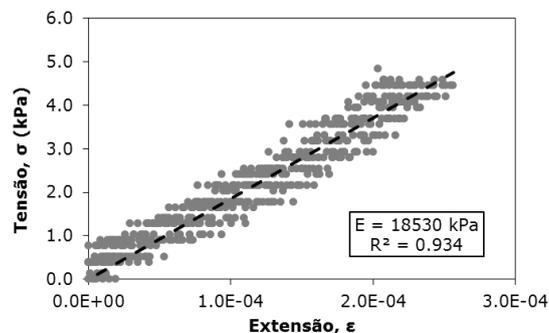


Figura 8 – Curva tensão-deformação obtida no ensaio UCC para o provete P1A (1% de fibras)

3 - RESULTADOS

A Figura 9 apresenta a média dos resultados obtidos em cada uma das diferentes configurações de ensaio onde o valor máximo do coeficiente de variação obtido foi de 26%. Conforme referido anteriormente, a medição da velocidade das ondas de corte foi feita através do método de medição direta da primeira chegada da onda (TD) (Figura 9a) e do método de varrimento de frequências (FD) (Figura 9b). Assim, os resultados obtidos indicam que a presença das fibras não provocou variações significativas da rigidez, como se pode constatar nos valores obtidos para o módulo de distorção inicial (G_0). Os resultados apontam ainda para a inexistência de grandes diferenças nos valores de rigidez obtidos para os diferentes sensores. Essa homogeneidade nos valores da rigidez torna-se mais evidente nos resultados obtidos com o método de varrimento de frequências.

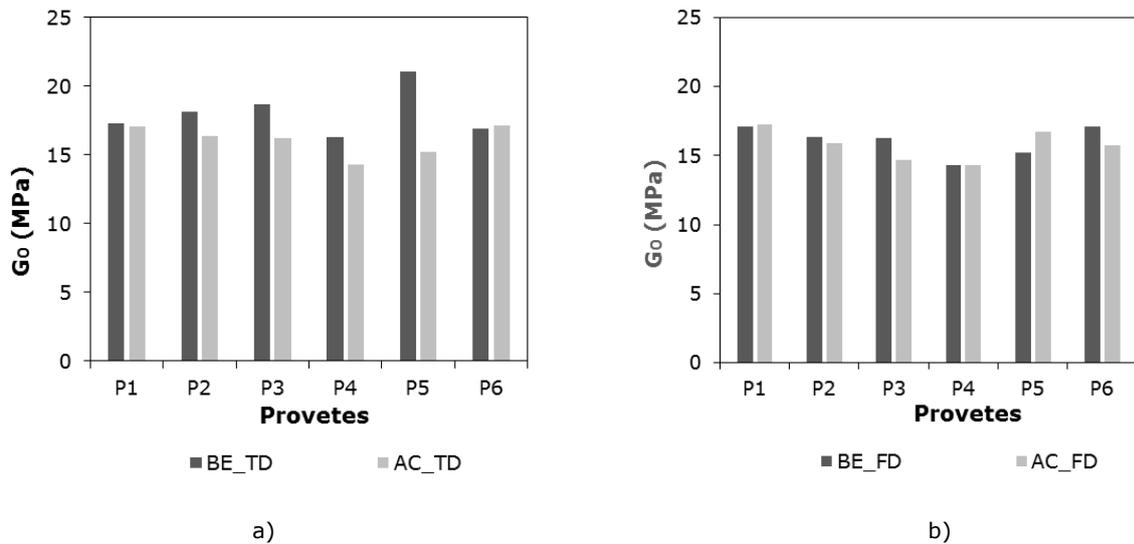


Figura 9 – a) Método de medição direta da primeira chegada da onda (TD) – *Bender Elements* (BE) vs. Acelerómetros (AC); b) Método de varrimento de frequências (FD) – *Bender Elements* (BE) vs. Acelerómetros (AC).

Os ensaios de compressão cíclica (UCC) apresentados na Figura 10 mostram que, na gama de deformações interessada, a presença dos discos de fibras orientadas próximo da base e topo dos provetes (configuração 6) foi aquela que apresentou o valor mais elevado do módulo de elasticidade (E). Os resultados revelam também que, a um aumento da percentagem de fibras aleatórias não se verificaram diferenças significativas em termos do módulo de elasticidade (E) entre as configurações de ensaio 1, 2 e 3. É possível observar também um aumento deste parâmetro nos provetes de fibras orientadas em função da localização dos discos.

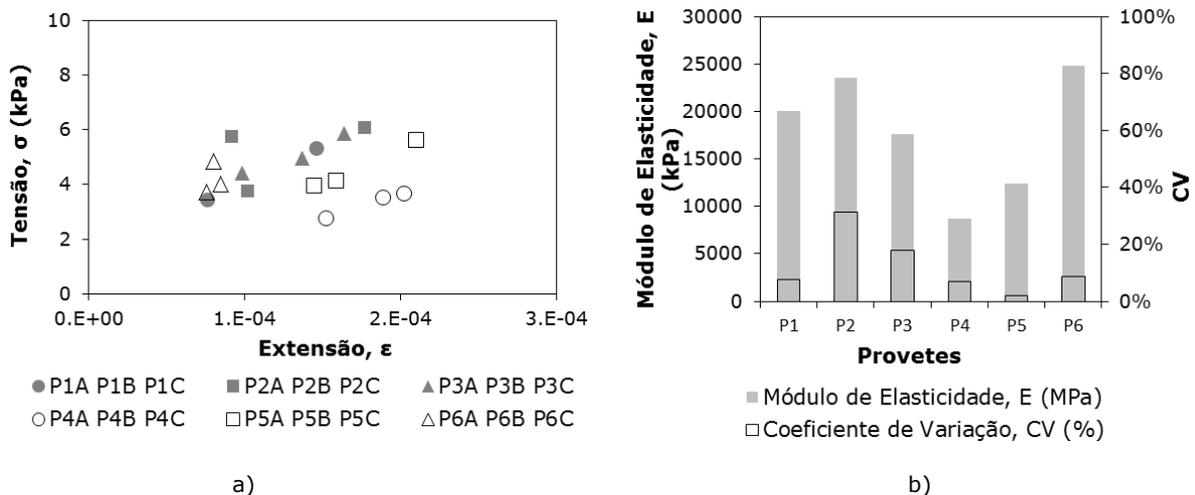


Figura 10 – Ensaio de compressão uniaxial cíclica (UCC): a) Relação tensão/extensão; b) Média do módulo de elasticidade (E) obtido para cada uma das configurações de ensaio.

A Figura 11 apresenta as curvas tensão-deformação axial para um dos provetes de cada configuração de ensaio, num total de 6 resultados. Na mesma figura, estão assinalados os pontos de tensão máxima e

respetiva extensão para cada provete, que se reproduzem novamente na Figura 12a, desta vez enquadrados com a totalidade de ensaios realizados. Assim, na Figura 12a pretende-se mostrar que a maior ou menor variabilidade da relação tensão máxima/extensão obtida em cada configuração de ensaio. Por outro lado, a Figura 12b mostra a média dos valores da rigidez obtidos no ensaio de compressão uniaxial para cada uma das configurações de ensaio.

A Figura 11 é ilustrativa da influência das fibras no comportamento do solo tratado, conferindo-lhe uma muito maior ductilidade e resistência, sobretudo nos provetes com fibras dispostas aleatoriamente (P2 e P3). Por sua vez, os provetes com fibras orientadas (P4 a P6) exibem uma maior ductilidade do que o solo não tratado, no entanto sem conseguir aumentar significativamente a resistência. Pode então dizer-se que, para a gama de deformações interessada, a presença de fibras aleatórias provoca um aumento da capacidade de deformação comparativamente às misturas solo-fibras orientadas e que, mesmo revelando ligeiras melhorias a este nível, exibem deformações mais próximas das deformações obtidas nos provetes de controlo (configuração 1) (Figura 12a). É de notar o comportamento dos provetes da configuração 6 que, mais uma vez, apresenta valores de rigidez elevados quando comparados com a maioria das restantes configurações (Figura 12b).

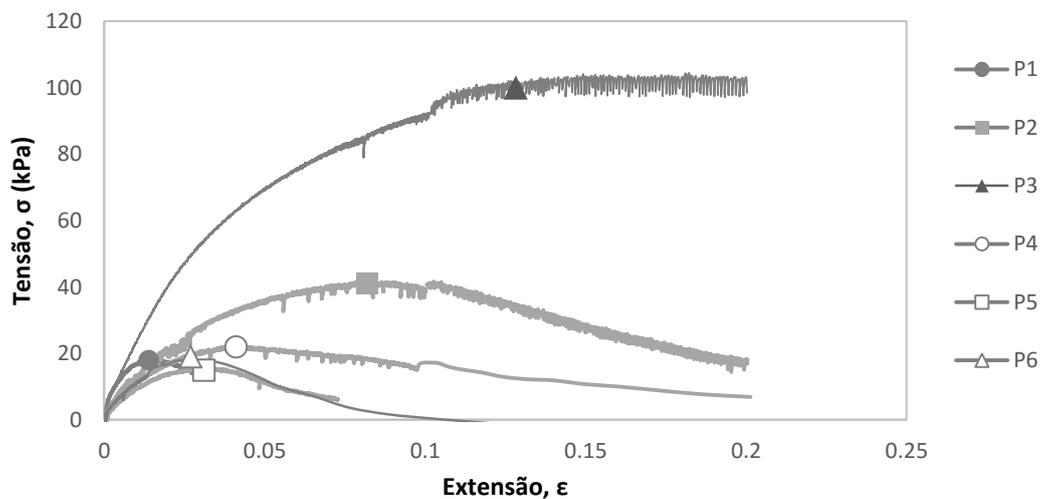


Figura 11 – Ensaio de compressão uniaxial: a) Relação tensão/extensão para cada uma das configurações de ensaio (com identificação do ponto de tensão máxima e respetiva extensão).

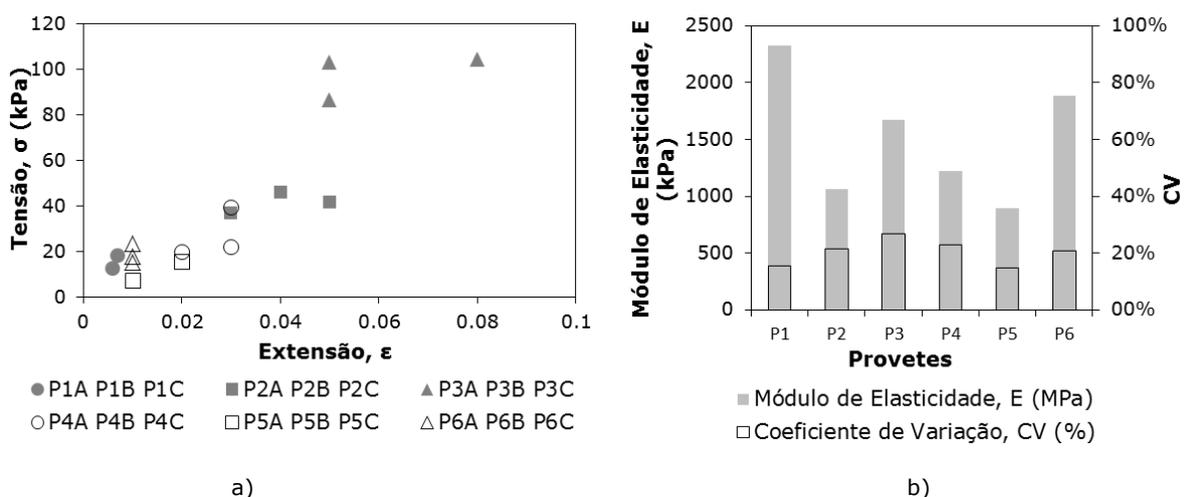


Figura 12 – Ensaio de compressão uniaxial: a) Relação tensão/extensão na rotura; b) Módulo de elasticidade (E) médio obtido para cada uma das configurações de ensaio.

4 - CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais obtidos, é possível observar que a utilização de misturas solo-fibras como solução de reforço, apresenta-se como uma técnica eficaz na melhoria das características de resistência e rigidez. Contudo, os resultados aqui apresentados mostram que a melhoria dessas características está dependente da gama de deformações a que a mistura solo-fibras está sujeita.

Através da medição e interpretação das velocidades das ondas de corte, verifica-se a não existência de alterações significativas nos valores do módulo de distorção obtidos. Tal facto poderá ser justificado pela não mobilização da componente "fibras" nas muito pequenas deformações. Essa aparente homogeneidade dos valores da rigidez manteve-se novamente nos ensaios de compressão uniaxial cíclica, em especial nos provetes solo-fibras aleatórias. Em relação aos provetes solo-fibras orientadas, nomeadamente às configurações 4 e 5, estes apresentam gamas de deformação superiores aos provetes da mistura de controlo e por conseguinte, valores inferiores de rigidez. Os provetes da configuração 6 apresentam valores de deformação mais reduzidos, comparativamente às restantes configurações.

No que concerne aos resultados obtidos nos ensaios de compressão uniaxial, verifica-se um aumento da capacidade resistente nas misturas solo-fibras aleatórias. Conclui-se assim que apenas nas gamas de deformação próximas da rotura, é possível identificar uma contribuição efectiva das fibras na melhoria das características de resistência e rigidez. Em relação às misturas solo-fibras orientadas, é de referir apenas uma ligeira melhoria na capacidade resistente em relação à ausência de fibras.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio dado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através do projeto de investigação WaveSoil (PTDC/ECM/122751/2010) do projeto FCOMOP-01-0124-FEDER-020365 no âmbito da qual este trabalho foi desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- Akin D.E., 2010, "What are natural Fibres?", In *Industrial Applications of natural Fibres* Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, pp. 10– 48.
- Bueno, B.S .& Lima, D.C. (1997). Uso de Fibras Plásticas para Reforço de Solos Compactados. *I Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego*. Rio de Janeiro.
- Cabala, G. E., (2007). Estudo do Comportamento Mecânico de Estruturas de Solo cimento Reforçado com Fibras de Coco e Hastes de Bambu. Mestrado em Engenharia Mecânica. Publicação CDU 621(043.3). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Rio Grande do Norte.
- Cappi, D. M. (2004). Recuperação ambiental de áreas erodidas como alternativa de destino final de pneus inservíveis. Piracicaba. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Brasil.
- Carbonieri, A. M. (1999). Reciclagem de garrafas PET: utilização em forma de fibra para reforço de solo. *Artigo técnico*. UNESP. São Paulo.
- Casagrande, M. D. T. (2001). Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Feuerharmel, M. R., (2000). Comportamento de Solos Reforçados com F de Polipropileno. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Ferreira, C., Martins, J. P., & Gomes Correia, A. (2013). Determination of the small-strain stiffness of hard soils by means of bender elements and accelerometers. *Geotechnical and Geological Engineering*, 6, 1–7.
- GDS Instruments (2015) Bender Elements datasheet. <http://www.gdsinstruments.com/products/gdsbes.htm>. Last accessed at March 2015.
- Gomes Correia, A. (2004). Características de deformabilidade dos solos que interessam à funcionalidade das estruturas. *Geotecnia*, (91), 71–81.
- Gomes Correia, A., Reis Ferreira, S. M. & Faria Araújo, N. (2006). Precision triaxial tests to determine deformability characteristics. Proceedings of the 10th national congress on geotechnics, Lisbon, Portugal, vol. 2, pp. 317–326.
- Gomes Correia, A., Valente, T., Tinoco, J., Falcão, J., Barata, J., Cebola, D. & Coelho, S. (2009). Evaluation of

mechanical properties of jet-grouting columns using different test methods. Proceedings of the 17th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Alexandria, Egypt, pp. 2169–2171.

- Leocádio, G. A. S. (2005). Reforço de solo laterítico com fibras de sisal de distribuição aleatória, tratadas superficialmente com EPS reciclado. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.
- Martins, J. (2011). Compaction and its influence on the structural behaviour of high speed railways. Tese de Doutorado. Universidade do Minho.
- Montardo, J. P. Consoli, N.C. & Prietto, P. D. M. (2001). Comportamento mecânico de compósitos solo-cimentofibra: Estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes. *Revista Solos e Rochas*, n. 3, p. 191-209.
- Pereira, C., Gomes Correia, A., Ferreira, C., & Araújo, N. (2015). Determinação da Rigidez de uma Areia com Recurso a Bender Elements e Acelerômetros: Princípio de Medição e Aplicações. *Revista Da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões*, 24, 41–48.
- Pereira, C., Gomes Correia, A., Ferreira, C., Araújo, N., & Martins, J. P. (2014). Medição e Interpretação da Rigidez de uma areia no âmbito das muito pequenas deformações. In *14 Congresso Nacional de Geotecnia* (Vol. 2, p. 12). Covilhã: SPG.
- Silva, J., Azenha, M., Gomes Correia, A., & Ferreira, C. (2011). Continuous stiffness assessment of cement-stabilised soils from early age. *Géotechnique*.
- Teixeira, S. H. C.; Bueno, B. S. & Lima, D. C. (1995). Estudo do comportamento de solos reforçados com fibras aleatórias. Relatório parcial PIBIC CNPQ/ UFV. Viçosa.