



Avaliação da resistência mecânica de solos reforçados com fibras de curauá (*Ananas erectifolius*) e polipropileno.

Érico Rafael da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, herico.rafael@gmail.com

Ronaldo Luis dos Santos Izzo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, izzo@utfpr.edu.br

Jair de Jesus Arrieta Baldovino

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, yaderbal@hotmail.com

Alexandre Cardoso

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, alexandrecardosomj@gmail.com

Leandro A. Ferreira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, leandroferreira@alunos.utfpr.edu.br

RESUMO: A adição de fibras ao solo visa garantir melhorias de resistência mecânica ao material composto. Em geral, o solo quando devidamente compactado apresenta boa resistência à compressão e ao cisalhamento. Este trabalho tem por finalidade avaliar os efeitos da adição de fibras de polipropileno e curauá (*Ananas erectifolius*) com comprimento de 12 e 15 mm respectivamente em teores de 0,25% e 0,50%. Foram moldados 30 corpos de prova e posteriormente verificados quanto a sua resistência à compressão simples e tração por compressão diametral. Obsevou-se que o teor de 0,25% ofereceu ganho de resistência inferiores que o teor de 0,50% para ambas as fibras. A adição de fibra natural apresentou valores de resistência inferiores que a adição de fibra de polipropileno, no entanto, ambas demonstraram boa resistência mecânica e alta ductibilidade quando comparadas ao solo em seu estado natural.

PALAVRAS-CHAVE: Solo Reforçado, Solo-Fibras, Resistência Mecânica, Fibra de Polipropileno, Fibra de Curauá.

1 INTRODUÇÃO

Um dos desafios da engenharia é fornecer estruturas resistentes aos esforços mecânicos estimados. Muitas vezes, alguns materiais sozinhos não são capazes de garantir a segurança necessária e o incremento de outro material é uma solução viável para resolver tais problemas.

A introdução de elementos ao solo é uma técnica antiga capaz de gerar um compósito com maiores propriedades de resistência. É o

caso da aplicação de mantas de raízes na construção da Muralha da China, e em estradas construídas pelos Incas a muitos anos atrás (PALMEIRA, 1992).

As fibras têm se tornado uma opção viável no reforço de solos e melhorias de suas propriedades. Também é capaz de substituir a adição de materiais geradores de CO₂ como é o caso do cimento, um dos principais agentes estabilizantes químicos para o solo. Sua adição é capaz de fornecer grandes ganhos de resistência, principalmente quanto à resistência



ao cisalhamento. Todavia, devem ser observadas algumas características importantes particulares para cada tipo de fibras e a sua influência dentro do compósito.

Quando comparadas às fibras sintéticas, as fibras naturais apresentam maior variabilidade quanto ao seu diâmetro e estrutura, possuem baixo custo e provem de fontes renováveis.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a adição de fibras naturais de Curauá com 15 mm de comprimento e fibras de polipropileno de 12 mm, em dois diferentes teores 0,25% e 0,50%, como material de reforço de um solo de Curitiba-PR.

2 SOLO REFORÇADO

O reforço ou melhoramento de solo, compreende o emprego de processos naturais e artificiais que visam melhorias nas propriedades mecânicas dos solos, com o objetivo de aumentar sua resistência e durabilidade e diminuir a compressibilidade e permeabilidade, além disso, visa garantir que tais ganhos perdurem pela vida útil das obras de engenharia. O termo melhoria de solos está associado ao tratamento através de processos químicos, já o reforço está associado à adição de inclusões em obras de terra (CASAGRANDE, 2005; PINTO, 2008).

A vantagem do emprego de materiais compósitos, categoria onde se encontra os solos reforçados, em relação aos convencionais está assegurada no ganho de resistência e alta rigidez graças ao emprego de fibras. Tal categoria vem ganhando destaque na área de engenharia dos materiais devido às crescentes publicações na literatura (ILLSTON; DOMONE, 2001).

Conforme Pinto (2008), a estabilização do solo é um problema complexo que envolve um número considerável de parâmetros, como as propriedades do solo, custos de estabilização, melhorias a realizar-se, técnicas construtivas, sistema de construção adotado e custos de manutenção.

Segundo Kézdi (1979), os métodos de estabilização são classificados de acordo com a sua finalidade, dentre os principais métodos, tem destaque a estabilização mecânica, física e química.

2.1 Solo Reforçado com Geossintéticos

O geossintético pode ser definido como um produto polimérico de vasta aplicação na engenharia civil, geotécnica e ambiental. Abrange produtos de origem industrial ou naturais, embora o primeiro seja mais abundante na maioria das aplicações. São produtos versáteis, de alta qualidade e vida útil, visto que, o controle de qualidade está presente na produção do material. São empregados em soluções geotécnicas a problemas envolvendo reforços, estruturas de contenção, estabilidade de taludes, aterros, estabilização de solos, drenagem e filtração, barreiras de fluidos e gases, controle de erosão, barreiras de sedimentos, proteção ambiental dentre outras aplicações (PALMEIRA, 2018).

No Brasil, os geossintéticos foram empregados no início da década de 1980, em obras de drenagem e infiltração e também como reforço de solo. Os geossintéticos podem ser classificados em geotêxteis, geogrelhas, georredes, geomembranas, geocompostos, geocompostos argilosos, geotubos, geocélulas e geoexpandidos, levando em consideração o processo de fabricação de cada material.

Dentre os geossintéticos mais populares, destacam-se: os geotêxteis que abrangem as fibras, mantas de fibras ou filamentos; tecidos e não tecidos, com vasta aplicação de separação, proteção, filtração, drenagem, reforço e controle de erosão.

Na construção de pavimentos, os geossintéticos são empregados principalmente na separação do subleito com a base, evitando a contaminação dos materiais que compõem estas camadas e, no fortalecimento do subleito para solos considerados de baixa resistência (MALLICK; EL-KORCHI, 2013).



2.2 Solo Reforçado com Fibras

Embora pareça um tema recente na engenharia geotécnica, a adição de materiais visando reforçar o solo é uma técnica existente desde à antiguidade, exemplo disso foi a aplicação de mantas feitas com raízes utilizadas na construção das muralhas de Ziggurat de Agar Quf, na Mesopotâmia em 1.400 a.C. (PALMEIRA, 1992).

Conforme de Casagrande (2005), tanto no Brasil como em outros países, são conhecidas aplicações de mantas de folhas e galhos sobre solos moles antes da construção de aterros, mas foi a partir de 1969, quando Henry Vidal patenteou a técnica denominada “Terra Armada”, que o conceito de solo reforçado passou a ser empregado com maior vigor.

Deste modo, técnicas de reforço utilizando fibras passaram a ser cada vez mais estudadas, aplicadas tanto em solos (GALVEZ, 2018; SILVEIRA, 2018; GIRARDELLO, 2014), quanto em compósito cimentício na elaboração de argamassas e concretos (WEBER, 2018; MASSONE; NAZAR, 2018). Para tanto, é primordial que se conheça as propriedades físicas, mecânicas e químicas do material a ser empregado e de que maneira se dará essa combinação (PALACIOS, 2012).

Um conceito denominado fibrossolo vem sendo empregado para definir compósitos constituídos pela inclusão de fibras curtas ao solo (CABALA, 2007), capaz de apresentar melhorias às suas propriedades (ARAYA-LETELIER et al., 2018; GHAVAMI; TOLEDO FILHO; BARBOSA, 1999; KURUGODU et al., 2018; WEI et al., 2018), dar suporte na execução de obras de pavimentação (RESCHETTI JUNIOR, 2008) e fundações (GIRARDELLO, 2014).

Atualmente há uma grande diversidade de fibras que podem ser usadas como reforços, podendo elas ser de origem animal, vegetal, mineral, poliméricas e metálicas.

2.2.1 Fibras de Polipropileno

O polipropileno é um polímero extremamente versátil como formador de fibras, amplamente empregado na indústria, já que apresenta alta resistência ao ataque químico e biológico, baixa absorção de umidade, dentre outras características.

O uso deste material como reforço se dá pela sua homogeneidade e disponibilidade do mercado, além de satisfatórios resultados quanto ao ganho de resistência do solo reforçado.

Em ensaios *ring shear*, Consoli et al. (2007), avaliaram a aplicação de fibras de polipropileno em diferentes comprimentos. Os autores observaram que quanto maior o comprimento da fibra, maior será o acréscimo de resistência cisalhante do solo limitado até certo ponto. Para Wei et al. (2018), o comprimento ótimo é cerca de 30 a 40% do diâmetro da amostra.

2.2.2 Fibras de Curauá (*Ananas erectifolius*)

As fibras naturais são opções consideradas sustentáveis para substituir o uso de fibras de origem industrial como as poliméricas. O Curauá é uma planta originária da região norte e centro-oeste do Brasil. Até a década de 90, era matéria prima na fabricação de cordas e atualmente é empregada na indústria automobilística.

Segundo Zah et al. (2007), a fibra de curauá apresenta o mesmo custo que outras fibras vegetais, mas a sua resistência à tração e à flexão são maiores do que as fibras de coco, juta e sisal.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais e Preparação dos Corpos de Prova

O estudo foi realizado com solo coletado na cidade de Curitiba, Paraná. O local da coleta



encontrava-se em processo de escavação para a construção de um edifício, o que contribuiu para a retirada do solo do solo, seguindo os procedimentos da NBR 9604 (ABNT, 2016). O solo recolhido é característico de uma das camadas da formação geológica Guabirota, característica da região e apresentava coloração amarela, conforme Figura 1.



Figura 1. Coleta de material.
Fonte: Autoria própria.

As fibras de curauá foram doadas pelo Centro de Apoio a Projetos de Ação Comunitária (CEAPAC), localizada na cidade de Santarém no Estado do Pará. Em laboratório, as fibras passaram por processos de lavagem, secagem, escovação e posteriormente cortadas em comprimentos de 15 mm. Cabe ressaltar que não foi aplicado nenhum tratamento a esse tipo de fibra.

As fibras de polipropileno estavam dispostas no comprimento de 12 mm. São compostas por filamentos extremamente finos, fabricadas por processo de extrusão. A aplicação deste tipo de fibra é muito comum na fabricação de concretos e argamassas.

Os teores de fibra adotados foram de 0,25% e 0,50% em relação ao peso de solo seco. Estes parâmetros foram escolhidos conforme pesquisas presentes na literatura que avaliam a influência do teor e comprimento no compósito (GALVEZ, 2018; ROQUE, 2017; SILVEIRA, 2018).

Para definir as características do solo, foram realizados ensaios de granulometria, NBR 7181 (ABNT, 2016), limites de Atterberg NBR 7180 (ABNT, 2016) e NBR 6459 (ABNT, 2017), densidade real, ME 093/94 (DNER, 1994) e o ensaio de compactação, NBR 7182 (ABNT, 2016), seguindo os procedimentos descritos em suas respectivas normas técnicas.

Todos os corpos de prova foram moldados na densidade e umidade ótima do solo natural. O molde utilizado possibilitou criar corpos de prova com dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Inicialmente o solo seco foi disposto em uma bandeja, em seguida adicionada a água e por fim, acrescentadas as fibras (figura 2), que passam por um processo de homogeneização junto ao solo.



Figura 2. Adição de fibras de curauá ao solo.
Fonte: Autoria própria.

Foram moldados corpos de prova (CP) com as configurações apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Moldagem Corpos de Prova

Tipo CP	Quant. CPs	Teor Fibra (%)	Comp. Fibra (mm)
Solo	6	0	0
SF-NT	6	0,25	15
SF-NT	6	0,50	15
SF-PP	6	0,25	12
SF-PP	6	0,50	12

Fonte: Autoria própria



No total, foram moldados 30 CPs com o solo natural, solo com fibra de curauá (SF-NT) e solo com fibra de polipropileno (SF-PP).

Após a moldagem, os CPs foram embalados em plástico filme para que mantivessem a umidade desejada e armazenados em câmara úmida por período mínimo de 48 horas.

3.2 Ensaio de Resistência à Compressão Simples

Este ensaio fornece dados de resistência à compressão do solo. O teste foi conduzido em conformidade com a norma D 2166 (ASTM, 2016), sob velocidade de 1 mm/min, em prensa eletromecânica e microprocessada EMIC.

O corpo de prova é disposto na prensa, conforme Figura 3, em seguida é iniciado o teste até que a ruptura ou deformação desejada seja atingida.



Figura 3. Ensaio de Resistência à Compressão Simples.
Fonte: Autoria Própria.

3.3 Ensaio de Tração por compressão Diametral

A resistência à tração por compressão diametral (q_t), é amplamente utilizada no meio científico devido à sua fácil realização e por fornecer dados satisfatórios. É calculada de acordo com a Equação 1. A norma que regulamenta este ensaio é a NBR 7222 (ABNT, 1994).

$$q_t = \frac{2P_R}{\pi DH} \quad (1)$$

Onde:

P_R = Carga de Ruptura máxima;
 D = Diâmetro do corpo de prova;
 H = Altura do corpo de prova.

O ensaio foi realizado na mesma prensa do ensaio descrito no ítem anterior, sob a mesma velocidade. A ilustração deste ensaio é apresentada na figura 4.



Figura 4. Ensaio de Tração por Compressão Diametral
Fonte: Autoria Própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaios de Caracterização

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades Físicas do Solo

Propriedades do solo	Valor
Argila	5,0%
Silte	53,0%
Areia	42,0%
Limite de liquidez	58,36%
Limite de plasticidade	40,78%
Índice de plasticidade	17,59%
Densidade Relativa	2,83
Peso específico (γ_s)	1,38 kN/m ³
Umidade ótima	25,0%

Fonte: Autoria própria

Constatou-se que o solo é composto por 5%



de argila, 53% de silte e 42% de areia.

A curva granulométrica do solo (Figura 5), foi obtida pelo processo de peneiramento, e o tamanho das partículas do solo fino foram definidos através de difração a laser em equipamento Microtac S3500 do laboratório de caracterização de partículas do Departamento de Engenharia Mecânica da UTFPR.

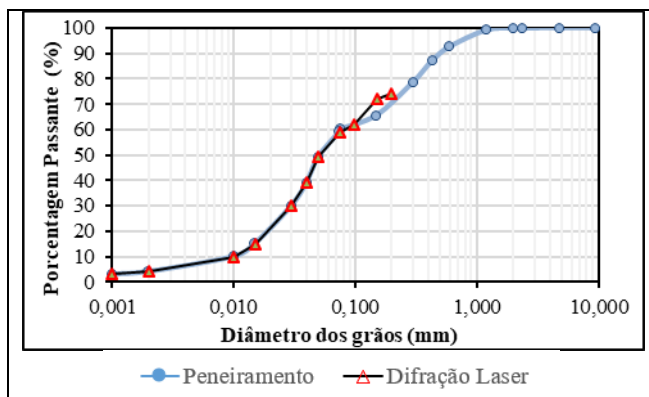


Figura 5. Curva Granulométrica do Solo.
Fonte: Autoria Própria.

Segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), o solo recebe a classificação de MH (Silte de alta compressibilidade). Durante o processo de caracterização do material não foi observada a presença de matéria orgânica.

4.2 Ensaios de Resistência

4.2.1 Compressão Axial

O ensaio de compressão axial do solo revelou que a adição de fibras foi importante para o ganho de resistência do solo reforçado. Através das curvas de resistência (Figuras 6 e 7), pode-se observar que a adição das fibras forneceram ganho de resistência ao solo em ambos os casos, no entanto, foi mais expressivo no solo reforçado com fibra de polipropileno do que no solo reforçado com fibra de curauá.

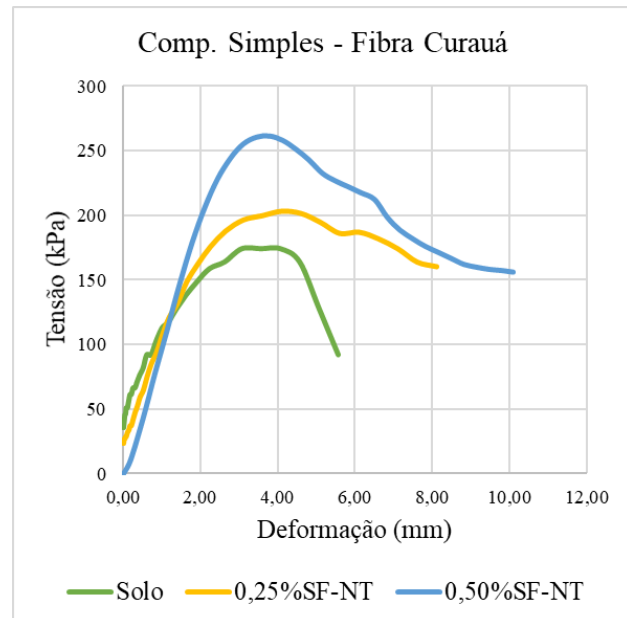


Figura 6. Compressão Simples com Adição de Fibras de Curauá.
Fonte: Autoria Própria.

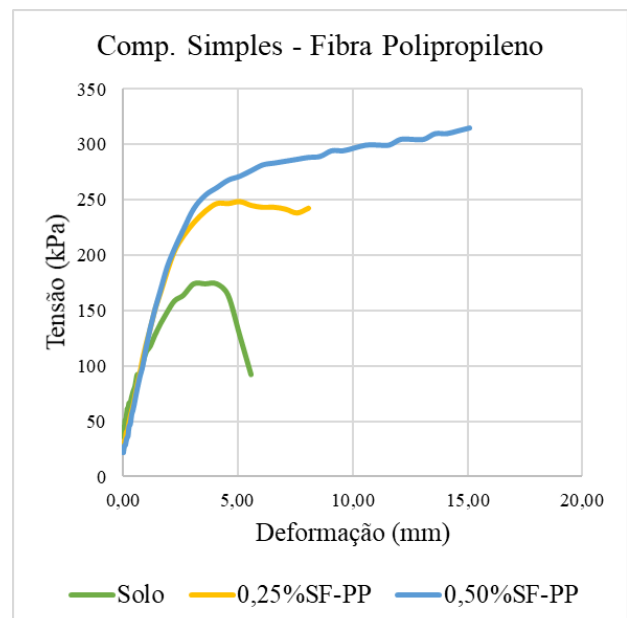


Figura 7. Compressão Simples com Adição de Fibras de Polipropileno.
Fonte: Autoria Própria.

A alteração do teor de fibras foi capaz de fornecer ganho de resistência de 28,0% e 27,0% para as fibras de Curauá e Polipropileno, respectivamente.

A resistência à compressão do solo reforçado com fibra natural com teor de 0,25% foi de



206,27 kPa e 261,52 kPa para o teor de 0,50%.

Para as fibras de polipropileno, o pico de resistência à compressão atingido foi de 251,89 kPa para o teor de 0,25% e 317,46 kPa para o teor de 0,50%. Observou-se que em relação ao solo natural, a resistência foi muito elevada. Além disso, os corpos de prova com teor de 0,50% de fibra atingiram a deformação de 15mm sem que houvesse a queda de resistência.

Em ambas as fibras, a ductibilidade das amostras foram melhoradas, principalmente nos casos em que o teor de fibra foi maior.

4.2.1 Tração por Compressão Diametral

Os resultados obtidos através deste ensaio forneceram ganhos de resistência à tração no solo reforçado com ambas as fibras. O incremento de fibras de polipropileno forneceu maiores ganhos de resistência que a fibra de curauá. Em ambas as fibras, a ductibilidade do material compósito foi notoriamente maior que o solo em seu estado natural.

A resistência máxima obtida neste ensaio foi de 31,96 kPa para o teor de 0,25% e de 43,20 kPa para o teor de 0,50%, conforme Figura 8. Considerando este aumento no teor de fibras de 0,25% para 0,50% nota-se um ganho de resistência médio de 35%.

Os resultados dos ensaios envolvendo a a fibra de polipropileno são apresentados na Figura 9.

Os valores médios máximos de resistência obtidos neste ensaio foram de 40,91 kPa e 52,85 kPa nos teores de 0,25% e 0,50% respectivamente. Em relação ao aumento no teor de fibras, que passou de 0,25% para 0,50%, o ganho de resistência médio foi de 29%.

Os ensaios evidenciaram um aumento significativo na ductibilidade do compósito fibroso pois a disposição das fibras impediu a queda brusca de resistência principalmente com o uso da fibra de polipropileno.

Silveira (2018), destaca que devido à exposição dos compósitos aos agentes climáticos, o comportamento mecânico das

fibras naturais pode ser afetado, principalmente nos casos em que não há tratamento das mesmas.

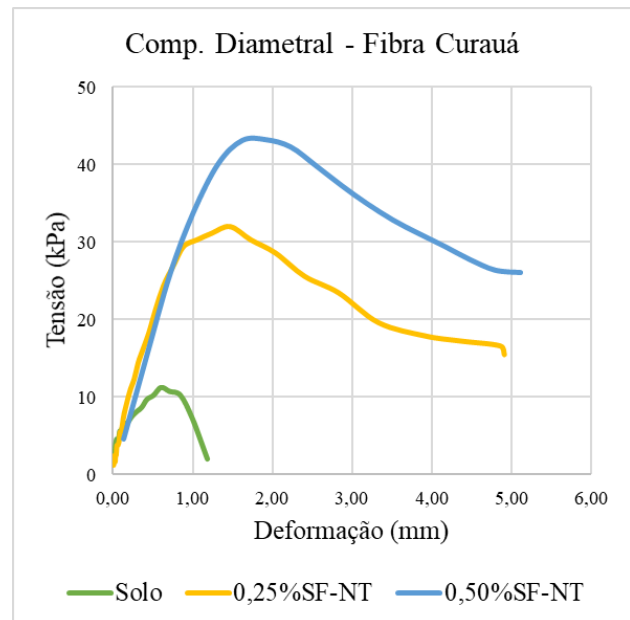


Figura 8. Tração por Compressão Diametral com Adição de Fibras de Curauá.

Fonte: Autoria Própria.

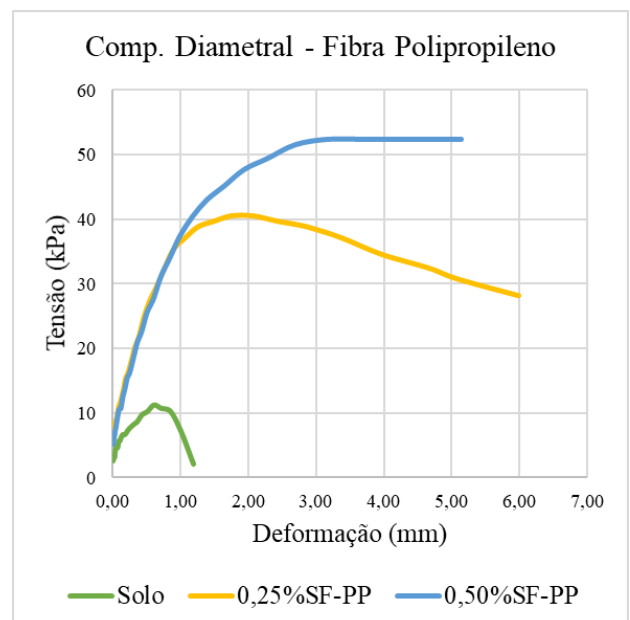


Figura 9. Tração por Compressão Diametral com Adição de Fibras de Polipropileno.

Fonte: Autoria Própria

Embora a fibra de curauá não tenha apresentado resultados tão relevantes quanto a



fibra de polipropileno, cabe ressaltar uma maior dificuldade de homogeneização deste material com o solo, o que pode acarretar na falta de aderência, consequentemente, baixa resistência.

De qualquer forma, é notório que para os dois tipos de fibras utilizados, a sua adição forneceu alteração da resistência mecânica do solo quando comparada ao seu estado natural. Além disso, o aumento no teor de fibras mostrou-se um parâmetro importante a ser avaliado em solos reforçados.

5 CONCLUSÕES

A adição de fibras ao solo mostrou-se uma solução relevante na garantia de melhoria de resistência do solo.

Embora a fibra natural de curauá não tenha atingido valores tão elevados quanto a fibra de polipropileno, principalmente no desempenho de resistência axial, a mesma atingiu grandes deformações após a resistência de pico sem que houvesse queda brusca de resistência, diferentemente do solo em seu estado natural. O mesmo notou-se nas fibras de Polipropileno.

Com relação ao teor de fibras, em geral, houve melhorias significantes quando o teor de fibras passou de 0,25% para 0,50%.

Cabe ressaltar que quanto maior o teor de fibras, mais difícil é a homogeneização do compósito, o que poderá resultar na formação de falhas e falta de ancoragem entre o material fibroso e o solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Curitiba, Paraná). Também às instituições de fomento à pesquisa brasileira, CAPES, CNPQ e Fundação Araucária, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM D 2166 – 03. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil 1. Int. West Conshohocken, Pa 2003;4.
- Araya-Letelier, G. et al. (2018). Influence of natural fiber dosage and length on adobe mixes damage-mechanical behavior, *Construction and Building Materials*, Vol. 174, p. 645–655, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818309589?via%3Dihub>>. Acesso em: 21 maio. 2018.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 6459: Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2017.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 7180: Solo–Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 7222: Argamassa e concreto: determinação de resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento. Rio de Janeiro, 2016.
- Cabala, G.V.E. (2007) *Estudo do Comportamento Mecânico de Estruturas de Solo-Cimento Reforçado com Fibras de Coco e Hastes de Bambu*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 91 p.
- Casagrande, M.D.T. (2005) *Comportamento Mecânico de Solos Reforçados com Fibras a Grandes Deformações*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 219 p.
- Consoli, N.; Casagrande, M.; Coop, M. (2007). Performance of a fibre-reinforced sand at large shear strains, *Géotechnique*, Thomas Telford, Vol. 57, p. 751-756.
- Departamento Nacional de Estrada de Rodagem (DNER). DNER – ME – 093/94. Solos – Determinação da densidade real. 1994
- Galvez, J.H.F. (2018) *Efeito da Adição de Fibras no Comportamento de uma Areia Sob Ccarrregamentos Cíclicos*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-



- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 262 p.
- Ghavami, K.; Toledo Filho, R.D.; Barbosa, N.P. (1999) Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 21, p. 39–48. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095894659800033X>>. Acesso em: 24 maio. 2018.
- Girardello, V. (2014) *Comportamento de Ensaio de Arrancamento de Placas Embutidas em Camadas de Solo-Cimento-Fibra*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 175 p.
- Illston J.M. e Domone P.L.J. (2001), *Construction Materials: their nature and behaviour*, 3 ed., Spon Press, New York, NY, USA, 554 p.
- Kézdi A. (1979), *Stabilized Earth Roads*, 1 ed., Elsevier Scientific Publish Company, Amsterdam, NL, 327 p.
- Kurugodu, H.V. Bordoloi, S. Hong, Y. Garg, Ankit. Garg, Akhil. Sreedeeep, S. Gandomi, A.H. (2018) Genetic programming for soil-fiber composite assessment, *Advances in Engineering Software*, Vol. 122, p. 50–61. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965997817312000?via%3Dihub#abs0002>>. Acesso em: 21 maio. 2018.
- Mallick, R.B e Ei-Korchi, T. (2013), *Pavement Engineering: Principles and Practice*, 2 ed., CRC Press, New York, NY, USA, 654 p.
- Massone, L.M. e Nazar, F. (2018) Analytical and experimental evaluation of the use of fibers as partial reinforcement in shotcrete for tunnels in Chile. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 77, p. 13–25, Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088677981730809X?via%3Dihub#f0015>>. Acesso em: 21 maio. 2018.
- Palacios, M.A.P. (2012) *Comportamento de uma Areia Reforçada com Fibras de Polipropileno Submetida a Ensaio Triaxiais de Extensão*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica do Rio de Janeiro, 101 p.
- Palmeira, E.M. (1992) Geossintéticos: tipos e evolução nos últimos anos, In: *Seminário sobre aplicações de geossintéticos em geotecnia*. Geossintéticos, p. 1-20.
- Palmeira, E.M. (2018) *Geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente*. Oficina de textos, 1 ed., São Paulo, SP. BR. 294 p.
- Pinto, A.R.A.G. (2008) *Fibras de Curauá e Sisal como Reforço em Matrizes de Solo*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica do Rio de Janeiro, 103 p.
- Reschetti Junio, P.R. (2008), *Avaliação do Comportamento Mecânico de um Solo Arenoso Fino Laterítico Reforçado com Fibras Para Uso em Pavimentação*, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 125 p.
- Roque, P.F.B. (2017) *Uso de Materiais Alternativos Para Melhoria de Solos em Pavimentação*, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 108 p.
- Silveira, M.V. (2018) *Análise do Comportamento Mecânico e da Durabilidade em Compósitos de Areia Reforçada Com Fibras Naturais de Curauá e Sisal*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 148 p.
- Weber, A.M. (2018) *Viabilidade Técnica da Utilização de Fibras de Curauá (Ananas Erectifolius) Como Reforço em Compósitos Cimentícios Laminados*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 115 p.
- Wei, L. Chai, S.X. Zhang, H.Y. Shi, Q. (2018) Mechanical properties of soil reinforced with both lime and four kinds of fiber, *Construction and Building Materials*, Vol., 172, p. 300–308. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818307530>>. Acesso em: 2 out. 2018.
- Zah, R. Hischier, R. Leão, A.L. Braun, I. (2007) Curauá fibers in the automobile industry e a sustainability assessment, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 15, p. 1032-1040. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652606003507>>. Acesso em 15 mai. 2019.