

## AREIA SILTOSA MELHORADA COM FIBRA DE POLIETILENO TEREFALATO ALEATORIAMENTE DISTRIBUÍDA: GANHOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E À COMPRESSÃO UNIAXIAL

Fernanda Simoni Schuch<sup>1</sup>; Fábio Krueger da Silva<sup>2</sup>; Maria Marin Belen<sup>3</sup>, Ana Karolyna Silveira da Silva<sup>4</sup>; Thaís Moreira dos Santos<sup>5</sup>; Maria Eduarda Andrade Ferreira<sup>6</sup>

**Resumo** – A reutilização de resíduos sólidos como adição em solo vem sendo alvo de pesquisas e estudos técnicos nas últimas décadas, dada a relevância do tema. Em alguns estudos, observa-se melhorias nas propriedades da mistura e, abrem-se possibilidades de reutilização e de nova destinação, de acordo com as legislações ambientais brasileiras vigentes. Contribuindo com estes estudos, pesquisou-se a adição de fibra de polietileno tereftalato (PET) aleatoriamente distribuída em solo melhorado para camada de pavimento. Utilizou-se uma areia siltosa com três diferentes teores de fibra incorporados (0,5% / 1% / 1,5%), submeteu-se corpos de prova a ensaios de compressão uniaxial e cisalhamento direto. Utilizou-se fibra em filamentos de 15mm de comprimento, obtidas a partir de um processo de reciclagem de garrafas PET. Os resultados mostraram que o solo melhorado com fibra PET aleatoriamente distribuída promoveu um aumento na tensão máxima de ruptura em relação ao solo sem adição, bem como aumento no ângulo de atrito interno do solo e no valor da coesão. A inserção da fibra PET no solo é uma interessante proposta de adição, pois se melhora as propriedades mecânicas do solo ao mesmo tempo em que propicia um impacto positivo no meio ambiente.

**Abstract** – Given the relevance of the topic, the use of waste as mixture in soil has been the subject of researchers and technical approaches. There are improvements in the mixture properties, as well as new possibilities for reuse or a new destination for materials considered waste, according with Brazilian environmental laws. To contribute to these studies, it was randomly distributed polyethylene terephthalate (PET) fiber, mixed as addition intending to obtain an improved pavement layer. It was used a silty sand with three different fiber contents (0.5% / 1% / 1.5%), and subjected to uniaxial compression and direct shear tests. Fiber was used in filaments of 15 mm length, obtained from a PET bottle recycling process. The results showed that the randomly distributed PET fiber mixed with soil promoted an increase in the maximum rupture stress in comparison with soil without addition, as well as an increase in the internal friction angle and cohesion. These results show that the insertion of PET fiber in the soil is an interesting addition proposal for improving the mechanical properties of the soil, while providing a positive impact on the environment through the reuse of recycled plastic waste.

**Palavras-Chave** – Solo residual de granito, cisalhamento direto, tensão máxima de ruptura, coesão do solo.

---

<sup>1</sup> Eng. Civil, Dra. Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, fernandass@ifsc.edu.br

<sup>2</sup> Eng. Civil, Dr. Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, fabio.krueger@ifsc.edu.br

<sup>3</sup> Acad. Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, mariabmaarin@gmail.com

<sup>4</sup> Acad. Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, anajovitta@gmail.com

<sup>5</sup> Acad. Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, thaaism05@gmail.com

<sup>6</sup> Acad. Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 321106060, maria.ea2001@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, muitos pesquisadores vêm empenhando esforços para utilizar resíduos, produzidos pela humanidade em seus projetos. Alguns trabalhos substituem os finos em argamassas e concreto por resíduos de construção civil (RCD), outros adicionando borracha de pneus em concreto asfáltico ou, RCD e fibra de polietileno entre outros, em solos. Em todos os casos a ideia central é amenizar o impacto ambiental mantendo-se ou até melhorando-se a qualidade da construção. Esta ideia também vai ao encontro da Lei 12.305 de 2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos a qual cita a pesquisa científica e tecnológica como um instrumento desta política, uma vez que se contribui para uma disposição final ambientalmente adequada e estimular padrões sustentáveis de produção e consumo.

O volume de resíduos de garrafas PET produzido em escala global chama a atenção de pesquisadores e estudos vêm sendo desenvolvidos visando o reaproveitamento deste em solo. Nesta pesquisa utiliza-se a fibra PET para se obter uma mistura com propriedades adequadas a uma camada de pavimento.

As propriedades almejadas pela adição de fibras podem dizer respeito ao aumento da capacidade de suporte do material, a maior capacidade de absorção de energia antes do colapso, maior resistência ao impacto, queda na diminuição da resistência pós-pico, maior capacidade de absorver deformações até atingir a resistência última, entre outros (Feuerharmel, 2000).

Koohmishi & Palassi (2022), por exemplo, estudaram os efeitos da adição de fibra PET e cal em solo argiloso visando constituir camadas de pavimentos, com variações de teores destas adições (fibra e cal), bem como variando o formato da fibra PET (tiras ou pastilhas). Os pesquisadores observaram que, nos dois formatos de fibra estudados houve melhoria nos resultados de resistência do solo melhorado em relação ao solo sem adição.

Mishra & Gupta (2018) estudaram a incorporação de fibra PET com cinza volante para melhoramento de solo argiloso de baixa plasticidade, utilizado em camada compactada de pavimentos. Estes autores perceberam um aumento na resistência a ruptura na ordem de 1.45 vezes dos solos com adição se comparados ao solo natural, observaram um aumento no valor do CBR (*California Bearing Ratio*) e diminuição da densidade das misturas com a adição das fibras.

Estes resultados promissores estimulam novas pesquisas visando compreender se existem ganhos para outros tipos de solo, em especial aos tropicais, a partir destas adições mas, ainda não se tem estudos aprofundados que tratem a degradação da fibra PET quando utilizada como adição em solo melhorado. No entanto, Silva et al. (2005) mostrou que as fibras PET se degradaram em corpos de prova de argamassa após 164 dias. Segundo os autores as fibras apresentaram maior rugosidade, porém, nos corpos de prova de argamassa não se verificou alterações nos valores obtidos de resistência à compressão, tração e flexão.

Neste artigo relata-se, portanto, o método utilizado e os resultados obtidos ao misturar-se fibra PET a um solo residual, em três diferentes teores, objetivando-se determinar a viabilidade de sua aplicação como camada de pavimento. Estudos complementares a este trarão resultados relativos ao valor do CBR e, num próximo momento, à degradação da fibra PET incorporada em solo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

Esta pesquisa de caráter experimental e foi desenvolvida através de uma sequência de etapas metodológicas as quais implicaram em: coleta do solo, aquisição da fibra PET, caracterização dos materiais (solo e fibra), ensaios de resistência à compressão uniaxial não confinada e de resistência ao cisalhamento. Estes ensaios foram realizados para quatro diferentes teores de mistura: solo natural (0%F), solo + 0,5% de fibra PET (0,5%F), solo + 1% de fibra PET (1%F) e solo + 1,5% de fibra PET (1,5%F).

## 2.1. Materiais

Os materiais utilizados para pesquisa foram: amostra deformada de solo coletado em campo e a fibra PET obtida pela reciclagem de garrafas plásticas, cedidos pela empresa Cordoaria Brasil.

### 2.2.1 Solo

Coletou-se a amostra de solo deformada em campo de um talude de solo residual de granito localizado na região de Biguaçu/SC. Observou-se em campo estrutura reliquiar da rocha completamente intemperizada dentro do perfil do solo.

Após a coleta o solo foi armazenado em caixas plásticas, vedadas de modo a ficar abrigado da chuva. Caracterizou-se o material com os ensaios de: massa específica dos grãos que passam na peneira de 4,8mm (NBR 6458:2016 anexo B), granulometria (NBR 7181:2016) e limites de Atterberg (NBR6459:2016 e NBR7180:2016).

### 2.2.2 Fibra PET

A fibra PET foi produzida pela empresa Cordoaria Brasil localizada na cidade de Itajaí/SC obtidas a partir de garrafas de plástico. Segundo Nichele (2020) o processo de produção da fibra inicia-se com a coleta e separação das garrafas, as quais são enviadas em fardos para a reciclagem. Após passar por um processo de seleção, lavagem, moagem e secagem, obtém-se um subproduto chamado flake. Este, é enviado para aquecimento, fundido a 300°C e logo em seguida filtrado para eliminar qualquer tipo de sólido (pedras, metais, etc), depois, é resfriado com água, e granulado em pequenos pedaços, chamado de chips de PET. Após a obtenção dos chips, esse material é encaminhado para um processo de extrusão a 260°C, sendo transformada em uma pasta e enviada para uma bomba, passando por microfuros e gerando fios que entram em contato com o ar para esfriar. Os fios são armazenados posteriormente em tambores e passam pelo processo de ensimagem, onde é aplicado diretamente nas fibras um óleo, que garante que o material não sofra modificações quanto a estática, e aumenta a coesão e lubricidade entre os filamentos. Após, são encaminhadas para o processo de estiragem, onde o diâmetro da fibra é reduzido e a resistência à tração da fibra é aumentada. Na sequência, a fibra é enrolada em carretéis e encaminhada para o processo de corte. Após o corte no tamanho desejado, a fibra PET (figura 1) está pronta para ser utilizada.

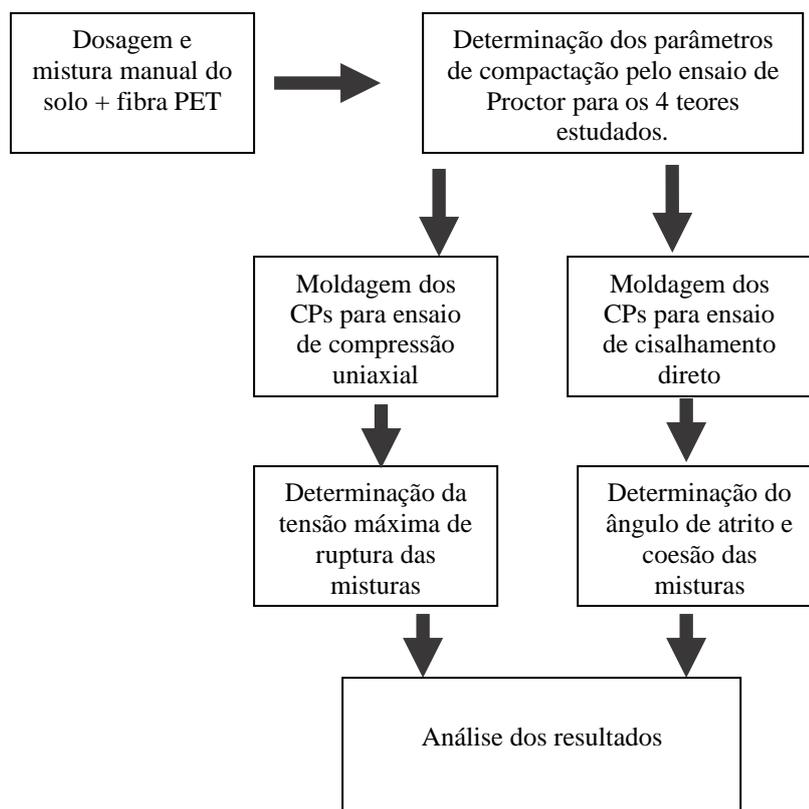


Figura 1. Fibra PET utilizada na pesquisa

Fonte: Nichele, 2020.

## 2.2. Método da pesquisa experimental

A pesquisa experimental ocorrida após a caracterização dos materiais consistiu em:



A dosagem dos materiais foi realizada através de balança de precisão pesando-se os teores de fibra e o solo necessários para as misturas analisadas: solo natural (0%F), solo + 0,5% de fibra PET (0,5%F), solo + 1% de fibra PET (1%F) e solo + 1,5% de fibra PET (1,5%F). Os teores foram adicionados em massa seca, calculados em relação ao peso seco do solo.

Foram realizadas 4 curvas de compactação (NBR 7182:2016), na energia normal com cilindro grande, de modo a se determinar a massa específica aparente seca máxima e o teor de umidade ótimo pois, a moldagem dos corpos de prova (CPs) para os demais ensaios deu-se a partir destes parâmetros.

Para o ensaio de compressão uniaxial os CPs foram esculpido corpos de prova a partir de misturas compactadas no cilindro de Proctor grande com energia normal (Figura 2) para ficar nas dimensões de 50 mm x 100mm como preconiza a NBR 12770:1992. A tensão máxima de ruptura ( $q_u$ ) foi obtida no ensaio de compressão uniaxial realizado em prensa universal com velocidade controlada.



Figura 2. Corpos de prova para compressão simples

Fonte: própria.

Realizou-se ensaios de resistência ao cisalhamento com amostra moldada a partir de um cilindro compactado na  $h_{ot}$  e na densidade seca máxima admitindo-se para tanto uma variabilidade de 1% e, relação aos dados obtidos na curva de compactação. Para cada teor moldou-se 3 amostras os quais são submetidos a um esforço normal e depois a um esforço cisalhante, o qual provoca o deslocamento de uma das partes do solo moldado numa caixa bipartida com  $36,24 \text{ cm}^2$  de área e 2,25 cm de altura.

As amostras foram submetidas ao ensaio na condição inundada, com três estágios de carregamento vertical. As forças normais utilizadas para os estágios 1, 2 e 3 foram de 0,1kN, 0,3kN e 0,5kN, respectivamente, resultando em tensões normais aproximadas de 29kPa, 89kPa e 148kPa.

Após, utilizando-se planilha eletrônica (excel) analisou-se e comparou-se os dados obtidos como fica demonstrado nos itens que seguem abaixo.

### 3. RESULTADOS E ANÁLISES

Uma vez caracterizados os materiais da pesquisa, moldados os CPs, executou-se os ensaios e coletou-se os dados produzidos. Após, tabulou-se e analisou-se através de cálculos em planilha eletrônica e gráficos.

A caracterização do solo foi realizada anteriormente por Broering & Silva (2018) mostrando-se tratar de uma areia siltosa, desuniforme e mal graduada, com limite de liquidez de 36% e de plasticidade 29%, portanto, o índice de plasticidade (IP) ficou em 7 (LL-LP) indicando um solo fracamente a medianamente plástico.

A massa específica dos grãos é da ordem de  $2,56 \text{ g/cm}^3$ . A fibra PET, obtida por doação, teve sua massa específica determinada pelo método do picnômetro e obteve-se o valor de  $1,34 \text{ g/cm}^3$ . O comprimento de fibra utilizado na pesquisa é de 15 mm (Nichele, 2020).

#### 3.1 Curvas de compactação

As curvas de compactação obtidas para os 4 diferentes teores estudados podem ser observadas na figura 3:

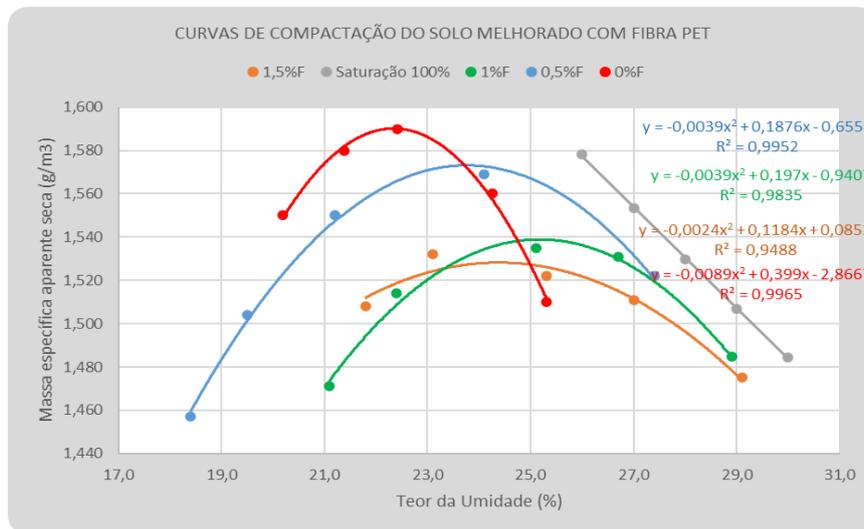


Figura 3: Curvas de compactação das misturas

Fonte: própria

Quanto maior o teor de fibra PET menor é a densidade aparente seca máxima obtida para o solo com adição (Figura 3). Ou seja, a inserção de fibra PET, material com menor densidade, ocupando o lugar de partículas de solo, material com maior densidade, fez com que a massa da mistura diminuísse. O ensaio realizado para todos os teores utilizou a mesma energia de compactação então, buscando-se compreender o que levou à esta diminuição da massa específica aparente seca máxima, determinou-se o índice de vazios e a porosidade para os corpos de prova utilizados nas curvas de compactação (tabela 1):

Tabela 1: Porosidade e índice de vazios das curvas de compactação

Variação da porosidade					Variação do índice de vazios				
Corpo de Prova	0%F	0,5%F	1%F	1,5%F	Corpo de Prova	0%F	0,5%F	1%F	1,5%F
CP 1	0,39	0,37	0,43	0,38	CP 1	0,65	0,60	0,74	0,62
CP 2	0,38	0,38	0,41	0,39	CP 2	0,62	0,62	0,69	0,65
CP 3	0,38	0,39	0,40	0,40	CP 3	0,61	0,65	0,67	0,67
CP 4	0,39	0,40	0,40	0,41	CP 4	0,64	0,67	0,67	0,70
CP 5	0,41	0,41	0,42	0,42	CP 5	0,70	0,70	0,72	0,72

Os valores de porosidade e índice de vazios das amostras aumentam conforme se aumenta o teor de adição de fibra até o valor de 1%F de adição. Entre os teores 1%F e 1,5%F parece haver uma estabilização nos valores dos vazios ocupados pela fibra, água e ar, o que corrobora com a variação de densidade seca máxima mostrada nas curvas de compactação (Tabela 2):

Tabela 2: Resultados curvas de compactação

Teor da mistura	(0%F)	0,5%F	1%F	1,5%F
Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,594	1,573	1,539	1,529
Umidade ótima (%)	22,5	23,9	25,1	24,4

Feuerharmel (2000) cita que o primeiro efeito percebido pela inclusão de fibras ao solo é percebido na compactação, pois, forma uma estrutura distinta daquela sem adição e ainda, diz que, mantendo-se a energia de compactação, a inclusão de fibras provoca um aumento no índice de vazios do solo e que, este efeito será mais ou menos pronunciado a depender do atrito provocado entre o solo e a fibra.

Em relação à variação a umidade ótima ( $h_{ot}$ ) verificou-se que, tendo-se o solo natural (0%F) como referência, todas as misturas obtiveram uma diminuição no teor de umidade ótima porém, o incremento não foi proporcional ao teor de fibra.

### 3.2 Resistência uniaxial

Os valores obtidos de tensão máxima de ruptura ( $q_u$ ) e deformação específica médios (obtidos a partir de 3 CPs), observados no ensaio de compressão simples, são mostrados na tabela 3 abaixo:

Tabela 3: Dados do ensaio à compressão

<b>Resultados ensaio de compressão uniaxial</b>		
<i>Amostra</i>	<i><math>q_u</math> (MPa)</i>	<i>Deformação específica média %</i>
0%F (Broering & Silva (2018))	0,47	2,73
0,5%F	0,27	3,80
1%F	0,45	11,36
1,5%F	0,64	14,08

Boering & Silva (2018) ao estudar o solo natural (0%F) obtiveram uma tensão máxima de ruptura de 0,47 Mpa. Já para os demais teores verifica-se um acréscimo na tensão máxima de ruptura ( $q_u$ ) com o aumento do teor de fibra, porém, há também um aumento na deformação específica da mistura.

Comparando-se o solo 0%F com o 1,5%F verifica-se um incremento na  $q_u$  da ordem de 1,36 vezes. Nos teores de 0,5%F e 1%F, no entanto, houve uma redução da tensão máxima de ruptura comparando-se ao solo 0%F e, um aumento na deformação. Os CPs foram moldados em diferentes teores de umidade, cada um na respectiva umidade ótima, com a diferença máxima de 2,6% em relação ao teor de referência (0%F) (Tabela 2), o que não é considerada uma variação significativa.

### 3.3 Resistência ao cisalhamento

Broering & Silva (2018) obtiveram para 0%F o valor de coesão igual a 9,1 KPa e ângulo de atrito interno de 30,2°. Para o solo com adição de fibra obteve-se os resultados obtidos de envoltória de tensões são os mostrados na figura abaixo (Figura 4):

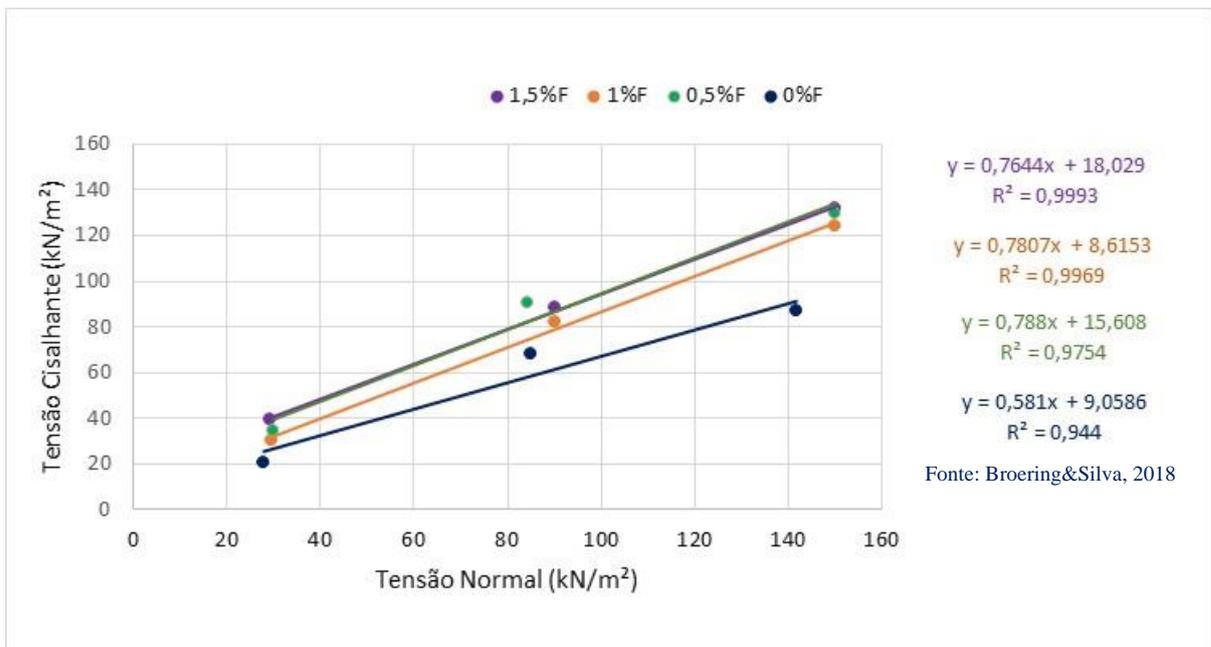


Figura 4. Envoltórias de tensão para o solo com adição de fibra PET

Fonte: própria

Os parâmetros de coesão e ângulo de atrito para o solo natural e com adição obtidos das envoltórias seguem na tabela 4:

Tabela 4. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto

Amostra	Coesão (KPa)	Ângulo de atrito
0%F	9,1	30,2
0,5%F	15,6	41,6
1%F	8,6	41,0
1,5%F	18,0	41,6

Buscou-se averiguar a existência de uma correlação entre os parâmetros obtidos e o teor de fibra adicionado através da análise dos dados em planilha eletrônica. Para o valor de ângulo de atrito, parece haver uma correlação polinomial e, portanto, para o solo analisado, nas condições em que foi avaliado, pode existir um teor 'ideal' de mistura, em torno de 1%, onde, a partir do qual, a incorporação da fibra não causa ganho quanto à resistência ao cisalhamento (Figura 5).

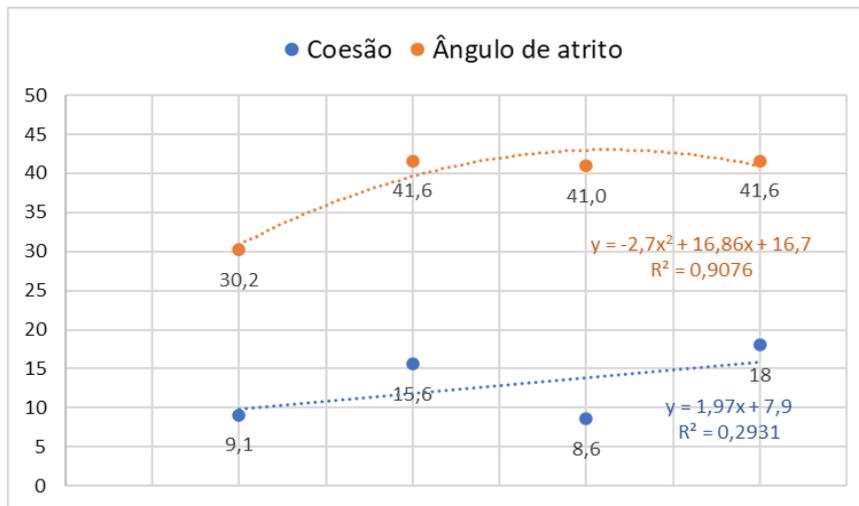


Figura 5: Correlação entre os parâmetros do solo no cisalhamento e o teor de fibra PET aleatoriamente distribuída

Fonte: própria

Para o parâmetro coesão, não se observou correlação alta entre os valores e o teor de adição de fibra ( $r^2$  maior que 0,9) tendo-se analisado as possibilidades de correlação polinomial, linear, logarítmica e de potência. Portanto, há o aumento da coesão, mas não se percebe haver uma proporcionalidade entre o teor de adição e o aumento direto do valor da coesão do solo melhorado. Entende-se que a coesão é uma força de ligação entre as partículas, normalmente, sua análise e interpretação em misturas de solos é mais bem visualizada com adição de agentes cimentantes como cal, cimento, betume, etc. Os filamentos PET parecem envolver apenas uma parte das partículas (não todas) e atua mais no imbricamento do esqueleto sólido do arranjo estrutural, do que efetivamente no aumento da coesão entre os grãos. Por isso, acredita-se que o acréscimo de resistência gerada pela fibra PET, neste caso, seja mais expressiva sobre o ângulo de atrito do que a coesão. O aumento da coesão mostrado nos resultados é provavelmente reflexo do aumento global da resistência ao cisalhamento e não efetivamente um ganho de coesão verdadeira.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios realizados mostram haver ganhos nos parâmetros analisados da areia siltosa, pela adição de fibra PET aleatoriamente distribuídas, tanto na tensão máxima de ruptura quanto no ângulo de atrito do solo.

Na tensão máxima de ruptura, comparando-se o solo 0%F com o 1,5%F verificou-se um incremento na  $q_u$  da ordem de 1,36 vezes. A coesão do solo com 1,5%F ficou 1,92 vezes maior em relação ao 0%F e o ângulo de atrito ficou 1,38 vezes maior para o mesmo comparativo. Percebeu-se haver uma correlação exponencial entre a variação do ângulo de atrito à medida em que o teor de adição aumenta, porém não se observou a mesma relação para a coesão do solo, a qual aumentou, mas sem aparente relação com o incremento de fibra no solo.

Mishra & Gupta (2018) avaliaram a utilização de fibra de garrafa PET e cinza volante em solo argiloso de baixa plasticidade para subleito de pavimento. Os autores perceberam incremento do ângulo de atrito e da coesão do solo na ordem de 2,04 vezes para as amostras saturadas, no ensaio de cisalhamento direto, com os valores máximos obtidos para o teor de 1,2% de fibra em relação ao solo seco. Nesta pesquisa, também se percebeu um incremento destes parâmetros, como citado anteriormente.

Koomishi & Palassi (2022), Ferreira et al. (2021), Lucarelli (2018) e Feuerharmel (2000) já haviam apontado em suas pesquisas os benefícios da adição de fibra PET em diferentes teores para melhoria de propriedades mecânica dos solos de diferentes solos o que corrobora com os resultados desta pesquisa.

Os resultados são promissores para utilização da fibra PET visando provocar melhorias em solos utilizados como camadas de pavimento. Para complementar estes estudos os autores realizadas ensaios de CBR cujos resultados são apresentados noutra artigo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa e ao IFSC pela infraestrutura oferecida.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 6459: Solo: Determinação do limite de liquidez: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. 7180: Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. 7181: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. 7182: Solo: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. 12770: Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D3080: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. PA, USA, 2011.

BROERING, W. B.; SILVA, P. O.; Caracterização Geotécnica e Dimensionamento de pavimentos semirrígidos em solos residuais de Biguaçu/SC; Trabalho de Conclusão de curso, Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, 2018.

Cordoaria Brasil; Cordoaria Brasil – produtos; disponível em: <http://www.cordoariabrasil.com.br/produtos>. Acessado em 03/03/2022.

FERREIRA, J. W. S.; SENEZ, P. C.; CASAGRANDE M. D. T.; Pet fiber reinforced sand performance under triaxial and plate load tests. In.: Case Studies in Construction Materials. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00741>

FEUERHARMEL, M. R.; Comportamento de solos reforçados com fibras de polipropileno, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 133 p., 2000.

KOOHMISHI, M.; PALASSI, M.; Mechanical Properties of Clayey Soil Reinforced with PET Considering the Influence of Lime-Stabilization. In.: Transportation Geotechnics. Elsevier. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100726>

LUCARELLI, Daniely Camargo. Estudo do comportamento mecânico de solos reforçados com fibras de Polietileno Tereftalato (PET) de distribuição aleatória. 2018. 169 f. Dissertação (Magister Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

MISHRA Brajesh, GUPTA Mohit Kumar, Use of randomly oriented polyethylene terephthalate (PET) fiber in combination with fly ash in subgrade of flexible pavement, Construction and Building Materials, v. 190, pp. 95–107, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.074>

NICHELE, C. D.; Adição de Fibras de Polímero Polietileno Tereftalato a um Solo Silte Argiloso com Vistas à Melhoria de suas Propriedades Físicas e Mecânicas. TCC do curso de Bacharelado em Engenharia Civil do IFSC – Campus Florianópolis, 2020. Disponível em:

[http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/gta/files/2021/12/TCC\\_CAROLINA\\_DUTRA\\_VERSAOFINAL-1.pdf](http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/gta/files/2021/12/TCC_CAROLINA_DUTRA_VERSAOFINAL-1.pdf). Acessado em 03/03/2022.

SILVA, D. A.; BETIOLI, A. M.; GLEIZE, P. J. P.; ROMAN, H. R.; GÒMEZ, L. A.; RIBEIRO, J L. D; *Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials*; Cement and Concrete Reaserch, Elsevier, 2005.