

Análise do comportamento mecânico de misturas de um solo argiloso com fibras de pet e cal hidratada

Gabriella Machado Dal Pont (1), Ingrid Milena Reyes Martinez (2), Pedro Arns (3)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) gabriella.mdalpont@gmail.com, (2) ingridmilenareyes@gmail.com, (3) par@unesc.net

Resumo: O presente estudo possui como objetivo avaliar o emprego de fibras derivadas da reciclagem de garrafas de PET juntamente com a cal hidratada no ramo da geotecnia, com a finalidade de utilizar o compósito como uma alternativa para reforço de aterro sobre solos moles, estabilização de solos e base de fundações superficiais, visando a sustentabilidade. Para a análise do potencial das misturas foram executados ensaios de Índice Suporte Califórnia, Resistência à Compressão Simples, Resistência à Tração por Compressão Diametral e Microscopia Eletrônica. Foram utilizadas fibras de PET de 10 milímetros de comprimento e 1,4 dtex, inseridas aleatoriamente na massa de solo, onde as seguintes misturas foram realizadas: solo com adição de 0,05% de fibra, solo com adição de 2% de cal e solo com adição de 0,05% de fibra e 2% de cal. Os resultados mostraram que o comportamento do solo argiloso com a adição de fibra de PET melhora os parâmetros como ductilidade e coesão, bem como a redução de propagação de fissuras, sendo a cal a responsável pelo pequeno aumento de resistência do compósito.

Palavras-chave: reforço de solo; estabilização de solo; sustentabilidade.

Analysis of mechanical behavior of mixtures of clay soil with pet fibers and hydrated lime

Abstract: This study aims to evaluate the use of fibers made from recycled PET bottles with hydrated lime for geotechnical applications, in order to evaluate the compound soil/lime/PET fiber as an alternative to strengthen landfills founded on soft soils, soils stabilizer and shallow foundation reinforcement, aiming sustainability. To analyze the compound potential were performed the following tests: California Bearing Ratio (CBR), unconfined compressive strength, tensile strength by diametric compression and, electronic microscopy. PET fibers with 10 millimeters length and 1,4 dtex were used and randomly distributed into the soil mass. The mixtures studied were prepared as follows: soil with 0,05% fiber addition, soil with 2% lime addition, and soil with addition of 0,05% fiber and 2% lime. The results show that clayey soil with PET fiber addition improved properties such as ductility and cohesion, as well as the reduction of fissure propagation, with small increase of strength due to lime addition into the compound.

Key-words: soil strength; stabilizer soil; sustainability.

Introdução

O desenvolvimento tecnológico cresce de forma desenfreada, baseando-se na produção e consumo em massa. Apesar de o conhecimento tecnológico avançar de forma espantosa, alguns aspectos fundamentais são postos em segundo plano, como administração dos resíduos sólidos gerados (LOPES, 2006). Nesse contexto, a reutilização de resíduos torna-se uma necessidade, tendo em vista o atual comprometimento dos recursos naturais.

A produção e consumo de embalagens de polietileno tereftalato (PET) anualmente no Brasil é exorbitante, sendo que a cada ano esse número tende a aumentar. Segundo Associação Brasileira do PET (2015) no ano de 2015 foram consumidos aproximadamente 537 mil toneladas, porém, apenas 51% deste volume foi reciclado. Ou seja, cerca de 263 mil toneladas tiveram um destino impróprio, tornando-se lixo.

De acordo com Santos (2005), qualquer destino dado para estes resíduos, diferente aos aterros sanitários, são soluções viáveis para diminuir a degradação ambiental. Um dos possíveis empregos seria a inclusão destes em obras geotécnicas, reduzindo, assim, os problemas ambientais relacionados, além de diminuir o custo das obras e estimular pesquisas e investimentos mais aprofundados na área.

Diversos estudos têm demonstrado a utilização de diferentes tipos de fibras como reforços de materiais geotécnicos de fundações rasas ou pavimentos, dentre os quais podem ser citados o uso de fibras metálicas (FATANI et al., 1991), fibras vegetais (AGUILAR, 2015; BOLAÑOS, 2013; MARTINS, 2014; SALES, 2011) e fibras poliméricas (CALDEIRA, 2012; SENEZ, 2016), sendo que as fibras de PET enquadram-se na última categoria citada.

Para Taylor (1994), Illston (1994) e Hannant (1994) o potencial das fibras está no estado pós-fissuração, onde o compósito contribui de forma efetiva na resistência do solo, aumentando a capacidade de absorver energia. Tal fato ocorre, pois a deformação necessária para que ocorram fissuras na matriz de solo é muito inferior à elongação das fibras, nas quais pouco ou nenhum aumento de tensão de fissuração é esperado.

As fibras não impedem a formação de fissuras, mas são capazes de aumentar a resistência à tração pelo controle da propagação das mesmas, mantendo as interfaces das fissuras juntas, melhorando as propriedades mecânicas no estado pós-fissuração, ou seja, aumentando a ductilidade e a tenacidade da matriz, além de reforçar o solo sobre todos os

tipos de carregamento que provocam tensões de tração, como a tração indireta, flexão e cisalhamento (TAYLOR, 1994; HANNANT, 1994).

Porém, as adições de fibras não alteram o comportamento expansivo dos solos argilosos. Para melhorar a expansividade, geralmente são utilizados agentes químicos como estabilizantes. Um dos estabilizantes químicos mais empregados é a cal. De acordo com Meliande (2014), a cal melhora o comportamento do solo, modificando propriedades como a resistência ao cisalhamento, a permeabilidade e a compressibilidade. A quantidade de cal a ser adicionada varia de acordo com as características do solo a ser aplicado, sendo que em solos argilosos o teor de cal inserido é considerado pequeno, somente para desenvolver as reações da fase rápida, tendo como resultado redução de plasticidade, melhorias de trabalhabilidade e aumento da resistência à erosão.

Portanto, este estudo possui como objetivo analisar o comportamento geotécnico de um solo argiloso reforçado com fibra de PET e cal, com a finalidade de estabelecer dosagens e parâmetros que cumpram os requisitos técnicos, para a utilização deste compósito como material de reforço para aterros sobre solos moles, estabilização de encostas e base de fundações superficiais. Para isso, os corpos de prova preparados foram caracterizados por meio dos ensaios de Índice de Suporte Califórnia (CBR), Resistência à Compressão Simples (RCS), Resistência à Tração por Compressão Diametral e Microscopia eletrônica.

Materiais e métodos

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados os seguintes materiais exibidos na Figura 1.



Figura 1. Materiais utilizados: (a) solo de Formação Geológica Palermo, (b) fibra de PET, (c) cal hidratada

O solo utilizado nesse trabalho foi coletado no campus do Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), localizado no município de Criciúma, no estado de Santa Catarina. Tal solo é classificado como solo argiloso pertencente à Formação Geológica Palermo, composto por um pacote de ritmitos com interlaminação de areia-silte e argila, onde por meio da alternância de tonalidades claras e escuras fica evidenciado a intercalação de leitos arenosos e siltico-argiloso. (KREBS, 2004).

A caracterização do solo argiloso de Formação Geológica Palermo, em sua forma natural, é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização do solo natural (Fonte: Iparque, 2018)

Características	Resultados
Limite de Liquidez	60%
Limite de plasticidade	37%
Índice de plasticidade	23%
Índice de grupo	18
Classificação TRB	A7-5
Umidade ótima de compactação (energia Proctor Normal)	27,7%
Densidade máxima seca (energia Proctor Normal)	1,342 g/cm ³
CBR	4,6%
Expansão	6,01%

As fibras ou Alya Eco, como são chamadas comercialmente, foram produzidas a partir da reciclagem de embalagens de PET e doadas pela empresa M&G Fibras do Brasil Ltda., localizada no município de Poços de Caldas, no estado de Minas Gerais.

Foram usadas fibras de PET de 10 milímetros de comprimento e 1,4 dtex. Dtex é a unidade de medida representativa que indica a espessura dos filamentos das fibras. A Tabela 2 mostra algumas das propriedades mecânicas das mesmas.

Tabela 2. Propriedades mecânicas das fibras de PET (Fonte: M&G Fibras do Brasil Ltda, 2016)

Densidade (g/cm ³)	Resistência à tração (Mpa)	Módulo de Young (Mpa)	Alongamento até a ruptura (%)
1,27	81	2800	70

A cal utilizada na realização das misturas foi a “Cal hidratada CH-III” da marca Cerro Branco. Segundo Silva (2009), a cal é obtida por meio da calcinação de rochas carbonatadas cálcicas e magnesianas, submetidas a altas temperaturas, em torno de 1000°C.

A norma NBR 7175/2003 descreve que a cal hidratada é classificada de acordo com os teores de óxidos não hidratados e de carbonatos existentes, sendo que na Tabela 3 são apresentadas as propriedades químicas fornecidas pelo fabricante para a cal hidratada usada, que estão de acordo com as exigências da norma citada.

Tabela 3. Propriedades químicas e físicas da cal hidratada (Fonte: Cerro Branco, 2016)

Compostos	Limites
Óxidos totais (base não volátil)	≥88%
Óxidos totais não hidratados	≤15%
CO ₂ na fábrica	≤13%
CO ₂ no depósito	≤15%
Retido em peneira #30 (0,600mm)	≤0,5%
Retido em peneira #200 (0,075mm)	≤15%
Retenção de água	≥70%
Incorporação de areia	≥2,2%
Estabilidade	Ausente de cavidades ou protuberâncias
Plasticidade	≥110%

Para a preparação das amostras foram determinadas as seguintes misturas e nomenclaturas descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Nomenclatura e porcentagem das misturas

Nomenclatura da mistura	Solo (%)	Fibra (%)	Cal (%)
Solo natural	100	0	0
2C	98	0	2
0,05F	99,95	0,05	0
0,05F-2C	97,95	0,05	2

A princípio foi caracterizado o solo em sua forma natural, com a finalidade de classificá-lo pelo sistema *Transportation Research Board* (TRB). Posteriormente foi realizado o ensaio de compactação aplicando a energia Proctor Normal (PN) para determinar a sua umidade ótima e a densidade máxima seca.

Todos os corpos de prova deste estudo foram preparados utilizando a umidade ótima de compactação e a densidade máxima seca do solo natural.

A determinação da resistência à compressão através do ensaio de CBR foi realizado aplicando três formas de cura diferentes antes do rompimento. Assim, um primeiro grupo de corpos de prova foi submetido à cura submersa durante 96h; um segundo grupo esteve em cura exposta ao tempo durante sete dias e, um terceiro grupo foi exposto ao tempo por sete dias seguido de imersão por 96h. A expansão somente foi medida em corpos de prova que foram submersos.

Para determinação da Resistência à Compressão Simples e Resistência à Tração por Compressão Diametral, foram moldados corpos de prova cilíndricos de dois tamanhos diferentes, um primeiro grupo com as dimensões do cilindro usado no ensaio de compactação (diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm), e um segundo grupo de corpos de prova com dimensões reduzidas (diâmetro de 5 cm e altura de 10 cm). Os menores corpos de prova foram rompidos nas idades de 0 e 15 dias, enquanto os demais nas idades de 0 e 7 dias.

Para calcular a resistência à tração dos corpos de prova rompidos por compressão diametral foi utilizado a Eq. 1. apresentada abaixo.

$$\sigma_R = \frac{2F}{100 \pi D H} \quad (1)$$

em que:

σ_R = resistência à tração, Mpa;

F = carga de ruptura, N;

D = diâmetro do corpo de prova, cm;

H = altura do corpo de prova, cm.

Após determinação das propriedades mecânicas, os corpos de prova rompidos foram analisados por meio de microscopia eletrônica com a finalidade de verificar a interação dos materiais do compósito. Na figura 2 é apresentado o fluxograma da metodologia utilizada, enquanto as normas referentes a cada ensaio estão expostas na Tabela 5.

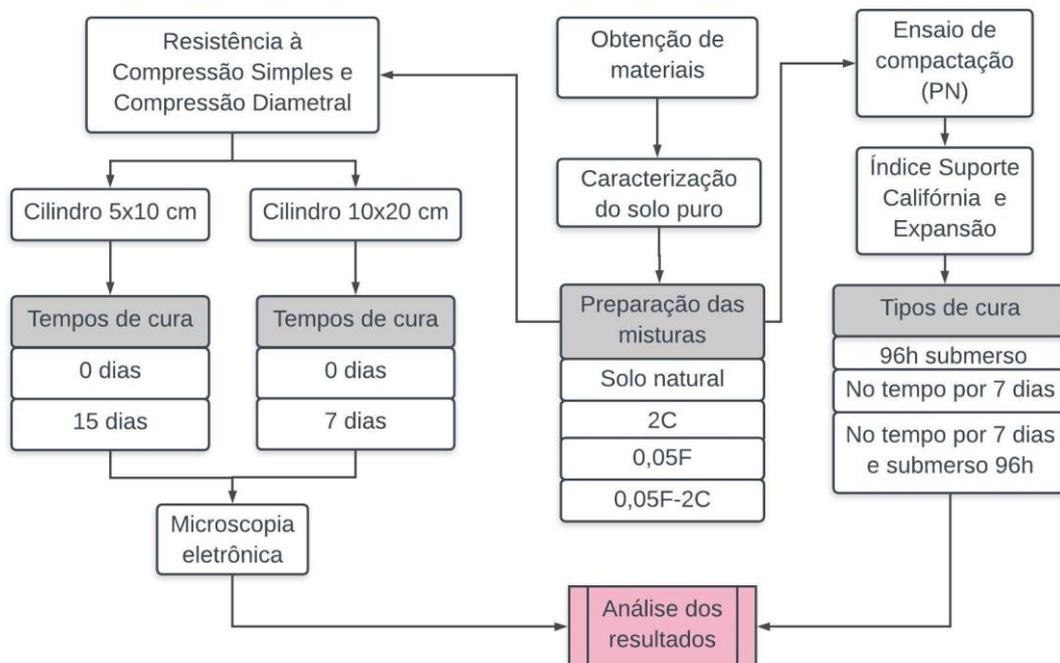


Figura 2. Fluxograma da metodologia realizada

Tabela 5. Normas ABNT utilizadas na realização dos ensaios

Título da norma	Código da norma
Ensaio de Compactação	NBR 7182/2016
Índice de Suporte Califórnia	NBR 9895/2016
Ensaio de compressão	NBR 5739/2007
Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	NBR 7222/2011

Resultados e discussões

A Figura 3 apresenta os resultados referentes ao CBR e a expansão das misturas.

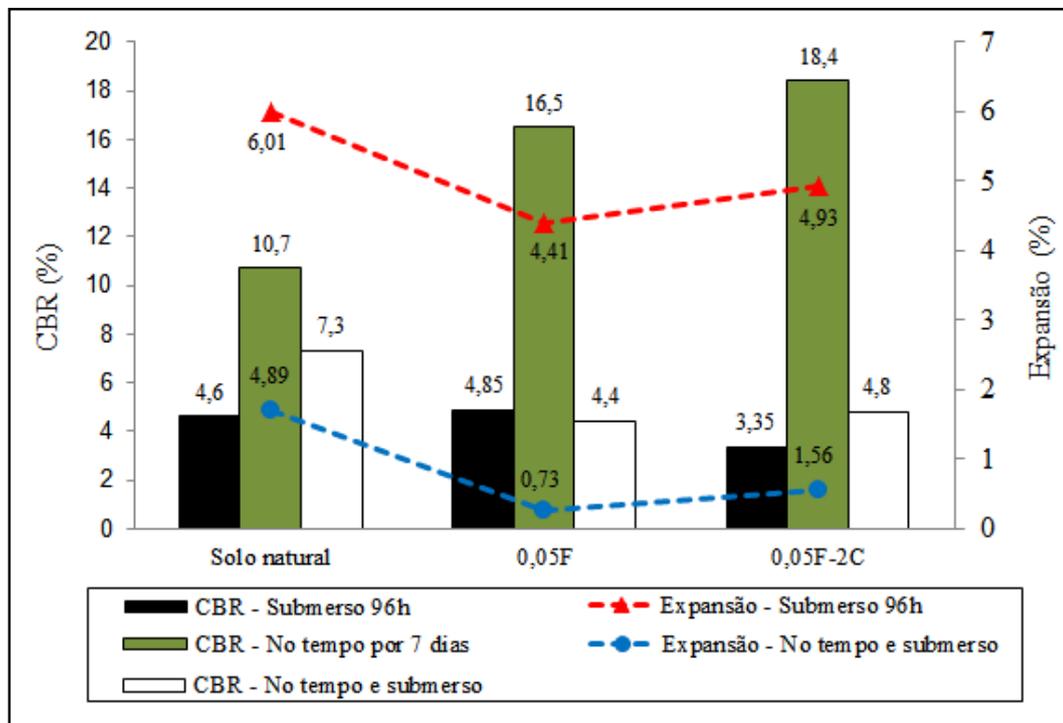


Figura 3. CBR (%) e Expansão (%)

A partir da análise dos dados referentes ao CBR, observou-se comportamentos diferentes, dependendo da forma de cura das amostras. Assim, para amostras curadas de forma submersa durante 96 horas, o valor do CBR da amostra 0,05F elevou em 5,4% o valor do CBR do solo natural, enquanto a adição de fibra e cal (amostra 0,05F-2C) reduziu este valor em aproximadamente 27%. Provavelmente a inserção de fibras facilitou o ingresso da água dentro do corpo de prova e assim a resistência do solo ficou afetada e o CBR diminuiu.

Já com relação as amostras submetidas a cura exposta ao tempo no período de sete dias sem submersão, os resultados obtidos foram positivos com adição de cal e fibra. A adição

de fibra aumentou 54% o valor do CBR do solo natural, enquanto a adição conjunta de fibra e cal incrementou em 72% este mesmo valor, apresentando significativa melhora. Tal melhora no valor do CBR pode ser atribuída ao fato de que estas amostras não tiveram contato com água, logo a resistência não ficou comprometida pela presença das fibras. A interação da mesma junto com o solo gerou um melhor entrosamento e aumento da resistência.

Por fim, quando os corpos de prova foram submetidos a cura exposta pelo período de sete dias, seguido de imersão por 96h, ocorreu a redução dos valores do CBR quando comparados ao do solo natural. A adição de fibra ocasionou a redução de 40%, enquanto a adição de cal e fibra reduziu o valor do CBR em 34%. Este comportamento era esperado, pois como dito acima, os corpos de prova com fibra (com ou sem cal adicionada) tendem a gerar baixos valores de CBR quando submersos, pois as fibras geram caminhos que facilitam a percolação da água e podem até agir como planos de fraqueza dentro dos corpos de prova quando umedecidos.

Com relação a expansividade do solo, nos dois casos, com cura submersa e com cura exposta ao tempo por sete dias e após submersão, a adição de fibra e adição de fibra e cal reduziram a expansividade quando comparados ao solo natural. Conforme as especificações estabelecidas pelo DNIT (2006) e mostradas na Tabela 6, apenas a mistura de solo-fibra (0,05F) poderia ser utilizada como reforço do subleito, já que esta mistura obteve um CBR maior que 2% e simultaneamente uma expansão menor que 1%.

Tabela 6. Valores de CBR e expansão requeridos para a utilização do solo em pavimentos flexíveis
(Fonte: DNIT, 2006)

Tipo	CBR	Expansão
Subleito	$\geq 2\%$	$\leq 2\%$
Reforço do Subleito	Maior que do subleito	$\leq 1\%$
Sub-base	$\geq 20\%$	$\leq 1\%$
Base	$\geq 80\%$	$\leq 0,5\%$

A RCS deste estudo foi avaliada nos quatro tipos de misturas descritos na Tabela 4, sendo que as amostras de solo natural e de solo-fibra não foram submetidas a cura pois não apresentariam melhora significativa em seus resultados, já que não há a possibilidade de reações nas mesmas em ausência de cal. As Figuras 4 e 5 mostram os resultados obtidos nos ensaio de Resistência à Compressão Simples.

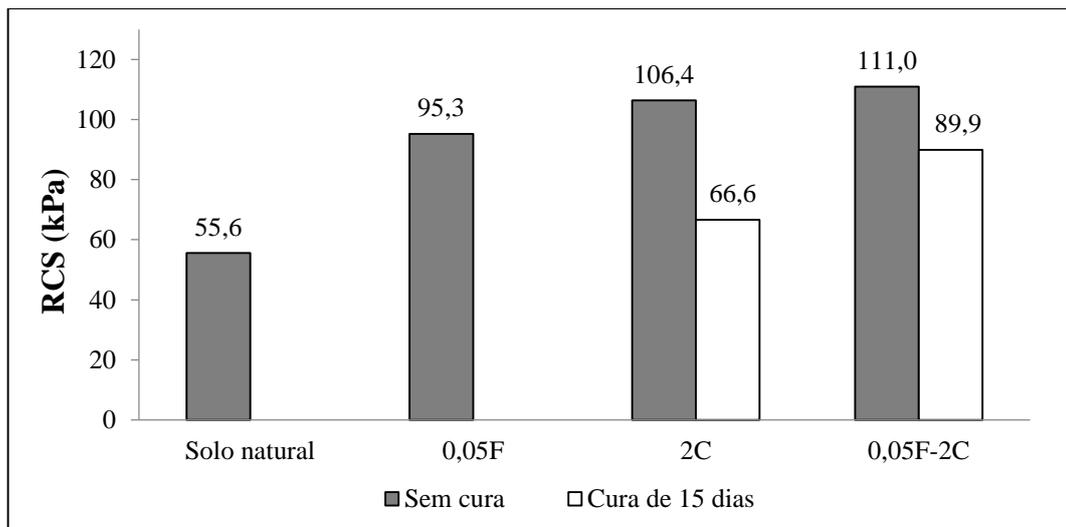


Figura 4. Resistência à compressão simples (RCS) para corpos de prova de dimensão: diâmetro 5 cm e altura 10 cm

Observou-se que os resultados dos corpos de prova, de dimensões 5 cm de diâmetro x 10 cm de altura, sem cura, foram superiores do que quando submetidos a cura de 15 dias (Figura 4). Na mistura de fibra e cal tal fato poderia ser explicado devido a fibra absorver a umidade do solo durante o período de cura, de modo que as reações químicas entre o solo e a cal não acontecessem, visto que a água é um item imprescindível para a ocorrência das reações. Outra possível explicação seria que a umidade utilizada em todas as amostras foi a umidade ótima do solo natural e, conforme Azevedo et al. (1998), a utilização de cal aumenta a umidade ótima de compactação em torno de 0,5 a 1,0%, devido a necessidade que a cal tem de se hidratar, para iniciar as reações com o solo. Por último, a dificuldade para a homogeneização no processo de mistura poderia ser considerada outra razão, uma vez que as fibras emaranhavam-se com o solo, criando assim acúmulos de fibra em partes específicas do corpo de prova, e desta forma, fez com que estes pontos se tornassem pontos frágeis e passíveis de ruptura, além de que a adição de fibra dificultou o processo de compactação.

Por fim, realizando a análise das amostras sem cura, também referentes aos corpos de prova de dimensões 5 cm de diâmetro x 10 cm de altura, a RCS seguiu os padrões esperados e apresentou melhora conforme o incremento das misturas, adição de fibra, adição de cal e adição de fibra e cal. Somente com a adição de 0,05% de fibra foi possível um acréscimo de resistência de aproximadamente 72% quando comparado com o solo natural, enquanto a adição de cal com cura de 0 dias possibilitou aumento de resistência em torno de 92%. Já com a adição de fibra e a cal, obteve-se um acréscimo de resistência de quase 100%, onde observou-se que a maior parte da resistência foi adquirida com a adição da cal.

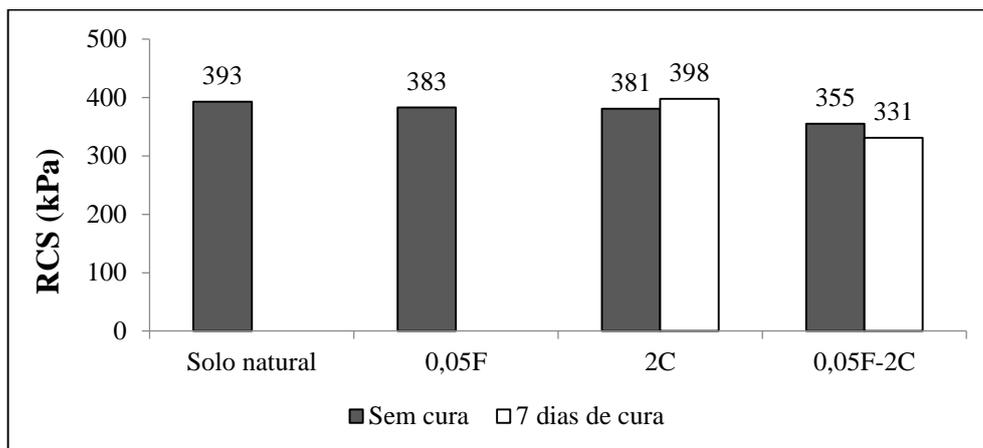


Figura 5. Resistência à compressão simples (RCS) para corpos de prova de dimensão: diâmetro 10 cm e altura 20cm.

Com relação aos corpos de prova de dimensões 10 cm de diâmetro x 20 cm de altura, foi possível confirmar que a adição da fibra prejudicou o desempenho com relação a RCS, pelos motivos já citados acima, visto que a adição de fibra fez com que a RCS decaísse, tanto com cura de 7 dias ou sem cura. Foi possível perceber melhora apenas na mistura de solo e cal (2C) quando submetido a cura de 7 dias, pela possível explicação de que o solo de Formação Geológica Palermo utilizado na moldagem dos corpos de prova dispunham de maior quantidade de argilominerais, que aumentam a resistência das ligações entre os grãos de solo e partículas de cal (OLIVEIRA, 2011), já que os corpos de prova de 5x10 cm e 10x20 cm foram compactados em dias diferentes e portanto, foi utilizado uma parcela de solo distinta.

A resistência à tração por compressão diametral foi avaliada em misturas sem cura (0 dias) e em amostras com 7 e 15 dias de cura. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 6 e Figura 7.

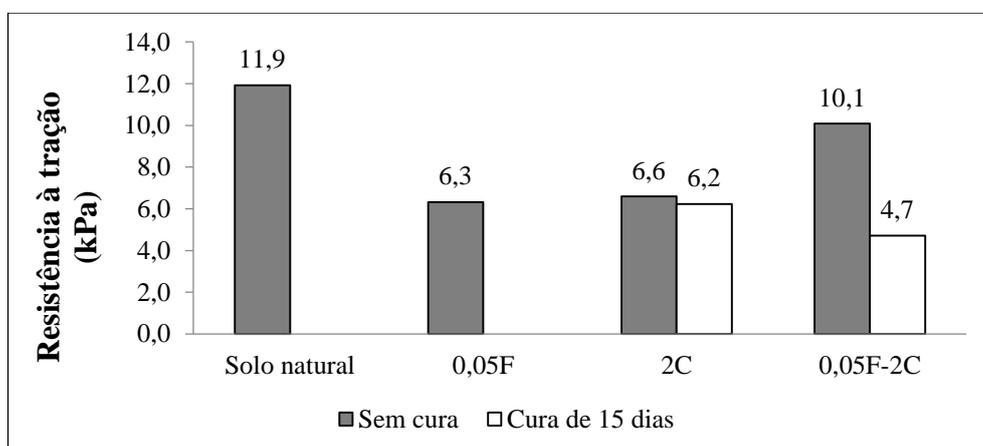


Figura 6. Resistência à tração por compressão diametral para corpos de prova de dimensão: diâmetro 5 cm e altura 10 cm

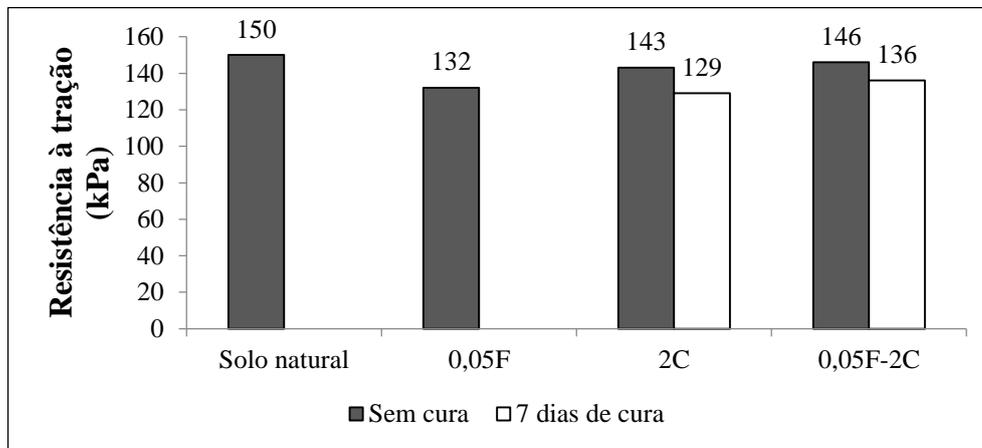


Figura 7. Resistência à tração por compressão diametral para corpos de prova de dimensão: diâmetro 10 cm e altura 20 cm

Na avaliação da resistência à tração por compressão diametral, os resultados obtidos não foram os esperados, tanto quando avaliados em corpos de prova com dimensões de 5cm de diâmetro x 10 cm de altura quanto nos de dimensões de 10 cm de diâmetro x 20 cm de altura, já que a resistência do solo natural foi maior que as demais amostras e outros autores já confirmaram que as fibras tendem a reforçar o compósito sobre qualquer modo de carregamento que induza uma tensão de tração, seja por meio da tração indireta, flexão ou cisalhamento (Taylor, 1994; Maher e Ho, 1993).

Um dos possíveis motivos para tal incoerência seja devido a fatores laboratoriais, como deficiência na moldagem dos corpos de prova, que resultou em falta de planeza do mesmo, que fez com que a força aplicada pela prensa fosse concentrada em pontos específicos e não distribuída ao longo de todo o corpo de prova.

Com a finalidade de confirmar as possíveis causas dos resultados encontrados, realizou-se a microscopia eletrônica. A Figura 8 mostra a interação entre os materiais das misturas. A partir da análise das imagens mostradas na Figura 8, confirmou-se a existência de acúmulos de fibras em locais específicos dos corpos de prova, enquanto em outras partes não foi possível observar a presença de fibras, ou seja, isso ocorreu devido à má homogeneização da mistura. Além disso, a adição de fibra não permitiu que fosse realizada uma boa compactação, já que elas viabilizaram a presença de vazios. Por último, com a adição de apenas cal (mistura 2C), notou-se o preenchimento parte dos vazios.

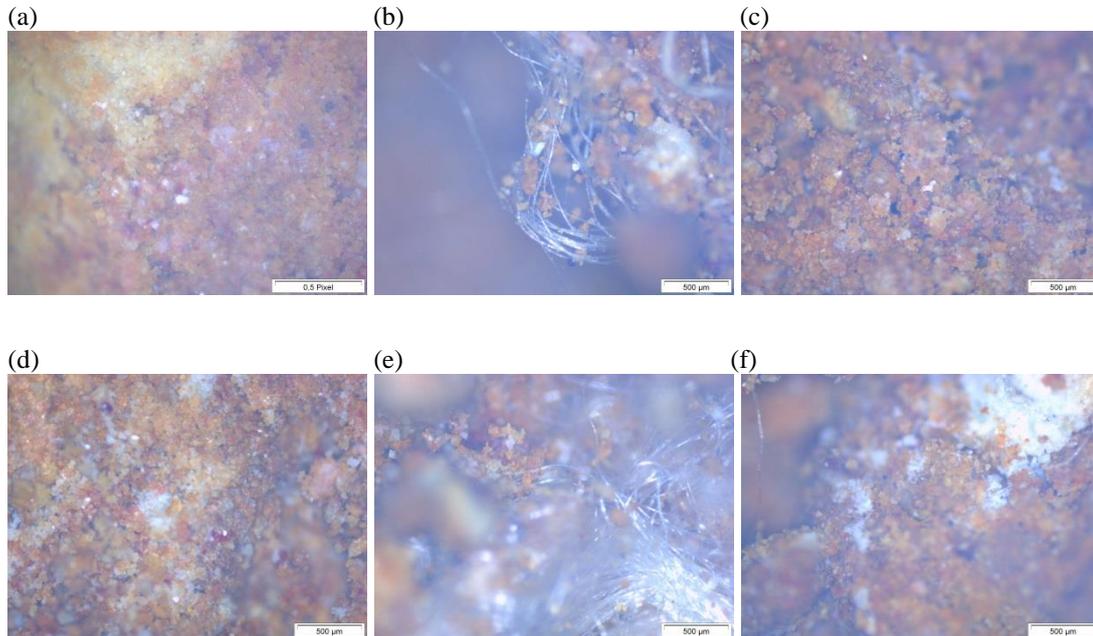


Figura 8. Interação entre as misturas (a) Solo em sua forma natural, (b) mistura de solo-fibra, com acúmulo de fibra em local específico, (c) mistura de solo-fibra, sem nenhuma fibra no local analisado, (d) mistura de solo-cal, (e) mistura de solo-fibra-cal com acúmulo de fibras em local específico e (f) mistura de solo-fibra-cal, com poucas fibras no local analisado

Conclusões

A partir dos resultados obtidos e análises realizadas, conclui-se que:

- ✓ A adição de fibra e cal nas misturas não gera nenhum incremento significativo nos valores de CBR, nas amostras que foram submetidas à submersão previamente ao rompimento. Apenas nas amostras submetidas à cura exposta ao tempo por sete dias, sem submersão, a adição de fibra e cal melhora os valores do CBR das misturas;
- ✓ Tanto a adição de fibra como também a adição de fibra e cal diminuem a expansividade do solo;
- ✓ Com relação à resistência à compressão simples, corpos de prova sem cura apresentam incremento crescente em sua resistência com a adição de fibra e cal, sendo que a maior parte da resistência é adquirida com a adição da cal, tendo a fibra pouco efeito sobre a resistência adquirida. A fibra mostra-se

eficiente nas propriedades mecânicas pós-fissuração, onde ela melhora a ductilidade e coesão do solo;

- ✓ Na resistência à compressão simples, onde as amostras são submetidas a 7 e 15 dias de cura, os resultados não são positivos e tal fato pode ser explicado devido à fibra absorver a umidade do solo durante o período de cura, impedindo que as reações entre a cal e o solo ocorram, pelos possíveis acúmulos de fibra em pontos específicos do corpo de prova, que provocam planos frágeis para ruptura e também pela utilização da umidade ótima do solo natural em vez de a umidade ótima da mistura;
- ✓ Na resistência à tração por compressão diametral os resultados não são positivos e não demonstram benefícios, por possíveis deficiências de moldagem dos corpos-de-prova;
- ✓ Sendo assim, conclui-se que as fibras não são viáveis para o reforço de aterros sobre solos moles, estabilização de encostas e base de fundações superficiais, ao menos que seja criada uma forma de homogeneizar as fibras nas obras em campo.

Como sugestão para trabalhos futuros, para complementar este estudo, podem ser realizadas pesquisas sobre:

- ✓ Reforço de solos arenosos com fibra;
- ✓ Aplicação de maiores teores de cal e maiores tempos de cura nos compósitos de solo/fibra;
- ✓ Misturas de solo/fibra com outros materiais estabilizantes como o cimento;
- ✓ Realizar o ensaio de cisalhamento direto com as misturas avaliadas neste estudo.

Referências bibliográficas

ABIPET. **Décimo Censo da Reciclagem do PET no Brasil**. Associação Brasileira da Indústria do PET, São Paulo, 2015.

AGUILAR, Jaime Rodrigo Tamayo. **Análise do Comportamento Mecânico de um Solo Arenoso Reforçado com Fibras de Coco**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Programa

de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175: Cal hidratada para argamassas.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

AZEVEDO, A. L. C., OLIVEIRA, A. JR., PEDROSA, R. A. e RAMALHO, R. W., “**Estabilização de solos com adição de cal**”. Belo Horizonte, 1998. Dissertação de pós graduação. IPC/PUC. 78p.

BOLAÑOS, Rafael Eduardo Zaccour. **Comportamento Mecânico de um Solo Argiloso Reforçado com Fibras de Coco.** 2013. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CALDEIRA, Inês Margarida Gonçalves. **Resistência e Deformabilidade de uma Areia Estabilizada com Cimento e Fibras de Polipropileno.** 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de pavimentação.** 3ª edição. Rio de Janeiro, 2006.

FATANI, M., Bauer, G., and Al-Joulani, N., **Reinforcing Soil with Aligned and Randomly Oriented Metallic Fibers**, Geotechnical Testing Journal, Vol. 14, No. 1, 1991, pp. 78-87

HANNANT, L. Fiber-reinforced cements and concrete. In: J. M. ILLSTON. **Construction Materials; their nature and behavior.** 2ed. London: J. M. Illston/E & FN Spon, 1994. p.359-403.

ILLSTON, J. M. [Ed]. **Construction Materials; their nature and behavior.** London: E & FN Spon, 2d, 1994. 374p.

KREBS, Antonio Silvio Jornada. **Contribuição Ao Conhecimento Dos Recursos Hídricos Subterrâneos Da Bacia Hidrográfica Do Rio Araranguá, Sc.** 2004. 375 f. Tese (Doutorado) – Curso Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LOPES, Luciana. **Gestão e gerenciamento integrados dos resíduos sólidos urbanos:** Alternativa para pequenos municípios. 2006. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MAHER M. H. and HO Y. C. Behaviour of fibre-reinforced cemented sand under static and cyclic loads. **Geotechnical Testing Journal**, ASTM, 16, No. 3, p.330-338, 1993.

MARTINS, Adriana Paiva de Souza. **Desenvolvimento, Caracterização Mecânica E Durabilidade De Compósitos Solo-Cimento Autoadensáveis Reforçados Com Fibras De Sisal.** 2014. 297 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MELIANDE, Amanda Maria Chrispim. **Análise Do Comportamento De Misturas De Solos Com Cinza Volante De Carvão Mineral E Cal.** 2014. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

NIQUES, Georg's. **Efeito Do Tempo De Maturação Na Microestrutura De Uma Cal Virgem Dolomítica.** 2003. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

OLIVEIRA, R.F.V. **“Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos.”** Dissertação Universidade Federal de Ouro Preto. 2011. Disponível em: < [http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2382/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_An%C3%A1liseSolosModificad os.pdf](http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2382/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_An%C3%A1liseSolosModificad%20os.pdf) > Acesso: 11/11/2017.

OLIVEIRA, Shirley Minnell Ferreira de. **Estudo do comportamento mecânico de misturas de fosfogesso e cal para utilização na construção rodoviária.** 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SALES, Kaliana Cristina dos Santos. **Melhoria De Solos Por Inclusão De Fibras Naturais.** 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SANTOS, Deilton Braga dos. **Estudo do uso de garrafas PET em geotecnia.** 2005. 236 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil da Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

SENEZ, Phillipe Campello. **Comportamento De Uma Areia Reforçada Com Fibras De Polietileno Tereftalato (Pet).** 2016. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016

SILVA, J.O. **Perfil da cal.** Projeto ESTAL – Relatório do Ministério de Minas e Energia, 2009.

SOUZA, Alan Nunes de Siqueira de. **Estudo de mistura solo-cal para base de pavimento rodoviário.** 2015.

TAYLOR, G.D. **Materials in Construction.** London: Longman Scientific & Technical, 2ed, 1994. 284p.