

ANÁLISE DA RESISTENCIA A COMPRESSÃO SIMPLES DE UM SOLO FINO MICRORREFORÇADO COM FIBRAS E CIMENTO

José Carlos Bressan Junior

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade do Oeste de Santa Catarina
jose.cj@unoesc.edu.br

Lucas Quiocca Zampieri

Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Oeste de Santa Catarina
lucas.zampieri@unoesc.edu.br

Rafael Scortegagna

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade do Oeste de Santa Catarina
rafascort33@hotmail.com

Fabiano Alexandre Nienov

Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Oeste de Santa Catarina
fabiano.nienov@unoesc.edu.br

Gislaine Luvizão

Professora do curso de Engenharia Civil da Universidade do Oeste de Santa Catarina
gislaine.luvizao@unoesc.edu.br

Resumo. *O solo é o material responsável por receber e suportar as cargas provenientes das estruturas. Esse trabalho trata do reforço de um solo fino através da adição de cimento e fibras de polipropileno. O solo utilizado é proveniente do município de Joaçaba-SC. Para tal moldaram-se corpos de prova, com cura de 7 e 28 dias. Foram utilizados três teores de cimento, adicionados sobre a massa seca de solo (6%, 8% e 10%) e dois teores de fibra (0,50% e 0,75%), além das misturas sem adição de fibra. Os resultados mostraram que à medida que se adicionou mais cimento, maior foi a resistência à compressão simples obtida. A fibra seguiu o mesmo comportamento do agente cimentante, sendo que, uma maior adição de fibras resultou em uma maior resistência. Os principais ganhos foram registrados para o teor de cimento 10% e misturas com adição de fibras.*

Palavras-chave: Solo-cimento. Fibras. Resistência.

1. INTRODUÇÃO

O solo é um material de construção amplamente utilizado nas obras de engenharia civil e que está distribuído em quantidade incalculável sobre a superfície terrestre. Este material exerce a função primordial em uma obra, que é receber as cargas transmitidas pela estrutura, seja ela uma edificação ou de um pavimento.

Em função dos parâmetros de resistência dos solos, que variam em função de inúmeros fatores, os profissionais de engenharia são colocados em situações que requerem uma troca ou melhoramento deste material, para assim suprirem as solicitações dos projetos. As condições de suporte do solo incompatíveis concebem a obra uma maior complexidade e conseqüentemente demandam maiores gastos em materiais, mão de obra e controle de execução, podendo em alguns casos inviabilizar um simples empreendimento.

Com o propósito de solucionar problemas com as condições de suporte do solo, diferentes técnicas de estabilização são

empregadas a fim de melhorar sua resistência e reduzir os custos de obra. Uma dessas opções é a adição de cimento Portland juntamente com outros materiais.

A adição de cimento ao solo é uma técnica já bastante conhecida e utilizada em obras de pavimentações. Um de seus grandes efeitos é melhorar as características do solo presente no local, aprimorando suas características quando à compressão simples, durabilidade e impermeabilidade. É necessário que se avaliem diversos fatores, dentre estes pode-se citar a quantidade de cimento adicionada, o teor de umidade de compactação, a densidade de compactação e o tempo de cura.

Diante desta perspectiva, analisa-se que historicamente, o reforço de solo através da adição de fibras é uma técnica já empregada pela humanidade. De acordo com Johnston (1994), as fibras quando adicionadas ao solo-cimento, primeiramente tendem a reforçar o solo sobre todos os tipos de carregamento que induzem a tensões de tração, como a tração indireta, a flexão e o cisalhamento. Em segundo plano, essa adição tende a melhorar a ductilidade e a tenacidade de um solo com características frágeis.

O presente trabalho teve por objetivo a análise do comportamento de um solo fino reforçado através da adição de cimento e fibras de polipropileno, buscando o aprimoramento das propriedades de resistência do solo, obtidas através da inserção destes materiais ao solo, quando submetido a ensaios de compressão simples.

2. COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS

Consoante Casagrande (2005) a técnica de melhoria ou reforço de solos, está atrelada a utilização de processos físicos ou químicos que busquem o aprimoramento de propriedades mecânicas, buscando o aumento

da resistência do maciço tratado através da redução de sua compressibilidade e da permeabilidade.

A melhoria das características dos compósitos formados por solo e cimento a partir do reforço com fibras, demonstra uma notável importância nas aplicações práticas de solos artificialmente cimentados, pois assim, espera-se que a união da fibra e o cimento irão produzir um material compósito mais resistente e dúctil quando comparado ao solo apenas cimentado (CONSOLI; PRIETTO e ULBRICH, 1999).

Conforme explana Festugato (2008), o reforço de solos por meio da adição de fibras é interessante em casos onde a resistência pós pico, diante de grandes deformações é um requisito de projeto. Neste caso se sobressaem as aplicações deste reforço em solos sobre fundações diretas e em cobertura de aterros sanitários.

Em consonância com esta questão, Consoli, Prietto e Ulbrich (1999) elucidam que o o reforço de fibra, sem dúvidas, é de grande utilidade para impedir ou minimizar os problemas relacionados à retração, propagação de microfissuras e falha progressiva em estruturas de solos cimentados, como bases de sub-bases de pavimentos.

A modificação das propriedades mecânicas dos solos reforçados com fibras depende das características das fibras, do solo, da tensão de confinamento e do modo de carregamento. Em relação as características das fibras, cita-se a sua resistência à tração, o módulo de elasticidade, o comprimento, o teor e rugosidade. A respeito das características dos solos, pode-se dizer que irá depender da forma e granulometria das partículas, o índice de vazios e o grau de cimentação (SANTOS, 2008).

2.1 Fibras de Polipropileno

Conforme Casagrande (2005), Festugato (2008) e Santos (2008), dividem-se as fibras poliméricas em: fibras de polipropileno, de polietileno, de poliéster e fibras de poliamida. As fibras de polipropileno constituem-se de material que adquire uma consistência plástica mediante o aumento da temperatura, denominado assim de termoplástico.

Classificadas como fibras de baixo módulo, as fibras de polipropileno atuam trabalhando em matrizes cimentícias reforçando o compósito sobre todas as suas propriedades como base, sendo elas a tensão de tração, flexão e tenacidade da matriz (DOBBIN JR. e ROCHA, 2011).

Segundo Teodoro (1999), este tipo de inclusão tem sido usado como reforço de solos argilosos e arenosos estabilizados quimicamente com cal ou cimento, para uso em base e sub-base de pavimentos flexíveis e semirrígidos, bem como em estruturas de muros de gravidade. Esse tipo de fibra, tem um importante potencial de controle de aparecimento de trincas no solo, sendo que o teor de fibra usado permite diminuir a quantidade de estabilizante químico.

Essas fibras possuem uma grande flexibilidade e tenacidade em função de sua constituição; seu módulo de elasticidade gira em torno de 8GPa e sua resistência à tração é de aproximadamente 400 MPa. Além disso, possuem elevada resistência ao ataque de várias substâncias químicas e aos álcalis (TAYLOR, 1994).

Conforme explana Santos (2008), as fibras agem no controle da propagação das fissuras, entretanto não impedem a formação de fissuras no material compósito fibroso, trazendo ganhos às propriedades mecânicas do material pós-ruptura. A inserção das fibras torna uma camada compactada apta a suportar as cargas a que for solicitada e mesmo depois de sofrer grandes deformações, as fibras

continuam atuando como elemento de reforço. (SANTOS, 2008)

Para Taylor (1994), o maior potencial das fibras está no estado pós-fissuração, onde elas contribuem de forma mais efetiva na resistência do material, aumentando a capacidade de absorção de energia. Isso se explica pelo fato de que a deformação necessária para causar fissuras numa matriz cimentada é inferior à elongação das fibras.

Taylor (1994) apresenta os principais fatores relacionados ao desempenho dos compósitos cimentados reforçados com fibras como: o teor presente na mistura, o módulo de elasticidade, aderência entre a fibra e a matriz, a resistência e o comprimento da fibra.

Conforme cita Festugato et al. (2017) As fibras capturam e redistribuem as cargas por meio de sua resistência à tração, mobilizando uma massa mais ampla de solo e, em seguida, melhoram a resposta mecânica do material. O reforço de fibra tem sido satisfatoriamente utilizado em camadas de base cimentadas de pavimento, revestimentos de canal, aterros de pasta cimentada, rejeitos de minas, camada de base cimentada a fundações superficiais e para impedir a liquefação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente realizou-se a caracterização do solo em estudo, por meio de ensaios normatizados, tendo como objetivo classificar e determinar parâmetros importantes para o andamento da pesquisa.

O solo utilizado foi coletado nas dependências da Universidade do Oeste de Santa Catarina, localizado na cidade de Joaçaba-SC (latitude: 27° 9'26.91"; longitude: 51°31'20.38"). O material foi retirado de um corte em um talude existente no local, sendo este armazenado em sacos plásticos e guardados no laboratório da universidade.

3.1 Caracterização do solo

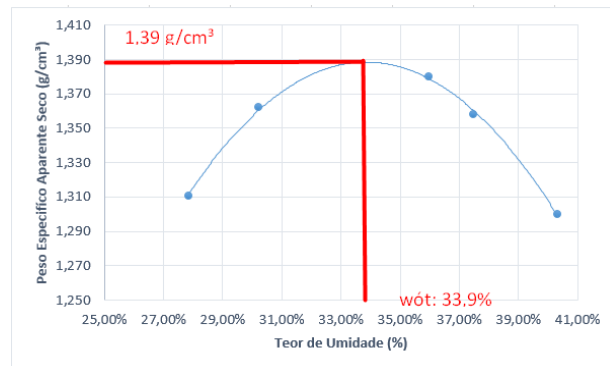
O ensaio de Limite de Liquidez, foi realizado conforme as prescrições da NBR 6459 (ABNT, 2016), obtendo como valor de 55. O Limite de Plasticidade, preconizado pela NBR 7180 (ABNT, 2016), teve como resultado o valor 39. O índice de plasticidade resultou no valor de 16 e de acordo com Caputo (1988), o solo foi classificado como altamente plástico.

Após realizar o ensaio estabelecido pela DNER ME 093 (1994), definiu-se o peso específico real dos grãos como $2,93 \text{ g/cm}^3$.

A análise granulométrica foi realizada conforme as prescrições da NBR 7181 (ABNT, 2016), tendo como resultados as seguintes porcentagens de material: 1,30% de Pedregulho, 3,70% de Areia, 33,55% de Silte e 61,45% de Argila. Caracterizando-o como Argila Siltosa pela Classificação Textural. Para o método do H.R.B, na qual leva em consideração os limites de Atterberg, o solo é classificado como A-7-5. No sistema SUCS, o solo foi classificado como MH (Silte de alta compressibilidade).

O ensaio de compactação em energia normal seguiu as prescrições da NBR 7182 (ABNT, 2016). Foram necessários cinco pontos para a determinação da curva de compactação (Gráfico 1). Por fim, a umidade ótima resultou em 33,90% e o peso específico aparente seco máximo foi de $1,39 \text{ g/cm}^3$.

Gráfico 1 - Curva de compactação Proctor energia normal



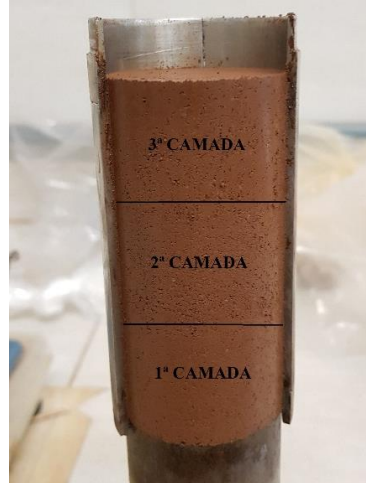
3.2 Moldagem dos corpos de prova

Para moldagem utilizou-se molde de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura. Os corpos de prova foram moldados no Laboratório de Solos da UNOESC campus de Joaçaba.

A quantidade de material para cada CP (solo + cimento + água), ou (solo + cimento + fibra + água) foi fundamentada em valores estabelecidos pelo ensaio de Proctor, na qual foi possível conhecer a umidade ótima e o peso específico aparente seco máximo do solo. A quantidade de água foi adicionada com base na massa de sólidos (solo + cimento), ou (solo + cimento + fibra), de forma que se obtivesse a umidade ótima desejada.

Após a compactação o corpo de prova era retirado do molde com cuidado para que não perdesse solo (Figura 1).

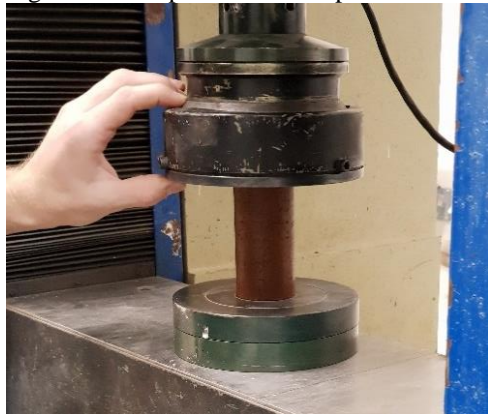
Figura 1 - Corpo de prova moldado



Na sequência era pesado e obtidas as dimensões do CP com o auxílio de um paquímetro.

Antes de levar os corpos de prova ao rompimento, os mesmos foram colocados em submersão por 24 horas antes do rompimento, a fim de verificar os resultados na pior situação. O CP foi posicionado de modo que ficasse alinhado ao centro vertical da prensa, e então iniciou-se o carregamento (Fotografia 2).

Figura 2 - Rompimento do Corpo de Prova



Para este ensaio foram moldados 63 corpos de prova, sendo 36 para cura de 28 dias e 27 para cura de 7 dias.

A Tabela 1 apresenta cada um dos traços com seus respectivos teores de adição com base no solo seco.

Tabela 1 - Traços

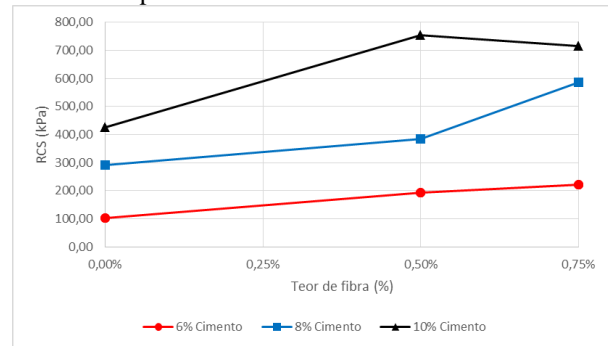
Traço	Cimento (%)	Fibra (%)
1	6	0
2	8	0
3	10	0
4	6	0,5
5	8	0,5
6	10	0,5
7	6	0,75
8	8	0,75
9	10	0,75

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para amostras não reforçadas e reforçadas com fibras, tanto a resistência à tração quanto a resistência à compressão simples dependem do teor de cimento e de fibras da mistura.

No Gráfico 2 estão apresentadas as curvas da variação da resistência à compressão simples, variando o teor de cimento e teor de fibra com 7 dias de cura.

Gráfico 2: Relação entre os teores de fibra e cimento com a RCS para a idade de cura de 7 dias



Notou-se que a porcentagem de cimento é o principal responsável pelo ganho de resistência à compressão simples. Este fato ocorre devido as suas propriedades de que quando em contato com água, o aglomerante produz cristais que tornam o material mais rígido e resistente.

A fibra também contribuiu para o aumento da resistência à compressão simples, principalmente com a adição de 0,5% de fibra, chegando a 753,84 kPa, aumentando a resistência em 77% quando comparado ao sem adição de fibras, esse ganho ocorreu quando utilizado a adição de 10% de cimento.

Porém, percebe-se que quando adicionado 0,75% de fibra a resistência caiu cerca de 5%, passando para 714,50 kPa, considerando o ganho máximo obtido com o teor de fibra de 0,5%. Não houve uma diferença muito significativa, o que pode ter sido falha na hora da mistura dos materiais, ou segundo o que relata Specht (2000), que conforme se aumenta o teor de fibra, maior será o acréscimo de resistência mecânica, até que um determinado limite em que isso não se observa mais, sendo esse limite variável de acordo com o tipo de solo e mistura aplicada.

Observando os valores para os teores de cimento de 6% e 8%, foi possível observar que conforme o teor de fibra aumentou, a resistência à compressão simples aumentou linearmente. Analisando o teor de 6% de cimento, percebe-se um ganho de 87%, chegando aos 193,42 kPa, para as misturas

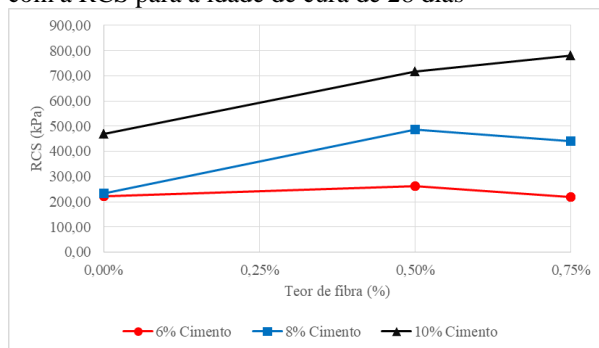
contendo 0,5% de fibra em relação as misturas sem fibra, já para 0,75% de adição de fibras, obteve-se uma resistência de 221,72 kPa, observando um aumento de 114%, comparado as misturas sem fibra, dobrando, portanto, a resistência à compressão simples.

Para o teor de 8% de cimento, notou-se, para as misturas com 0,5% de fibra uma resistência de 384,89 kPa, 32% maior do que as misturas sem adição de fibras, enquanto para 0,75% o acréscimo foi de 101%, chegando aos 587,01 kPa, dobrando também o valor da resistência.

O Gráfico 3 apresenta os resultados obtidos nos corpos de prova com as adições de cimento e fibra, para a cura de 28 dias.

A influência dos teores de cimento é perceptível, assim como para os corpos de prova de 7 dias de cura, quanto maior o teor de cimento maior a resistência à compressão simples.

Gráfico 3 - Relação entre os teores de fibra e cimento com a RCS para a idade de cura de 28 dias



Analisando o teor de fibra pode-se concluir que com o aumento da fibra a resistência à compressão simples também aumenta. Nota-se que o principal ganho se dá com a adição de 0,5% de fibra em todos os teores de cimento, confirmando o que Crockford, Grogan e Chill (1993) relatam, onde a inclusão de fibras aumenta o módulo de elasticidade, a resistência, a energia de deformação e ajuda a minimizar o efeito de ruptura frágil característico de materiais cimentados.

Para o teor de cimento de 10% as misturas com 0,5% de fibra apresentaram uma resistência de 715,73 kPa, 52% maior do que sem adição de fibras, enquanto para 0,75% de fibra, obteve-se 781,54 kPa, com acréscimo de 66% em relação as misturas sem adição de fibra.

Considerando o teor de cimento de 8% e 0,5% de fibra, o aumento da resistência à compressão simples foi de 109%, chegando aos 487,70 kPa, comparando com as misturas sem adição de fibra. O teor de cimento 6%, considerando as misturas com 0,5% de fibra apresentaram uma resistência 17% maior do que sem adição de fibra, alcançando 261,55 kPa.

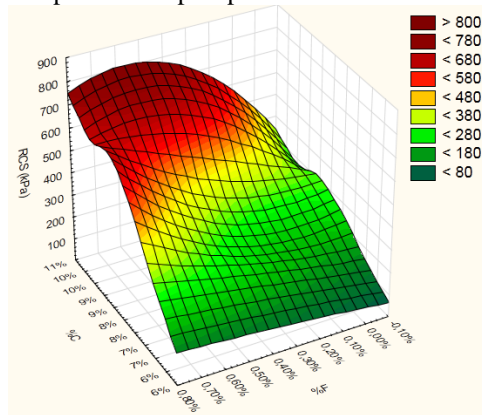
Observa-se, porém, que para os teores de 6% e 8% de cimento, quando adicionado 0,75% de fibra a resistência à compressão simples diminui, o que contradiz com o teor de 10% de cimento, onde houve um pequeno aumento. A possível razão para esta situação é o que afirma Specht (2000), onde relata que quanto maior o teor de fibra, maior é o acréscimo de resistência mecânica, até um limite, a partir do qual este efeito não é mais observado.

4.1 Análise gráfica tridirecional do comportamento mecânico do compósito

Da mesma forma como já constatado anteriormente, o principal responsável pelo ganho em resistência é o cimento, o teor de 10% foi o que levou aos maiores valores de RCS, porém a fibra também influenciou bastante, com a adição desse material houve um ganho considerável na resistência à compressão simples.

No Gráfico 4 é possível analisar o comportamento das misturas, observando em conjunto o teor de cimento, o teor de fibra e a resistência à compressão simples para 7 dias de cura.

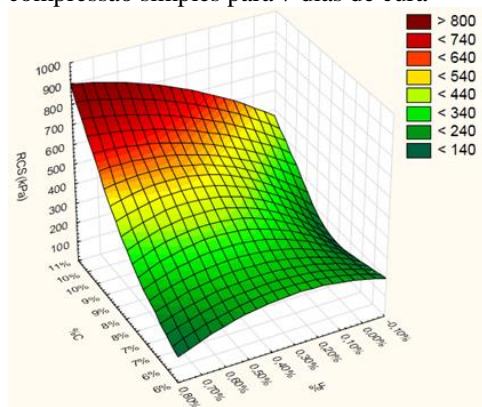
Gráfico 4 - Influência das adições na resistência à compressão simples para 7 dias de cura



Analisando o Gráfico 4, é possível notar que com 8% de cimento e 0,5% de fibra foi possível alcançar uma resistência maior do que com 10% de cimento e 0% de fibra, podendo assim reduzir gastos com estabilizante químico.

O Gráfico 5 permite analisar o comportamento das misturas, observando em conjunto o teor de cimento, o teor de fibra e a resistência à compressão simples para 28 dias de cura.

Gráfico 5 - Influência das adições na resistência à compressão simples para 7 dias de cura



Também se constatou que o cimento é o que determina os maiores valores de resistência, a fibra seguiu a mesma tendência, quanto maior a porcentagem de adição, mais o ganho de RCS.

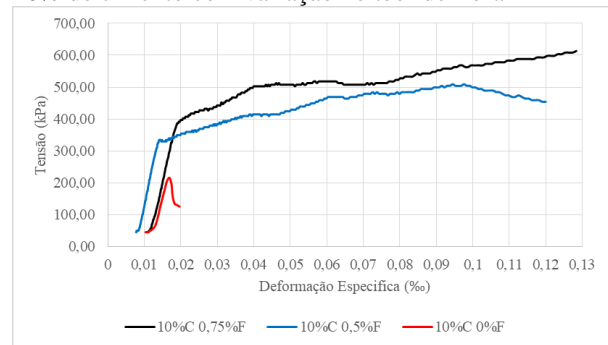
Nesse caso também quando analisado pelo gráfico, é possível notar que com 8% de cimento e 0,5% de fibra foi possível alcançar

uma resistência maior do que com 10% de cimento e 0% de fibra, podendo assim reduzir gastos com estabilizante químico.

4.2 Análise gráfica visual do comportamento das misturas no rompimento

A fim de analisar o comportamento que a adição de fibra exerce no compósito o Gráfico 6 traz a curva tensão x deformação específica para os traços com adição de 10% de cimento, variando a fibra em 0%, 0,5% e 0,75% para cura de 7 dias.

Gráfico 6 - Comportamento mecânico das misturas com 10% de cimento com variação no teor de fibra



Observando o Gráfico 6, é possível notar o diferente comportamento da curva tensão x deformação específica para cada mistura, no teor 10%C e 0%F, nota-se que houve uma ruptura frágil, característico das propriedades do cimento, este comportamento é parecido com o do concreto.

O Corpo de Prova continua absorvendo energia mecânica mesmo após já ter sido rompido, Taylor (1994), destaca justamente esse comportamento, na qual o maior potencial das fibras está no estado pós-fissuração, onde elas contribuem de forma mais efetiva na resistência do material, aumentando a capacidade de absorção de energia. Isso se explica pelo fato de que a deformação necessária para causar fissuras numa matriz cimentada é inferior à elongação das fibras.

5. CONCLUSÃO

A partir da análise e discussão dos resultados apresentados anteriormente, este capítulo apresenta as principais conclusões obtidas através da realização dos ensaios estabelecidos inicialmente.

Os resultados obtidos com a adição de cimento e fibra de polipropileno ao solo, atuando como microrreforço foram satisfatórios, onde no geral ocasionaram um aumento na capacidade de suporte do solo em absorver os esforços solicitantes, principalmente com o aumento no teor de cimento, que é o principal responsável pelo ganho de resistência.

Entretanto, a fibra de polipropileno também apresentou ganhos significativos, onde através de suas propriedades de distribuição de tensões, atuou como um microrreforço promissor, e aliado ao cimento produziram um compósito capaz de suportar muitas vezes mais que o dobro da resistência das misturas sem adição de fibras.

Os teores de cimento analisados, principalmente o 8% e o de 10% tiveram bons resultados, sendo que o de 6% foi o que apresentou os menores valores de resistência entre eles. A adição de 10% de cimento foi a que resultou em maiores tensões, tanto atuando sem fibras quanto com adição de fibras.

As adições de fibra de polipropileno se mostram muito promissoras, elevando ainda mais os resultados obtidos, tanto com 0,5% quanto para 0,75% de adição, a resistência sempre manteve maior em relação às misturas sem porcentagem de fibra. Os maiores ganhos foram de 114% a mais de resistência à compressão simples com a mistura 6% de cimento e 0,75% de fibra em relação à mistura sem adição de fibras com 28 dias de cura.

O comportamento das fibras após serem submetidas aos esforços mostraram que a inserção do microrreforço contribuiu de fato para a melhora das propriedades mecânicas do

solo, tanto nos valores de resistência observados quanto no comportamento do compósito. A curva tensão x deformação mostrou que sem fibra a mistura tem uma ruptura frágil, característica da adição do cimento, mas quando foram adicionadas porcentagens de fibra de polipropileno, observou-se a capacidade do material em absorver energia, mesmo após todo fissurado, o que é uma característica citada por diversos autores da adição da fibra em solos, e comprovada novamente neste trabalho.

Finalmente, é comprovado que a adição de fibra de polipropileno e cimento melhoram o comportamento de um solo fino. Em alguns casos pode-se substituir certa quantidade de cimento por uma menor quantidade de fibra, gerando economia, sem que se percam as propriedades mecânicas necessárias.

REFERÊNCIAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181 – Solo: Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 6459 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7180 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7182 – Solo – Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Vol. 01. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

CASAGRANDE, M. D. T. **Comportamento de solos reforçados com fibras submetidos a grandes deformações**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS):

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

CONSOLI, N. C.; PRIETTO, P. D. M.; ULBRICH, L. A. The behavior of a fiber-reinforced cemented soil. **Ground Improvement**, ISSMGE, v.3 n.3, p.21-30, 1999.

CROCKFORD, W.W.; GROGAN, W.P.; CHILL, D.S. Strength and life of stabilized pavement layers containing fibrillated polypropylene. **Transportation Research Record**, Washington D.C., n.1418, p.60-66, 1993.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER - ME 093/94 – Solos – Determinação da densidade real**. 1994, 4p.

DOBBIN JUNIOR, E. S.; ROCHA, L. F. S. **Estudo de concreto com adição de fibra de polipropileno para controle da fissuração**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil – Universidade da Amazônia): Universidade da Amazônia, Belém, 2011.

FESTUGATO, L. **Análise do comportamento mecânico de um solo microreforçado com fibras de distintos índices aspecto**. 2008. Dissertação (Mestre em Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FESTUGATO, L. et al. Fibre-reinforced cemented soils compressive and tensile strength assessment as a function of filament length. **Geotextiles and geomembranes**, [S.L.], v. 45, n. 1, p. 77-82, fev. 2017.

JOHNSTON, C. D. Fiber-reinforced cement and concrete. In: **Advances in concrete**

technology. 2ed. Ottawa: V. M. Malhorta, p.603-673., 1994.

SANTOS, A. P. S. **Estudo do comportamento de misturas solo-cimento-fibra sob altas pressões**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SPECHT, L.P. **Comportamento de misturas de solo-cimento-fibra submetidos a carregamentos estáticos visando à pavimentação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

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

TEODORO, J.M.; BUENO, B.S. Estudo do comportamento dos solos reforçados com fibras plásticas de polipropileno. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA**, 11, Brasília, 1998. Anais... v.2., p.1093-1100, 1998.