

Avaliação da resistência à compressão simples e da resistência à tração de misturas de solo e resíduos de construção e demolição (RCD) reforçadas com fibras de polipropileno e cimento portland.

Igor Bolotti Arrais

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, igor.bolotti@hotmail.com

Tiago Betinardi Silva

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, tiago_bs_@hotmail.com

José Renato Moreira da Silva de Oliveira

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, jrmso70@gmail.com

Jeselay Hemetério Cordeiro dos Reis

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, jeselay@hotmail.com

Juliana Azoia Lukiantchuki

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, jazoia@yahoo.com.br

RESUMO: A construção civil destaca-se como uma das maiores responsáveis pela geração de resíduos e pelo elevado consumo de recursos naturais. Visando contribuir com o reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição (RCD) e a preservação das jazidas naturais foi proposto este projeto de pesquisa. O principal objetivo do trabalho foi o estudo da resistência à compressão simples (RCS) e da resistência à tração (RT), de misturas de solo, RCD, cimento e fibras de polipropileno, para fins de reaproveitamento em obras de pavimentação. Para isso foram utilizados quatro tipos de materiais distintos: resíduos de construção e demolição (RCD), coletados em uma Usina de Reciclagem, localizada na cidade de Maringá (Paraná), amostras deformadas de solo natural, coletadas em um local próximo a cidade de Mandaguaçu (Paraná), cimento Portland, comercialmente denominado de CP II-Z-32 e fibra de polipropileno, comercialmente denominada de Neofibra CR (Fibra de polipropileno corrugada). O comportamento dos materiais utilizados neste projeto de pesquisa foi avaliado através de misturas com diferentes proporções de RCD, solo, cimento e fibra. Para as diversas misturas estudadas observou-se que as misturas com proporções 50/50 (solo/RCD) apresentaram o melhor comportamento de resistência à compressão simples. Este resultado apresentou-se satisfatório uma vez que possibilita a redução da utilização do solo natural em 50%. Os resultados indicaram que a adição de cimento e de fibras em pequenas quantidades (0.25%) também aumentaram os valores de resistência. Em relação à resistência a tração, não foi observado diferenças significativa quando as misturas foram reforçadas com cimento portland e fibras de polipropileno.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento sustentável, resíduos de construção e demolição (RCD), resistência à compressão simples, resistência à tração, pavimentação.

1 INTRODUÇÃO

A utilização do solo como material de construção é uma solução amplamente empregada na engenharia civil. Esta técnica pode ser aplicada utilizando o solo na sua condição natural ou alterando algumas das suas propriedades através da adição de outros materiais. No entanto, conforme destacado por Santos e Palmeira (2011), as vantagens em relação à utilização de jazidas naturais podem ser comprometidas em um futuro próximo. Isto porque, segundo os autores, atualmente existe uma grande preocupação com a preservação dos recursos naturais, em especial, as jazidas de matéria prima com materiais de boa qualidade.

Neste contexto, esta preocupação torna-se uma questão bastante importante não só do ponto de vista ambiental mas sobretudo para a Engenharia Civil e a sociedade como um todo (SANTOS; PALMEIRA, 2011). Diante deste cenário torna-se fundamental a incorporação de novas técnicas construtivas que possibilitem a utilização de materiais alternativos possibilitando o desenvolvimento sustentável nesses tipos de obras.

No âmbito do desenvolvimento sustentável observa-se que a construção civil caracteriza-se como uma grande fonte consumidora de recursos naturais e geradora de resíduos de construção e demolição (RCD). No Brasil, estima-se que em 2012 aproximadamente 55% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) foram provenientes de atividades da construção civil (ABRELPE, 2012). No entanto, grande parte das cidades brasileiras não apresentam áreas para a disposição final desses resíduos e, quando destinados para os aterros sanitários, acabam ocupando um grande volume, reduzindo e limitando a vida útil dessas estruturas.

Desta forma, como esses resíduos são constituídos por materiais com elevado potencial de reciclagem, nas últimas décadas intensificaram-se as pesquisas com a finalidade de buscar novas soluções para o emprego dos RCD. Diversos pesquisadores (MOTTA, 2005; LEITE, 2007; JIMÉNEZ, 2011) vem estudando a viabilidade do emprego dos RCD para fins de pavimentação. Destaca-se que uma grande vantagem dessa aplicação é a substituição do solo natural e/ou parte do solo natural por

resíduos de construção e demolição. Esta solução além de proporcionar o destino adequado para os RCD minimiza os impactos gerados na exploração de novas jazidas.

Desta forma, considerando a importância da reutilização dos RCD, este trabalho de pesquisa apresenta uma análise da resistência à compressão simples e da resistência à tração em misturas de solo e resíduos de construção e demolição reforçadas com fibras de polipropileno e cimento Portland para fins de pavimentação. O comportamento de resistência das misturas foi avaliado através de ensaios de resistência após um período de 28 dias de cura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Neste trabalho foram utilizados quatro tipos de materiais distintos, sendo esses descritos a seguir:

1. Resíduos de construção e demolição (RCD): os resíduos foram coletados em uma Usina de Reciclagem, localizada na cidade de Maringá, Paraná, Brasil. Como este material apresenta uma grande variabilidade foi realizada apenas uma coleta com quantidade suficiente para a realização de todos os ensaios previstos neste projeto de pesquisa;

2. Solo natural: foram coletadas amostras do tipo deformadas, em um local próximo a cidade de Mandaguaçu, localizada no Noroeste do Paraná;

3. Cimento Portland: utilizou-se o cimento Portland comercialmente denominado de CP II-Z-32. Este cimento é composto por uma faixa percentual de 94-76 e 6-14 de clínquer e/ou sulfatos de cálcio e material pozolânico, respectivamente (ABNT NBR 11578:1991);

4. Fibras de polipropileno: comercialmente denominada de Neofibra CR (Fibra de polipropileno corrugada), que consiste em um monofilamento de polipropileno obtido através do processo de extrusão;

5. Misturas: o comportamento dos materiais utilizados neste projeto de pesquisa foi avaliado através de misturas com diferentes proporções de RCD, solo, cimento e fibra. A

Tabela 1 apresenta as misturas pré-estabelecidas para a realização dos ensaios de laboratório. As proporções dos materiais para as misturas de solo e RCD foram calculadas em termos de massa seca.

Tabela 1. Características das misturas.

Misturas	S (%)	RCD (%)	C (%)	F (%)
S_RCD (50/50) 3.5/0.25	50	50	3.5	0.25
S_RCD (50/50) 3.5/0.50	50	50	3.5	0.50
S_RCD (50/50) 7.0/0.25	50	50	7.0	0.25
S_RCD (50/50) 7.0/0.50	50	50	7.0	0.50
S_RCD (75/25) 3.5/0.25	75	25	3.5	0.25
S_RCD (75/25) 3.5/0.50	75	25	3.5	0.50
S_RCD (75/25) 7.0/0.25	75	25	7.0	0.25
S_RCD (75/25) 7.0/0.50	75	25	7.0	0.50
S_RCD (75/25) 3.5/0.0	75	25	3.5	0.00
S_RCD (75/25) 7.0/0.0	75	25	7.0	0.00
S_RCD (50/50) 3.5/0.0	50	50	3.5	0.00
S_RCD (50/50) 7.0/0.0	50	50	7.0	0.00

onde: S é solo, C é cimento e F é fibra de polipropileno

2.2 Ensaios de caracterização das amostras

A caracterização geotécnica do solo, do resíduo de construção e demolição (RCD) e das misturas (Tabela 1) foi realizada de acordo com os ensaios recomendados pela Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT): massa específica dos sólidos (ABNT NBR 6508:1984), limite de liquidez (ABNT NBR 6459:1984), limite de plasticidade (ABNT NBR 7180:1984), granulometria conjunta (ABNT NBR 7181:1984) e ensaio de compactação (ABNT NBR 7182:1986).

2.3 Preparação dos corpos de prova

Os procedimentos de preparo da mistura consistem em, primeiramente, separar adequadamente a fibra de polipropileno a fim de facilitar o processo de homogeneização (Fig. 1a). Em seguida misturou-se o cimento e a fibra, com a mistura de Solo-RCD, e a água até que se observou uma mistura homogênea (Fig. 1b).

Depois que a mistura foi devidamente homogeneizada, colocou-se em um molde em formato de cilindro, e com o auxílio do soquete moldou-se o corpo de prova. Os corpos de prova foram compactados dinamicamente a

partir de amostras deformadas. As dimensões utilizadas foram de 50 ± 1 mm de diâmetro e 100 ± 1 mm de altura (ABNT NBR 12024:1992) (Figura 2a). Para garantir a homogeneidade da mistura dos outros materiais com a fibra, a compactação foi realizada em camada única e garantindo-se que o grau de compactação não apresentasse variações significativas ao longo do corpo de prova.

Após realizar a pesagem, o corpo de prova foi devidamente acondicionado em um saco plástico e guardado na câmara úmida para obter a cura do cimento até 28 dias.



(a) Separação da fibra de polipropileno



(b) Mistura dos materiais

Figura 1. Preparo das misturas.

2.4 Ensaios de resistência

2.4.1 Resistência à compressão simples (RCS)

Os corpos de prova foram rompidos de acordo com a norma ABNT NBR 12025:1990 (ABNT MB3361/1990), que consiste em, após o período de cura, deixar os corpos de prova totalmente imersos em água por pelo menos quatro horas antes do ensaio. Passado esse tempo, deve retirá-los e secá-los com auxílio de um tecido absorvente. Em seguida, na prensa de

ensaio de compressão, colocar o corpo de prova sobre o prato inferior, de modo que ele fique alinhado verticalmente com a carga (Fig. 2b).

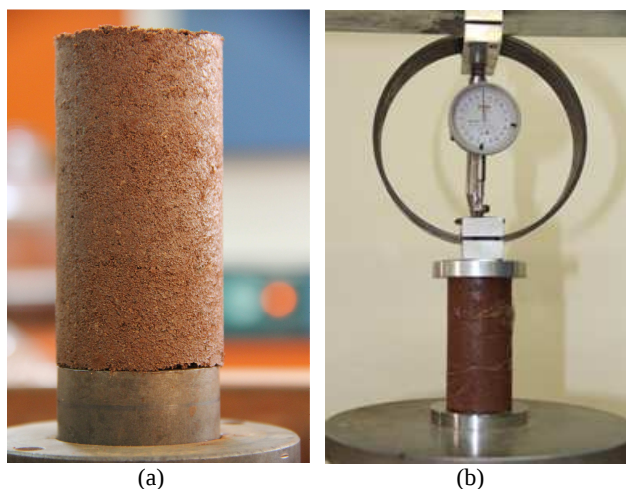


Figura 2. Corpo de prova para ensaio de resistência.

Então, deve ser iniciada a aplicação de carga, atuando continuamente sobre a amostra com uma velocidade aproximada de 1 mm/min. Simultaneamente deve marcar o tempo de ensaio com auxílio de um cronômetro. O carregamento cessa quando o ponteiro do marcador for aproximadamente 10% menor que a máxima carga atingida. Para os cálculos e análises utilizam-se os valores de carga máxima atingida, considerando como a carga de ruptura do corpo de prova. Para esta pesquisa, foi utilizado o tempo de 24 horas para a imersão em água do corpo de prova.

2.4.2 Resistência à tração (RT)

Os valores de resistência à tração (RT) dos corpos de prova foram determinados através do ensaio de compressão diametral conhecido também como Ensaio Brasileiro (Figura 3).

Para cada mistura foram moldados pelo menos três corpos de prova com grau de compactação maior ou igual a 95%. Após 28 dias de cura os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão diametral. A resistência à tração foi representada pelo valor médio obtido através da ruptura dos três corpos de prova.



Figura 3. Ensaio de compressão diametral.

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Ensaios de caracterização

Os resultados do ensaio de massa específica dos sólidos (ρ_s), e limites de consistência estão apresentados na Tabela 2. Os resultados demonstram que a massa específica dos sólidos do RCD é ligeiramente maior do que a massa específica dos sólidos do solo natural. Consequentemente a massa específica dos sólidos da mistura S_RCD (50/50) é maior do que a massa específica dos sólidos da mistura S_RCD (75/25) uma vez que essa mistura apresenta uma porcentagem maior de RCD.

Os ensaios de limites de consistência foram realizados para as amostras de solo natural e para a mistura 75/25 Solo-RCD. Para as demais amostras o material apresentou comportamento não plástico, não sendo possível a realização dos ensaios.

A Figura 4 apresenta o resultado dos ensaios de granulometria para o solo natural e o RCD. A curva granulométrica para o solo natural indica que o material apresenta 17.5% de argila, 6.0% de silte e 76.5% de areia. O coeficiente de não uniformidade (CU) e o coeficiente de curvatura (CC) são iguais a 146 e 40, respectivamente. Assim, segundo a Classificação Unificada de Solo, o solo natural foi classificado com Clayey Sand (SC), traduzindo, Areia Argilosa.

A curva granulométrica para o RCD indicou que o material apresenta comportamento granulométrico nas seguintes proporções: 6.0%

de argila, 17.5% de silte, 61.5% de areia e 15.0% de pedregulho. O coeficiente de não uniformidade (CU) e o coeficiente de curvatura (CC) são aproximadamente 67 e 9, respectivamente.

Tabela 2. Resultados de caracterização.

	Solo	RCD	S_RCD (50/50)	S_RCD (75/25)
(ρ_s) (g/cm ³)	2.69	2.76	2.72	2.71
LL	27	-	-	25
LP	17	-	-	15
IP	10	-	-	10

onde: LL é o limite de liquidez, LP é o limite de plasticidade e IP é o índice de plasticidade.

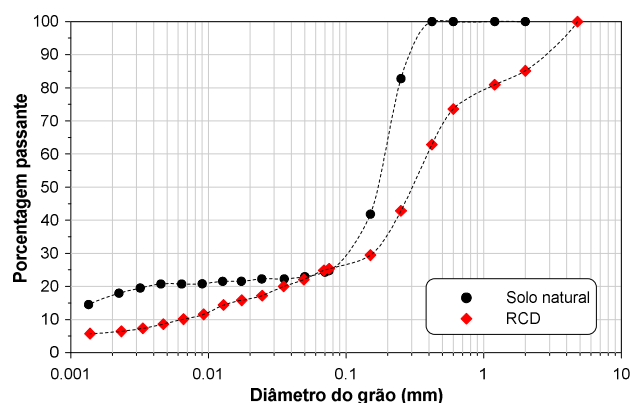


Figura 4. Curva granulométrica do solo natural e do RCD.

Na Figura 5 se observa a curva granulométrica das misturas de solo natural e RCD nas proporções 50/50 e 75/25, respectivamente. Analisando os resultados, pode-se notar que a porcentagem de pedregulhos, silte e areia grossa apresentaram-se superior para a mistura S_RCD (50/50), uma vez que essa amostra apresenta maior porcentagem de RCD. Por outro lado, para essa mesma amostra, a porcentagem de areia fina diminuiu, isto porque o RCD apresenta uma porcentagem de areia fina muito inferior ao solo natural. Os resultados obtidos para as misturas apresentaram-se coerentes quando comparados com os resultados para o solo natural e o RCD.

Os resultados dos ensaios de compactação do solo natural, do RCD e das misturas de Solo-RCD, estão apresentados na Figura 6. Os resultados indicam que como o RCD apresenta um teor de umidade ótimo superior ao do solo

natural, as misturas de solo e RCD com proporções de 50/50 apresentaram um teor de umidade ótimo superior ao das misturas de solo e RCD com proporções de 75/25.

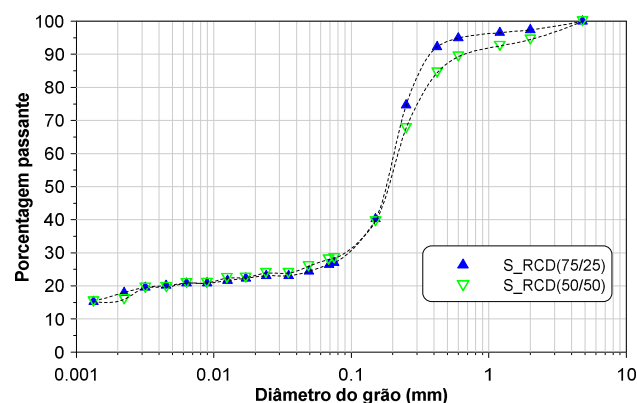


Figura 5. Curva granulométrica para as misturas de solo natural e RCD.

Adicionalmente, a massa específica seca máxima do RCD apresentou-se inferior à massa específica seca máxima do solo natural. Desta forma, as misturas de solo e RCD com proporções de 50/50 também apresentaram valores de massa específica seca máxima inferiores àqueles obtidos para as misturas de solo e RCD com proporções de 75/25. De maneira geral os resultados demonstraram que o RCD possui uma grande influência nos parâmetros de compactação das misturas.

3.1 Ensaios de resistência

3.1.1 Resistência à compressão simples (RCS)

A resistência não drenada das misturas de Solo, RCD, fibra e cimento, foi obtida através de ensaios de compressão simples. Com a ruptura dos corpos de prova, foram obtidos os valores da carga máxima no momento da ruptura. Esse valor de carga, dividido pela área da seção transversal do corpo de prova representa a tensão de ruptura à compressão, ou resistência à compressão simples (RCS). A Tabela 3 apresenta os resultados os valores de RCS, sendo que esses valores representam o valor médio de três ensaios realizados sob as mesmas condições.

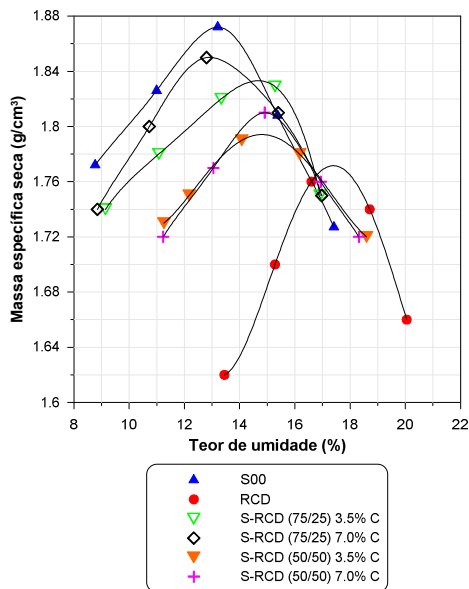


Figura 6. Curvas de compactação do solo natural, RCD e misturas solo-RCD.

Tabela 3. Resultados de RCS.

Mistura	RCS (MPa)
S_RCD (50/50) 3.5/0.25	1.59
S_RCD (50/50) 3.5/0.50	1.26
S_RCD (50/50) 7.0/0.25	2.38
S_RCD (50/50) 7.0/0.50	2.37
S_RCD (75/25) 3.5/0.25	1.34
S_RCD (75/25) 3.5/0.50	1.20
S_RCD (75/25) 7.0/0.25	1.96
S_RCD (75/25) 7.0/0.50	2.24
S_RCD (50/50) 3.5	0.76
S_RCD (50/50) 7.0	1.47
S_RCD (75/25) 3.5	0.66
S_RCD (75/25) 7.0	1.60

Através dos resultados obtidos, foi avaliada a influência do teor de cimento na resistência à compressão simples, conforme apresentado na Figura 7. Observa-se que o teor de cimento apresenta uma significativa influência nos valores de resistência. Para todas as misturas observou-se um aumento da RCS quando adicionou-se cimento, sendo que as misturas nas proporções 50/50 apresentaram melhor comportamento. Desta forma, os resultados permitem verificar que quando misturado com outros materiais o RCD contribui com o aumento da resistência. Este comportamento

pode estar associado ao efeito da cimentação, com consequente ganho de resistência, que ocorre nos RCD. Além disso, o melhor desempenho de resistência das misturas nas proporções 50/50 indica a possibilidade de aumentar a quantidade de RCD e diminuir a quantidade de solo natural, proporcionando uma economia na exploração das jazidas naturais.

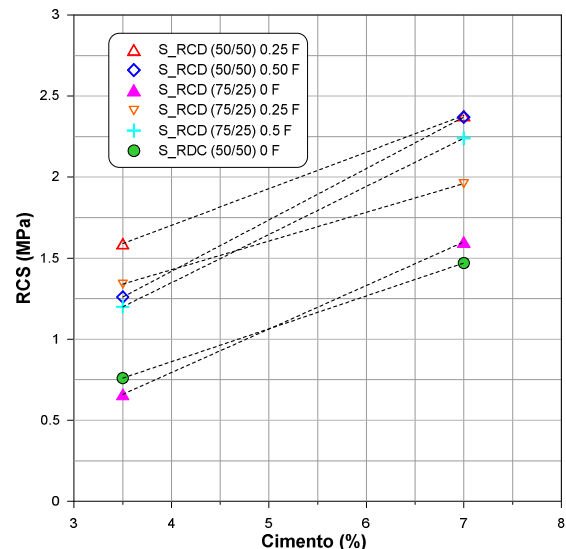


Figura 7. Influência do teor de cimento na RCS.

Na Figura 8 se apresenta a influência da fibra na resistência à compressão simples, onde os resultados indicam que o aumento de fibra colabora com o aumento da resistência à compressão simples para o teor de 0.25%. Entretanto, observa-se que para o teor de fibra de 0.5% a resistência diminui, com exceção da mistura S_RCD (75/25) 7.0, onde verifica-se um aumento da resistência. Observa-se também que o decréscimo da resistência à compressão simples é mais pronunciado para as misturas com 3.5% de cimento, indicando que o menor decréscimo da RCS nas misturas com 7.0% de cimento pode estar associado também ao efeito da maior porcentagem de cimento na matriz.

Adicionalmente, na Figura 8 há a indicação de que a RCS nas misturas apresenta uma tendência a um valor ideal do teor de fibras que deve ser adicionado. Isto implica que grandes quantidades de fibra pode prejudicar o comportamento da RCS. Este comportamento pode ser associado à dificuldade, observada em laboratório, no processo de homogeneização das

fibras com as misturas. Destaca-se ainda a importância de investigar melhor este comportamento observado neste trabalho de pesquisa.

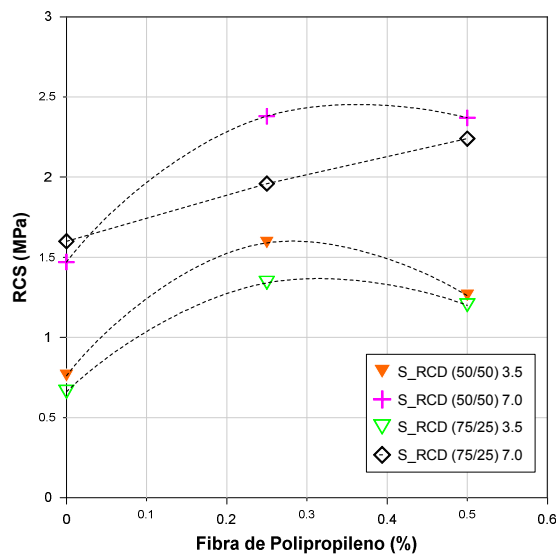


Figura 8. Influencia do teor de fibra na RCS.

3.1.2 Resistência à tração (RT)

A Tabela 4 apresenta os resultados de resistência à tração (RT), sendo que esses valores representam o valor médio de três ensaios realizados sob as mesmas condições.

Tabela 4. Resultados de RT.

Mistura	RT
S_RCD (50/50) 3.5/0.25	0.25
S_RCD (50/50) 3.5/0.50	0.25
S_RCD (50/50) 7.0/0.25	0.39
S_RCD (50/50) 7.0/0.50	0.41
S_RCD (75/25) 3.5/0.25	0.27
S_RCD (75/25) 3.5/0.50	0.25
S_RCD (75/25) 7.0/0.25	0.40
S_RCD (75/25) 7.0/0.50	0.31
S_RCD (50/50) 3.5	0.19
S_RCD (50/50) 7.0	0.38
S_RCD (75/25) 3.5	0.26
S_RCD (75/25) 7.0	0.36

Através dos resultados obtidos, foi avaliada a influência do teor de cimento na resistência à compressão simples, conforme apresentado na Figura 9. Os resultados indicaram que a adição

de cimento possibilitou um ligeiro acréscimo nos valores de resistência à tração. Entretanto não foram observadas diferenças de comportamento entre as amostras com diferentes teores de RCD.

A Figura 10 indica que a adição de fibra não apresentou alteração nos valores de resistência à tração. Isto indica que a adição de fibra nas condições estudadas seria ineficaz ao aumento da resistência à tração. Este comportamento pode ser atribuído ao comprimento excessivo da fibra, não permitindo a ocorrência da interação solo-fibra e o engaste da fibra na matriz estudada.

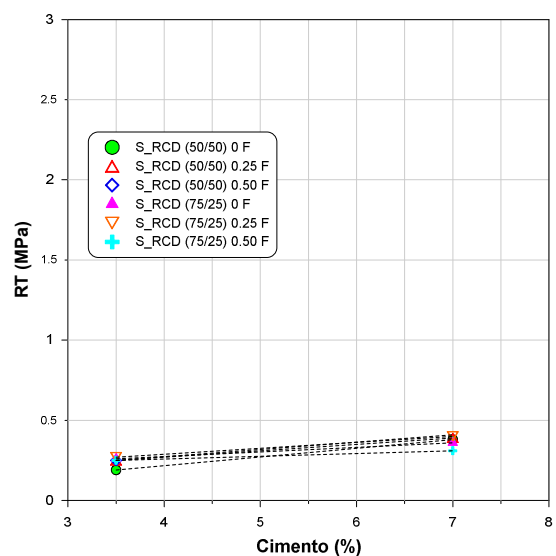


Figura 9. Influencia do teor de cimento na RT.

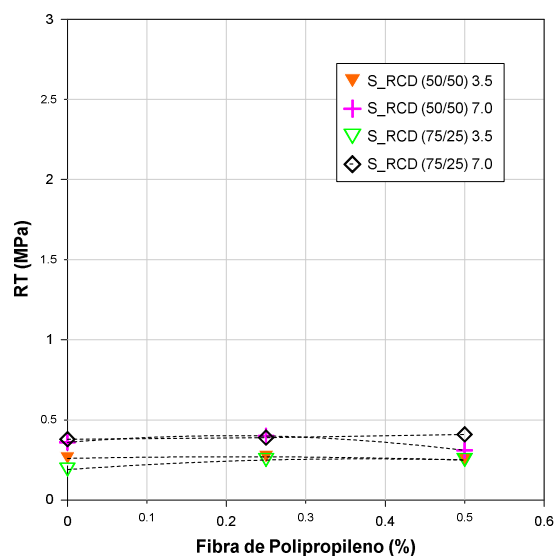


Figura 10. Influencia do teor de fibra na RT.

4 CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi apresentar um estudo de resistência à compressão simples e resistência à tração em matrizes de solo e RCD reforçadas com fibras de polipropileno e cimento portland. Em relação as principais conclusões, observou-se que:

1. Em relação à RCS observou-se que o teor de cimento apresentou uma significativa influência nos valores de resistência. Adicionalmente, as misturas nas proporções 50/50 apresentaram melhor comportamento. Desta forma, os resultados permitem verificar que quando misturado com outros materiais o RCD pode contribuir com o aumento da resistência;

2. A RCS aumentou para teores de fibra de 0.25%. Entretanto, observou-se que para 0.50% a RCS diminuiu. Os resultados indicam que existe um teor adequado de fibra para mistura, sendo que valores superiores a este podem prejudicar a RCS;

3. Em relação à RT os resultados indicaram que a adição de cimento possibilitou um ligeiro acréscimo nos valores de resistência à tração. Entretanto não foram observadas diferenças de comportamento entre as amostras com diferentes teores de RCD; e

4. A adição de fibra não apresentou alteração nos valores de RT. Isto indica que a adição de fibra nas condições estudadas não colaborou com o aumento de resistência. Para este caso seria interessante à realização de ensaios complementares variando o comprimento da fibra.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar o seu profundo agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico e Científico (processo N°448606/2014-3) pelo apoio ao projeto de pesquisa. Adicionalmente, o segundo autor agradece Universidade Estadual de Maringá (UEM) pela bolsa de pesquisa concedida.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11578: Cimento portland composto. Rio de Janeiro, 5p, 1991.
- _____. ABNT NBR 6508: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 8p, 1984.
- _____. ABNT NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 6p, 1984. Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 8p, 1984.
- _____. ABNT NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade Rio de Janeiro, 3p, 1984.
- _____. ABNT NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 13p, 1984.
- _____. ABNT NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 10p, 1986.
- _____. ABNT NBR 12024: Solo-Cimento – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 5p, 1992.
- _____. ABNT NBR 12025 MB3361: Solo-Cimento – Ensaios de compressão simples de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2p, 1990.
- _____. ABNT NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação, Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.
- ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, 2012.
- Jiménez, A. M. G. Estudo experimental de um resíduo de construção e demolição (RCD) para utilização em pavimentação. 2011. 123p. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2011.
- Leite, F. C. Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos. 2007. 185p. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), São Paulo, 2007.
- Motta, R. Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego. 2005. 134p. Dissertação de mestrado -Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), São Paulo, 2005.
- Santos, E. C. G.; Palmeira, E. M. Estruturas de solo reforçado e resíduos de construção e demolição reciclados. Revista Fundações e Obras Geotécnicas, v. 1, p. 36-40. 2011.