

Estudo do efeito do aumento de resistência à compressão simples ao longo do tempo em resíduos de construção e demolição (RCD)

Fabiana Artuso

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, fabianaartuso@gmail.com

Ligia de Araujo Moreira Preis

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, ligiapreis@gmail.com

Juliana Azoia Lukiantchuki

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

RESUMO: Atualmente, a busca pela minimização do consumo de recursos naturais e a reutilização desses recursos vem crescendo devido ao grande impacto ambiental ocasionado pela construção civil. Com isso, diversas pesquisas vêm surgindo para a reciclagem e a reutilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) em serviços de pavimentação ou outras aplicações geotécnicas. Visando colaborar com o estudo do emprego dos RCD, o presente artigo tem como objetivo analisar o efeito do aumento de resistência à compressão simples (RCS) ao longo do tempo em amostras de RCD. Para isso foram utilizadas duas amostras de RCD, sendo uma delas preparada através de peneiramento manual com frações inferiores a 0.42 mm e a outra amostra natural misturada com solo na proporção 50/50. Embora as amostras não apresentem comportamento de material pozolânico, os resultados de RCS indicaram um aumento de resistência em até 50% em comparação com o valor inicial. Esse aumento de resistência pode ser atribuído as amostras de RCD, uma vez que condições de grau de compactação e massa específica seca, durante a moldagem e após a ruptura, não variaram significativamente.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de construção e demolição (RCD); efeito cimentante; resistência à compressão simples; pavimentação.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos grandes problemas associado ao crescimento populacional, à expansão urbana e ao desenvolvimento industrial consiste na geração de resíduos sólidos urbanos e industriais de diversos tipos. Isto tem se tornando um sério problema urbano devido, sobretudo, ao seu gerenciamento oneroso e complexo, associado à escassez de áreas de disposição, altos custos devido à adoção de medidas ineficientes de gerenciamento, problemas de saneamento público e contaminação ambiental, gerados pela disposição irregular.

Dentre as indústrias que degradam o meio ambiente, seja ele urbano ou natural, a indústria da construção civil destaca-se por ser responsável por números entre 20 e 50% do

total de recursos naturais consumidos pela sociedade (SANTOS, 2007). Considerando ainda que a maioria das cidades brasileiras não possui área para a disposição final dos resíduos de construção e demolição (RCD), aliado ao fato desses serem constituídos por materiais com alto potencial de reciclagem, faz-se necessário o estudo de soluções para a problemática ambiental.

Neste contexto, nas últimas décadas tornou-se crescente o interesse de pesquisas relacionadas à aplicação dos resíduos de construção e demolição na construção civil. Desta forma, diversos pesquisadores vêm estudando a viabilidade da utilização de RCD para fins de pavimentação (JIMÉNEZ, 2014; MOTTA, 2005; LEITE, 2007).

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo apresentar um estudo da características de

resistência dos resíduos de construção e demolição (RCD) provenientes da Usina de Reciclagem Mauá, localizada na cidade de Maringá (PR) afim de serem empregados como material de base e/ou sub-base de pavimentação. Para isso serão realizados ensaios de resistência à compressão simples visando avaliar as propriedades cimentantes que esses resíduos possuem ao longo do tempo. O presente estudo será conduzido através da realização dos ensaios de caracterização geotécnica das amostras de resíduos de construção e demolição e através de ensaios de resistência à compressão simples ao longo do tempo.

2 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

As amostras de resíduos de construção e demolição (RCD), utilizadas neste trabalho de pesquisa, foram coletadas na Usina de Reciclagem Mauá, localizada na cidade de Maringá, Paraná, Brasil (Fig. 1). O RCD no seu estado bruto é formado por tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos e rochas.



Figura 1. Usina de Reciclagem Mauá (Maringá-PR).

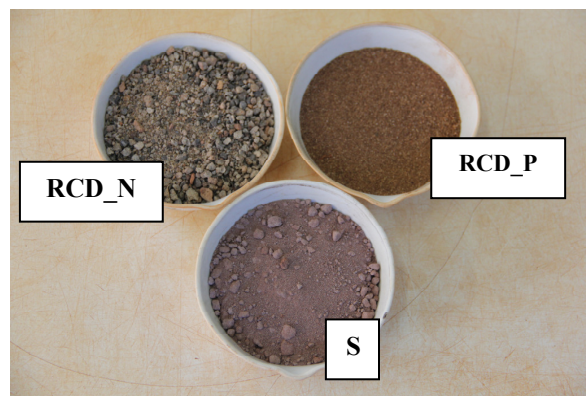
Foram coletadas duas amostras distintas de RCD. Desta forma, o estudo do comportamento desses materiais foi analisado de duas maneiras distintas:

- A primeira amostra foi estudada considerando apenas o RCD puro com uma granulometria específica definida para os ensaios. Desta forma, esta amostra foi passada na peneira de abertura 0.42 mm, sendo

denominado no presente artigo de RCD_P ($\phi < 0.42$ mm) (Figure 2); e

- Na segunda amostra o material foi utilizado com a granulometria original e misturado com solo arenoso, proveniente da cidade de Mandaguaçu (Paraná, Brasil). A mistura foi utilizada afim de possibilitar a moldagem dos corpos de prova, uma vez que o RCD apresentou-se bastante granular. Para os ensaios, essa mistura foi realizada na proporção 50/50 Solo_RCD (50% solo e 50% RCD natural), sendo denominada de S_RCD (Figura 2).

Destaca-se que o objetivo do trabalho é avaliar o efeito das propriedades cimentantes dos RCD e portanto não foi avaliado os efeitos causados pela mistura do RCD na matriz de solo.



onde: RCD_P corresponde ao resíduo peneirado ($\phi < 0.42$ mm); RCD_N corresponde ao resíduos natural e S ao solo utilizado na mistura.

Figura 2. Materiais utilizados na pesquisa.

3 PROGRAMA DE ENSAIOS

3.1 Ensaio de Caracterização Geotécnica

Os ensaios de caracterização geotécnica dos materiais foram realizados de acordo com os recomendados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

- 1) Ensaio do teor de umidade (NBR 6457/1986);
- 2) Ensaio de massa específica dos sólidos (NBR 6508/1964);
- 3) Ensaio de análise granulométrica conjunta (NBR 7181/1984);
- 4) Ensaios de compactação (NBR 7182/1986);

Os resultados do ensaio de massa específica dos sólidos (ρ_s) estão apresentados na Tabela 1 e demonstram que a massa específica dos sólidos do RCD é ligeiramente maior que a massa específica dos sólidos do solo natural.

Tabela 1. Resultado de massa específica dos sólidos.

Parâmetro	RCD		S
	RCD_P	RCD_N	
ρ_s (g/cm ³)	2.786	2.813	2.690

A Figura 3 apresenta as curvas granulométricas e a Tabela 2 mostra a porcentagem das frações granulométricas para as amostras de RCD e para o solo natural. O coeficiente de não uniformidade (C_u) e o coeficiente de curvatura (C_c) são, aproximadamente, 14 e 4 para o RCD_P, 5 e 1 para o RCD_N e 146 e 40 para o solo natural.

A análise dos parâmetros de caracterização dos materiais permitiu classifica-los como: A-1-b (RCD_N), A-3 (RCD_P) e A-2-4 (S) pela classificação HRB e SP (RCD_N), SP-SC (RCD_P) e SC (S) pela classificação SUCS.

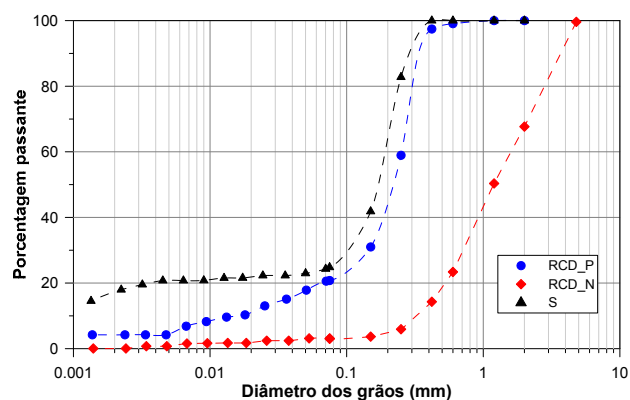


Figura 3. Curvas granulométricas das amostras de RCD e do solo natural.

A Tabela 3 e a Figura 4 apresentam os resultados dos ensaios de compactação das amostras de RCD (RCD_P, RCD_N e S_RCD). Observa-se pela Figura 4 um comportamento diferente da curva de compactação do resíduo natural comparada com as demais. Esse material apresenta uma tendência da massa específica seca permanecer constante com o aumento do teor de umidade. Este comportamento de insensibilidade da massa específica seca com o

aumento do teor de umidade também foi observado por Motta (2005) e Matuella (2014). Para esse comportamento, alguns autores recomendam que o teor de umidade ótimo seja estimado como sendo o máximo valor de umidade atingido antes de ocorrer a exsudação da água presente no material compactado (MATUELLA, 2014).

Tabela 2. Resumo dos resultados de análise granulométrica – porcentagem das frações.

Fração Granulométrica	RCD		Solo
	RCD_P	RCD_N	
Argila	4.2	0	18.0
Silte	15.6	1.5	6.0
Areia Fina	21.2	4.0	41.0
Areia Média	58.0	17.9	35.0
Areia Grossa	1.0	44.3	0
Pedregulho	0	32.3	0

Tabela 3. Características de compactação.

Parâmetro	RCD_P	RCD_N	S_RCD
pd.máx (g/cm ³)	1.589	1.540	1.850
wot (%)	19.70	19.40	13.80

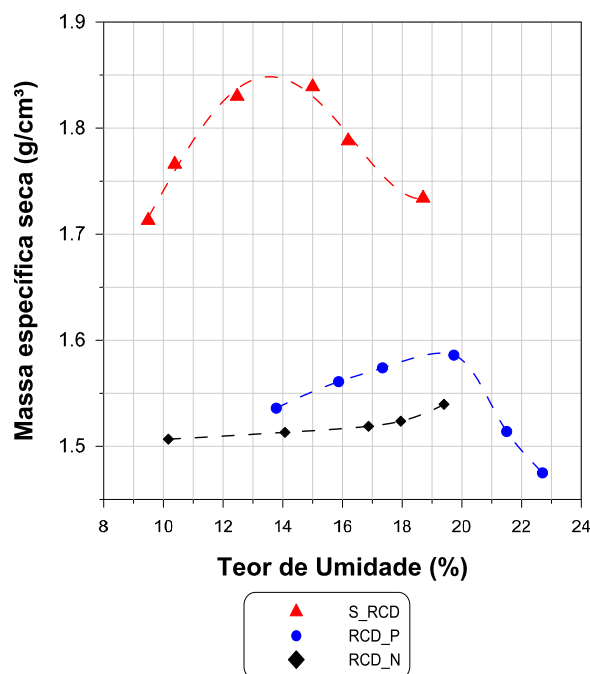


Figura 4. Curvas de compactação das amostras de RCD.

3.2 Ensaio de atividade pozolânica

A atividade pozolânica foi determinada através do Método de Chapelle Modificado (NBR 15895/2010) e os ensaios foram realizados no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo.

A Tabela 4 apresenta o teor de hidróxido de cálcio encontrado nas amostras analisadas. O resultado é expresso pela quantidade de hidróxido de cálcio consumido ou fixado por grama de material pozolânico. Os resultados indicaram valores muito próximos para as amostras analisadas. A norma estabelece que o resultado apresente um valor maior ou igual a 750 mg Ca(OH)_2 de material para a amostra ser considerada como material com atividade pozolânica. Dessa forma, os resultados para as amostras analisadas indicam que não existem indícios de material com atividade pozolânica.

Motta (2005) encontrou valores inferiores àqueles estipulados pela norma, porém, não descartou a possibilidade do RCD influenciar positivamente na resistência mecânica do pavimento.

Tabela 4. Resultado dos ensaios de atividade pozolânica.

	RCD_P	RCD_N
Atividade pozolânica (mg Ca(OH)_2 /g amostra)	168	160

3.3 Moldagem dos corpos-de-prova

Para a moldagem dos corpos-de-prova da amostra de RCD_P, primeiramente, determinou-se a umidade higroscópica do material. Posteriormente, separou-se uma quantidade de material estimada para a confecção de 3 corpos de prova. Em seguida, adicionou-se água em quantidade suficiente para que se atinja a umidade ótima determinada nos ensaios de compactação. Posteriormente é realizada a homogeneização da mistura úmida.

Para a moldagem dos corpos-de-prova da mistura 50/50 (S_{RCD}), determinou-se os teores de umidade higroscópica de cada material para definir um teor de umidade relativo da mistura. Em seguida, adicionou-se água em quantidade suficiente para se atingir um teor de umidade próximo ao teor de umidade ótimo determinado nos ensaios de compactação. Assim, separa-se as massas de

solo e de RCD, acrescenta-se água, faz-se a homogeneização (Figure 5) e, por fim, realiza-se a moldagem dos corpos de prova.



Figura 5. Preparo das misturas – Homogeneização da mistura.

Os corpos de prova foram moldados em formato cilíndrico com dimensões de (50 ± 1) mm de diâmetro e (100 ± 1) mm de altura, conforme ABNT NBR 12024/1992, e compactados dinamicamente. A compactação foi realizada em 3 (três) camadas com escarificação adequada entre as camadas de modo a aumentar a integração e a aderência entre as camadas superpostas. Finalizada a compactação, o topo foi nivelado de maneira a obter uma superfície horizontal lisa e o corpo-de-prova foi pesado e acondicionado em um saco plástico devidamente identificado para ser guardado na câmara úmida em tempos de cura pré-estabelecidos.

Foram moldados pelo menos 3 (três) corpos-de-prova para cada tempo de cura pré-estabelecido. Até o momento, foram realizadas rupturas para os tempos de 0, 3, 7, 14, 21, 28 e 112 dias para a amostra de RCD_P e 0, 3, 7 e 14 dias para a amostra S_{RCD} .

As Tabelas 5 e 6 apresentam as características de moldagem dos corpos-de-prova.

Tabela 5. Características de moldagem dos corpos-de-prova RCD_P.

CP	TC (dias)	M (g)	w (%)	ρ_d (g/cm ³)
1	0	371.5	18.83	1.593
2	0	373.8	18.86	1.608
3	0	377.6	18.89	1.624
4	3	377.9	18.36	1.627
5	3	375.2	18.79	1.611
6	3	376.6	18.58	1.619
7	7	370.1	19.28	1.582
8	7	369.1	19.36	1.583
9	7	369.8	19.27	1.582
10	14	364.4	19.31	1.560
11	14	375.1	19.31	1.610
12	14	371.3	18.90	1.596
13	21	375.0	19.18	1.605
14	21	370.4	18.96	1.589
15	21	373.2	19.07	1.598
16	28	377.2	22.59	1.569
17	28	377.9	18.53	1.625
18	28	371.7	18.39	1.600
19	28	378.2	18.47	1.626
20	112	371.15	18.94	1.590
21	112	371.02	18.64	1.593
22	112	373.06	18.79	1.598

onde: CP é a identificação do corpo-de-prova; TC é o tempo de cura; M é a massa; w o teor de umidade e ρ_d a massa específica seca.

3.4 Resistência à compressão simples

Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados de acordo com a NBR 12025 (1990). A resistência à compressão simples é a carga que rompe um corpo de prova cilíndrico de solo submetido a um carregamento axial. Quando não se atinge uma carga máxima de ruptura, a resistência à compressão simples corresponde ao valor da carga que provoca uma deformação no corpo-de-prova correspondente a 20%.

Antes do ensaio, determinou-se a massa do corpo de prova, e após o ensaio, foi determinado o teor de umidade de cada corpo de prova para a estimativa da massa específica seca no momento de ruptura. Esse valor foi comparado com o valor da massa específica seca na moldagem com a finalidade de verificar possíveis variações que possam interferir nos valores de resistência.

Tabela 6. Características de moldagem dos corpos-de-prova S_RCD.

CP	TC (dias)	M (g)	w (%)	ρ_d (g/cm ³)
1	0	405.02	13.50	1.829
2	0	413.24	13.50	1.859
3	0	411.95	13.50	1.863
4	3	413.47	13.34	1.850
5	3	410.79	13.34	1.848
6	3	415.87	13.34	1.870
7	7	416.45	13.58	1.873
8	7	410.84	13.58	1.847
9	7	413.02	13.58	1.857
10	14	413.82	13.57	1.861
11	14	413.56	13.57	1.847
12	14	408.35	13.57	1.837

4 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (RCS) AO LONGO DO TEMPO

Seguindo os métodos descritos anteriormente, conseguiu-se obter os valores de carga máxima no momento de ruptura. A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão simples (RCS) para as amostras RCD_P.

A Figura 6 apresenta algumas curvas típicas tensão *versus* deformação para a amostra RCD_P em função do tempo de cura. Os resultados demonstram uma tendência de aumento de resistência com o tempo. Essa tendência pode ser melhor observada na Figura 7, onde os valores médios de RCS em função do tempo confirmam um ligeiro acréscimo de resistência com o tempo. Adotou-se os valores médios uma vez que os valores obtidos para os três corpos de prova não apresentam elevada variabilidade (Tabela 7).

A Figura 8 apresenta os valores de RCS normalizados, que foram obtidos dividindo-se o valor de RCS por um valor de referência, sendo esta resistência obtida para o ensaio com tempo de cura de 0 dias. Os resultados indicam que à medida que o tempo de cura aumenta, a relação $RCS/RCS_{ref.}$ também aumenta, podendo atingir valores cerca de 60% superiores com 112 dias de cura.

Tabela 7. Resultado dos ensaios de RCS para a amostra RCD_P.

CP	RCS (kPa)	RCSm (kPa)	CV (%)
1	53.98		
2	54.72	54.98	2.11
3	56.25		
4	69.41		
5	64.48	67.50	3.92
6	68.61		
7	56.21		
8	61.60	58.55	4.72
9	57.83		
10	73.14		
11	63.15	68.15	10.37
12	70.85		
13	67.30		
14	65.42	66.36	2.00
15	69.28		
16	80.83		
17	89.01	84.92	6.81
18	74.78		
19	84.32		
20	82.95		
21	87.20	85.08	3.53
22	86.42		

onde: RCS_m é o valor médio de resistência à compressão simples e CV é o coeficiente de variabilidade.

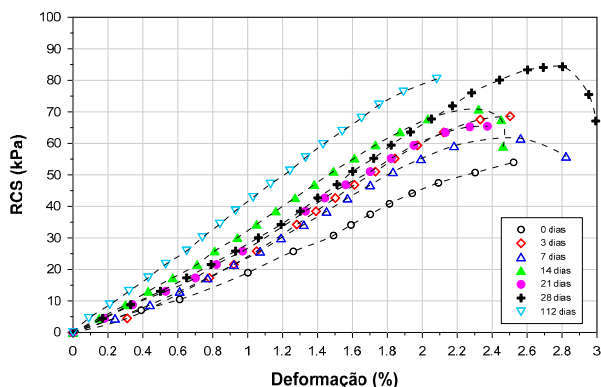


Figura 6. Curvas tensão *versus* deformação (RCD_P).

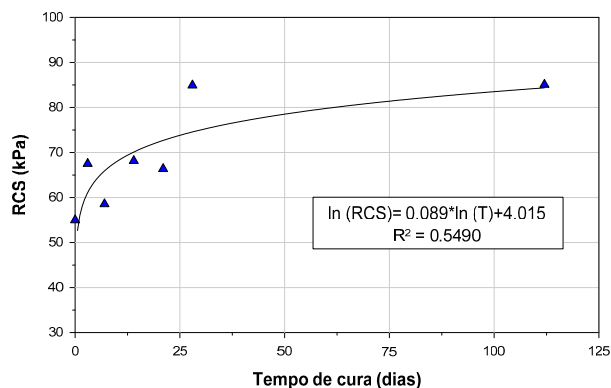


Figura 7. Resistência à compressão simples (RCS) em função do tempo de cura para a amostra RCD_P.

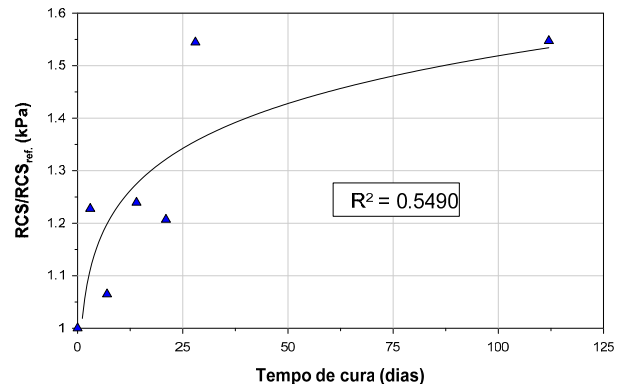


Figura 8. Resistência à compressão simples normalizada (RCS/RCS_{ref}) em função do tempo de cura para a amostra RCD_P.

Os resultados foram ajustados através de uma curva de regressão linear apresentando um coeficiente de regressão igual a 0.5490 (Figura 8). A curva ajustada apresenta uma tendência de aumento da RCS para os primeiros dias de cura e posteriormente a partir de 28 dias uma tendência de estabilizar esse aumento de RCS. Os resultados de RCS para 28 dias se apresentaram um pouco discrepantes da tendência dos dados. Possivelmente esse comportamento já indique uma estabilização no aumento da RCS, uma vez que entre 28 e 112 dias os valores obtidos foram idênticos. Esse comportamento poderá ser melhor discretizado após a ruptura de corpos de prova adicionais que serão rompidos em etapas posteriores

A Tabela 8 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão simples (RCS) para as amostras S_RCD.

Tabela 8. Resultado dos ensaios de RCS para a amostra S_RCD.

CP	RCS (kPa)	RCSm (kPa)	CV (%)
1	107.19		
2	141.32	128.17	14.33
3	136.01		
4	170.96		
5	170.24	171.29	4.00
6	182.44		
7	161.53		
8	217.76		
9	197.20	215.68	8.13
10	232.09		
11	205.42		
12	208.14	206.78	0.93
13	208.08		

onde: RCS_m é o valor médio de resistência à compressão simples e CV é o coeficiente de variabilidade.

A Figura 9 apresenta algumas curvas típicas tensão *versus* deformação para a amostra S_RCD em função do tempo de cura. Os resultados demonstram um aumento significativo da resistência com o tempo. Essa tendência pode ser melhor observada na Figura 10, onde os valores médios de RCS em função do tempo confirmam o acréscimo de resistência com o tempo. Observa-se ainda que entre 7 e 14 dias de cura, os resultados permanecem praticamente constantes. Esse comportamento será melhor discretizado após a ruptura de corpos de prova adicionais que serão rompidos em etapas posteriores.

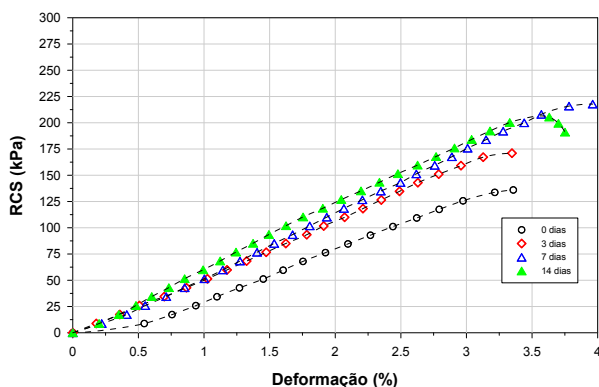


Figura 9. Curvas tensão *versus* deformação (S_RCD).

A Figura 11 apresenta os valores de RCS normalizados, que foram obtidos dividindo-se o valor de RCS por um valor de referência, sendo esta resistência obtida para o ensaio com tempo de cura de 0 dias. Os resultados indicam que à medida que o tempo de cura aumenta, a relação $RCS/RCS_{ref.}$ também aumenta, podendo atingir valores 50% superiores com 7 dias de cura.

Os resultados foram ajustados através de uma curva de regressão linear apresentando um coeficiente de regressão igual a 0.999 (Figura 11). A curva ajustada apresenta uma tendência de aumento da RCS para os primeiros dias de cura, sendo necessária a realização de ensaios adicionais para definir melhor o comportamento da RCS em função do tempo.

Adicionalmente, observou-se que a comparação da massa específica seca dos corpos-de-prova no instante da moldagem e na ruptura não mostraram variações significativas. Dessa forma, os resultados preliminares apresentados neste trabalho indicam que as amostras de RCD, embora não

apresentam atividade pozolânica, contribuem para o aumento da resistência à compressão simples com o tempo.

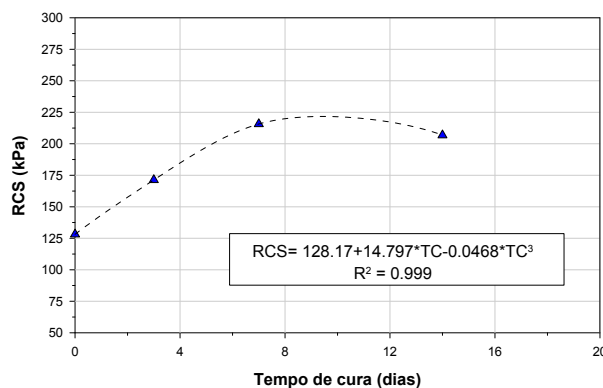


Figura 10. Resistência à compressão simples (RCS) em função do tempo de cura para a amostra S_RCD.

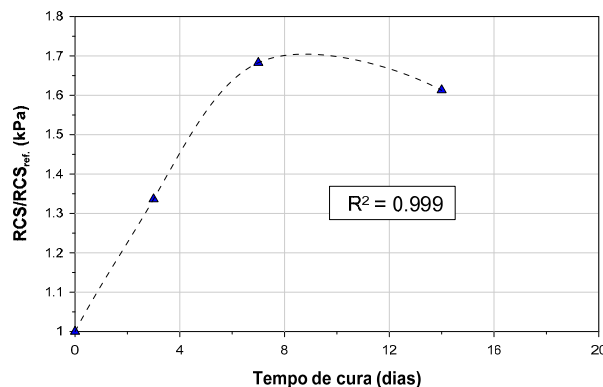


Figura 11. Resistência à compressão simples normalizada ($RCS/RCS_{ref.}$) em função do tempo de cura para a amostra S_RCD.

Destaca-se que este trabalho encontra-se em fase de andamento e que ensaios complementares estão sendo realizados, principalmente no que se refere à identificação da formação de novas reações químicas que possam acarretar o aumento da resistência através dos efeitos de cimentação das amostras de RCD.

A análise dos resultados permite observar que os valores obtidos são menores do que os valores mínimos exigidos pela NBR 15115 (2004) e NBR 15116 (2004). Desta forma, para aumentar os valores de resistência e tornar viável tecnicamente a utilização do RCD é de fundamental importância adicionar materiais com esta finalidade, tais como cimento, cal, fibras, dentre outros.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou resultados parciais do aumento da resistência à compressão simples ao longo do tempo em resíduos de construção e demolição.

O estudo foi conduzido utilizando-se duas amostras de RCD. Os ensaios de caracterização indicaram que ambas as amostras de RCD não apresentam indícios de atividade pozolânica.

Os resultados indicaram que a amostra denominada RCD_P apresentou um aumento gradual de RCS, atingindo um aumento de cerca de 55% para 28 dias e permanecendo neste patamar até 112 dias.

A amostra denominada de S_RCD, apresentou um aumento gradual até 7 dias, atingindo um aumento de 50% em relação ao valor inicial. Entretanto torna-se necessário a realização de ensaios complementares para discretizar melhor o comportamento do aumento de resistência.

As conclusões parciais permitem observar que as amostras de RCD apresentam aumento de resistência com o tempo. Isto porque condições tais como grau de compactação e massa específica seca, durante a moldagem e a ruptura, não apresentaram variações significativas.

Desta forma, o emprego deste material torna-se ainda mais interessante, uma vez que além de colaborar com o desenvolvimento sustentável permite melhorar o comportamento de resistência das camadas de base e/ou subbase de pavimentos.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12024*: Solo-Cimento – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 1992.

_____. *NBR 15895*: Materiais pozolânicos- Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro. 2010.

_____. *NBR 6457*: Amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro. 1986.

_____. *NBR 12025 MB3361*: Solo-Cimento – Ensaios de compressão simples de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2p, 1990.

_____. *NBR 6508*: Grãos de solo que passam na peneira de 4.8 mm – determinação da massa específica. Rio de Janeiro. 1984.

_____. *NBR 7181*: Solo – análise granulométrica. Rio de

Janeiro. 1984.

_____. *NBR 7182*: Solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro. 1984.

_____. *NBR 15115*: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro. 2004.

_____. *NBR 15116*: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro. 2004.

Gómez, A. M. J. (2011). *Estudo Experimental de um Resíduo de Construção e Demolição (RCD) Para Utilização em Pavimentação*. Dissertação de Mestrado. publicação G.DM-196/11. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília. Brasília. F. 123p.

Grubba, D. C. R. P.. *Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária*. 139p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2009.

Jiménez, A. M. G.; Farias, M. M.; Cordão, M. P.; Calle, I. F. O. (2014). *Water retention curve and particle breakage of aggregates recycled from demolition waste*. International Journal of Civil and Architecture, USA, v. 08, n. 9, p 1194-1203, set. 2014.

Leite, F. C. (2007). *Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Matuella, M. F. (2014) *Resíduos de construção e demolição melhorados com cimento portland: contribuições para a aplicação em camadas inferiores de pavimentos*. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 206f.

Motta, R. S. (2005). *Estudo Laboratorial de Agregado Reciclado de Resíduo Sólido da Construção Civil para Aplicação em Pavimentação de Baixo Volume de Tráfego*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. 134p.

Poon, C. S.; Qiao, X. C.; Chan, D. (2006). The cause and influence of self-cementing properties of fine recycled concrete aggregates on the properties of unbound sub-base. *Waste Management and Research*. 26. p. 1166-1172.

Santos, E. C. G. (2007) *Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) em Estruturas de Solo Reforçado*, Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo. 168f.