

## **Resistência a tração e compressão simples de misturas de solo-cimento com adição de RCD moldados por compactação estática**

**Guilherme Perego Dundi**<sup>1</sup>

**Jeselay Hemetério Cordeiro dos Reis**<sup>2</sup>

### **RESUMO**

Várias pesquisas têm demonstrado que as misturas de solo, cimento e RCD se constituem em material viável para confecção de tijolos ecológicos. A moldagem desses tijolos geralmente é feita por prensagem estática, enquanto a dosagem das misturas é feita com compactação dinâmica (Proctor Normal). Este trabalho apresenta os resultados de dosagem por compactação estática com a finalidade de melhor representar a moldagem desses tijolos. Os resultados obtidos mostram que a  $\rho_d$  máx é influenciada pela quantidade de resíduo de construção e demolição (RCD), tendo uma redução de até 10% quando comparado com a compactação do solo natural, além do aumento do teor de umidade ótimo. Isso acarreta uma redução na resistência a compressão simples (RCS) e na resistência a tração por compressão diametral (RTCD) com o aumento da proporção de RCD.

**Palavras-chave:** Solo. Cimento. RCD.

---

<sup>1</sup> Graduando, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Engenharia Civil, guilhemedundi@gmail.com

<sup>2</sup> Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, jeselay@hotmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Segantini (2003), a indústria da construção civil gera inúmeros problemas ambientais, sendo responsável pelo consumo de mais da metade de toda a matéria prima mineral produzida no planeta. O processamento dessas matérias primas seja direta ou indiretamente gera grande quantidade de resíduos (chamados entulhos), cuja disposição na maioria das vezes é feita de forma inadequada. Embora esses fatos serem preocupantes, vale lembrar que o setor da construção civil é de indispensável importância para o Brasil e para o mundo por ser uma atividade econômica que mais emprega e que contribui com o bem-estar social. No entanto, faz se necessário o desenvolvimento de tecnologias que minimizem os efeitos noivos para o meio ambiente e que proporcionem um melhor aproveitamento dos recursos naturais.

Nesse sentido, a reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) constitui em uma boa estratégia para reduzir os custos e aumentar a sustentabilidade da indústria da construção civil. O produto resultante da reciclagem de RCD produzido nas cidades pode ser utilizado na recuperação de estradas ou combate a erosões, além da confecção de blocos estruturais de solo-cimento. O solo-cimento é uma mistura de solo e cimento Portland, cujos fatores que influenciam em seu desempenho são: teor de cimento, textura do solo, teor de umidade, grau de compactação e/ou prensagem. A dosagem é definida em laboratório de acordo com a ABNT NBR 12253. O uso de solo-cimento para confecção de tijolos é largamente difundido quando se estuda construções sustentáveis, no entanto, somente nas últimas décadas se tem estudado a viabilidade de se incorporar nessa mistura o RCD. Isso ocorre devido o RCD, após sua moagem, apresentar textura semelhante a de alguns solos (BAUER, 1994).

O método empregado na confecção desses tijolos, na maioria das vezes, é através da compactação por meio de uma prensagem estática. Entretanto a dosagem das misturas, realizadas em laboratório, acontece por ensaio de Proctor Normal, o qual utiliza de uma compactação dinâmica. Sendo assim, este trabalho busca apresenta os resultados do estudo da dosagem por compactação estática de misturas de solo-cimento com adição de RCD, com a finalidade de melhor representar a moldagem de tijolos ecológicos.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Materiais e métodos

Para realização dessa pesquisa usou-se a fração passante na #10 de solo. Este material é constituído de um solo residual evoluído do arenito Caiuá coletado na cidade de Mandaguaçu-PR que apresenta uma textura de Areia Argilosa, misturado ao cimento CII 32 Z. A essa mistura foi incorporada a fração de RCD proveniente de restos de alvenaria triturados e moídos passante na #40.

As características do solo e do resíduo foram determinadas segundo as Normas NBR 6457/1986, NBR 6508/1984 e NBR 7181/1984.

A máxima massa específica aparente seca ( $\rho_d$  máx) e sua umidade ótima foram determinadas pela curva de compactação definida com base na NBR 12023/1992, com carga estática de 20 KN aplicada em prensa de ensaio de CBR com velocidade de 1,27 mm/min usando cilindro de Proctor Normal.

O desempenho foi avaliado com a determinação da RCS e da RTCD, segundo a NBR 12025 MB 3361/1990 e a NBR 15087/2012, usando corpos de prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro e

10 cm de altura, prensados estaticamente.

## 2.2. Resultados e Discussão

O ensaio de massa específica do RCD obteve o valor de 2,79 g/cm<sup>3</sup>. Este valor foi encontrado pela média de duas amostras que não obtiveram variação entre elas, sendo assim, foi satisfeita a condição do item 5.1 da NBR 6508/1984, o qual considera o resultado satisfatório quando as amostras ensaiadas apresentam diferença menor que 0,02 g/cm<sup>3</sup> entre elas. Os valores dos parâmetros utilizados no ensaio e o respectivo resultado do mesmo é apresentado na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Determinação da massa específica do RCD

Ensaio n°	1	2
Picnômetro n° / capacidade (ml)	22 / 500	24 / 500
Amostra úmida (g)	57,24	57,24
Amostra seca (g)	653,86	647,56
Picnômetro + solo + água (g)	617,10	610,79
Picnômetro + água (g)	19,2	19,3
Temperatura de ensaio (°C)	0,9984	0,9984
Massa esp. Da água (g/cm <sup>3</sup> )	2,79	2,79
Massa esp. Dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	57,24	57,24
Massa esp. Dos grãos ( médio ) (g/cm <sup>3</sup> )	2,79	

Já os ensaios de teor de umidade apresentaram o valor de 4,83% para o RCD e 5,90% para o solo, os quais eram armazenados em tambores plásticos, devidamente vedados, visando diminuir a variação brusca desse parâmetro ao longo dos demais ensaios. Apesar disso, estes teores de umidade sofreram algumas variações no decorrer do período de estudo em função das condições ambientais. Com isso foi necessário a repetição da determinação do teor de umidade do solo e do RCD no ao longo dos experimentos para que se trabalhasse com um teor de umidade mais próximo do real. A Tabela 2 apresenta os valores encontrados no primeiro ensaio da determinação do teor de umidade do RCD.

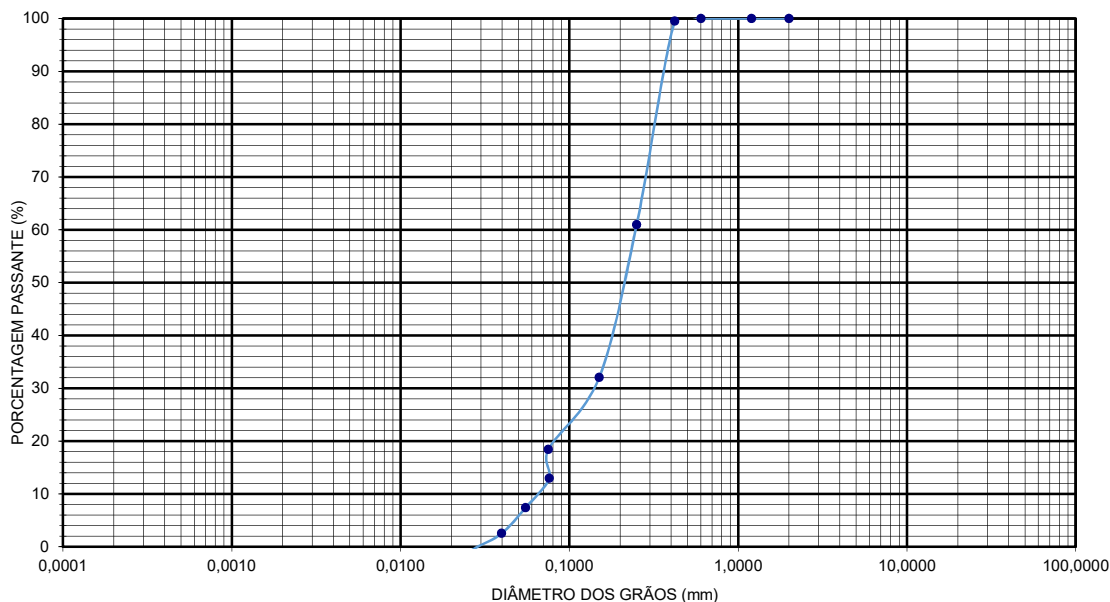
Tabela 2 – Determinação do teor de umidade do RCD

Cápsula n°	25	8	50
Amostra úmida + cápsula (g)	75,40	71,49	79,30
Amostra seca + cápsula (g)	72,73	68,99	76,50
Massa da cápsula (g)	17,80	17,07	18,24
Umidade (%)	4,86	4,82	4,81
Umidade média (%)	4,83		

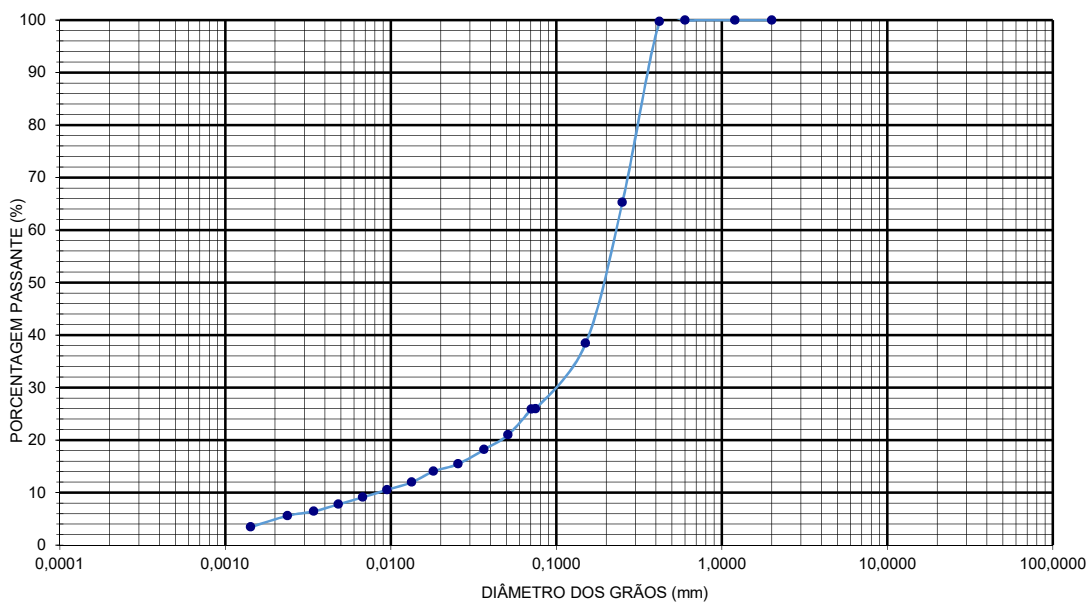
O ensaio de granulometria do RCD, sem a ação do defloculante, mostrou que o material apresentava 18,44% de silte e 81,56% de areia, a curva granulométrica que permitiu chegar nesses valores se encontra na Figura 1. Ao se repetir o ensaio com a ação de um defloculante, verificou-se

que o material é composto por 5,61% de argila, 20,36% de silte e 74,03% de areia, como observado na Figura 2.

Pela análise dos valores obtidos nas curvas granulométricas, observa-se que o RCD se apresenta formado parcialmente por partículas floculadas entre si, as quais foram desagregadas pela ação do defloculante, indicando a porcentagem de cada tipo de material que constitui o RCD.

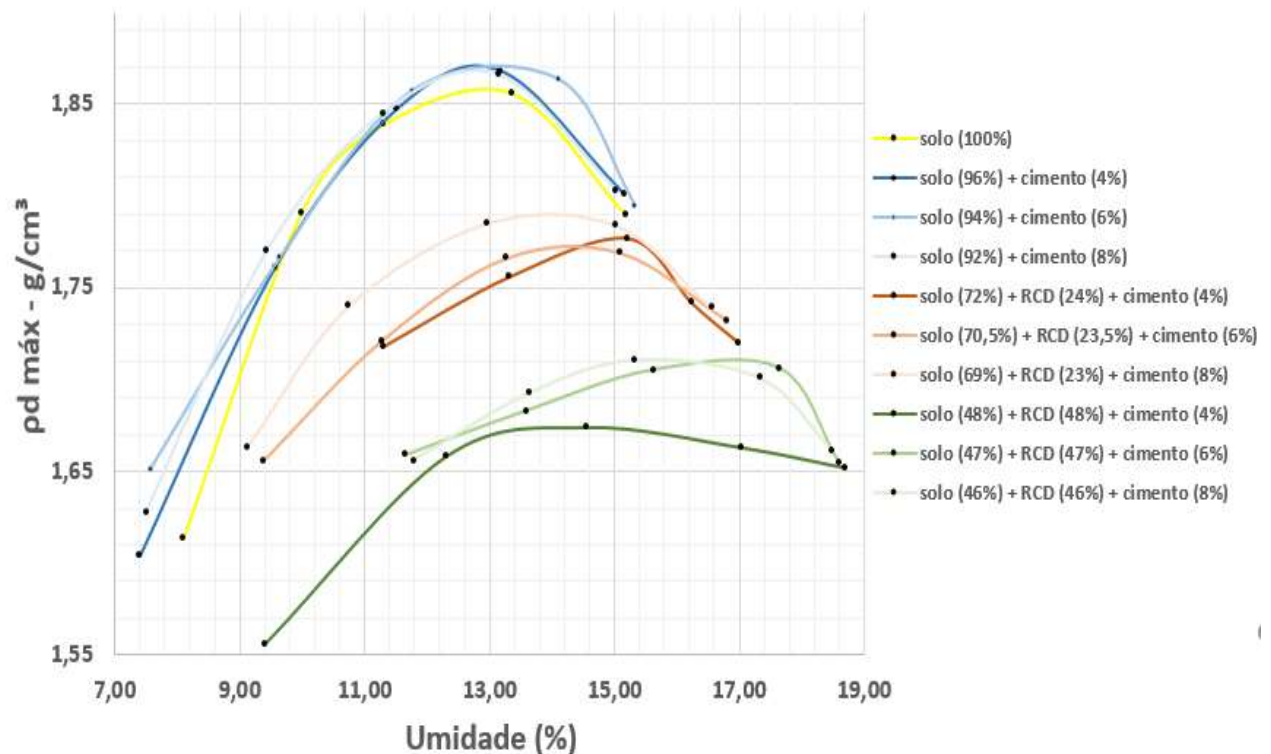


**Figura 1 - Curva granulométrica do RCD sem defloculante**



**Figura 2 – Curva granulométrica do RCD com defloculante**

O ensaio de compactação estática forneceu as seguintes curvas de compactação apresentadas na Figura 3, a seguir. Sendo que o valor de máxima massa específica aparente seca ( $\rho_d$  máx) e suas respectivas umidades ótimas são apresentadas na Tabela 3.



**Figura 3 - Curvas de compactação**

Tabela 3 – Umidade ótima e Massa específica seca máxima

Dosagem	Solo	RCD	Cimento	W ótima (%)	ρd máx (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Solo 100%</b>	100,0%	-	-	<b>12,9</b>	<b>1,86</b>
	96,0%	-	4,0%	<b>12,8</b>	<b>1,87</b>
	94,0%	-	6,0%	<b>13,6</b>	<b>1,87</b>
	92,0%	-	8,0%	<b>12,8</b>	<b>1,87</b>
<b>Solo 75% + RCD 25%</b>	72,0%	24,0%	4,0%	<b>14,9</b>	<b>1,78</b>
	70,5%	23,5%	6,0%	<b>14,3</b>	<b>1,77</b>
	69,0%	23,0%	8,0%	<b>13,9</b>	<b>1,79</b>
<b>Solo 50% + RCD 50%</b>	48,0%	48,0%	4,0%	<b>14,6</b>	<b>1,68</b>
	47,0%	47,0%	6,0%	<b>17,4</b>	<b>1,71</b>
	46,0%	46,0%	8,0%	<b>16,1</b>	<b>1,71</b>

Nos ensaios de compressão simples e de tração por compressão diametral, cada mistura foi analisada pelo ensaio de três corpos de prova. Sendo que os resultados obtidos se encontram presentes na Tabela 4 para a RCS e na Tabela 5 para a RTCD.

Tabela 4 – Resistência à compressão simples

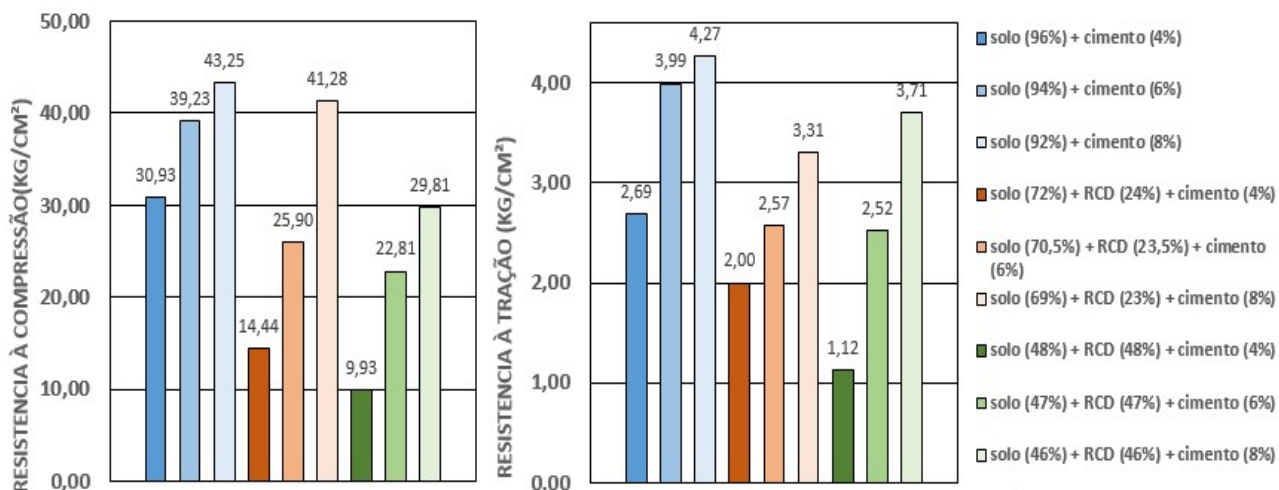
	CP	Compressão (Kg/cm <sup>2</sup> )	Compressão média (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>solo (96%) + cimento (4%)</b>	1	32,53	30,93
	2	28,06	
	3	32,2	
<b>solo (94%) + cimento (6%)</b>	1	38,9	39,23
	2	37,89	
	3	40,91	
<b>solo (92%) + cimento (8%)</b>	1	44,15	43,25
	2	47,94	
	3	37,67	
<b>solo (72%) + RCD (24%) + cimento (4%)</b>	1	12,99	14,44
	2	15,11	
	3	15,22	
<b>solo (70,5%) + RCD (23,5%) + cimento (6%)</b>	1	23,48	25,9
	2	26,28	
	3	27,95	
<b>solo (69%) + RCD (23%) + cimento (8%)</b>	1	44,37	41,28
	2	40,68	
	3	38,79	
<b>solo (48%) + RCD (48%) + cimento (4%)</b>	1	9,64	9,93
	2	9,52	
	3	10,64	
<b>solo (47%) + RCD (47%) + cimento (6%)</b>	1	21,36	22,81
	2	23,15	
	3	23,93	
<b>solo (46%) + RCD (46%) + cimento (8%)</b>	1	30,41	29,81
	2	29,4	
	3	29,63	

Tabela 5 – Resistência à tração por compressão diametral

	CP	Tração (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tração média (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>solo (96%) + cimento (4%)</b>	1	2,55	2,69
	2	2,62	
	3	2,89	
<b>solo (94%) + cimento (6%)</b>	1	3,97	3,99
	2	3,66	
	3	4,35	
<b>solo (92%) + cimento (8%)</b>	1	2,92	4,27
	2	5,69	
	3	4,21	
<b>solo (72%) + RCD (24%) + cimento (4%)</b>	1	2,04	2
	2	1,73	
	3	2,23	
<b>solo (70,5%) + RCD (23,5%) + cimento (6%)</b>	1	2,25	2,57
	2	2,8	
	3	2,67	
<b>solo (69%) + RCD (23%) + cimento (8%)</b>	1	2,78	3,31
	2	4,29	
	3	2,85	
<b>solo (48%) + RCD (48%) + cimento (4%)</b>	1	1,11	1,12
	2	1,12	
	3	1,13	
<b>solo (47%) + RCD (47%) + cimento (6%)</b>	1	2,54	2,52
	2	2,38	
	3	2,64	
<b>solo (46%) + RCD (46%) + cimento (8%)</b>	1	3,63	3,71
	2	3,72	
	3	3,77	

Os resultados dos ensaios de resistência são apresentados na Figura 4.





**Figura 4 – RCS e RTCD**

Com relação ao ensaio de RCS, de maneira geral, como pode-se observar na Figura 5, a ruptura dos corpos de prova se apresentava em um plano bem definido com uma inclinação em cerca de 45°.



**Figura 5 – Plano de ruptura do corpo de prova na compressão simples**

No ensaio de RTCD, observa-se que as rupturas dos corpos de prova acontecem pela formação de uma fissura central que divide a peça ao meio (Figura 6).



**Figura 6 – Plano de ruptura do corpo de prova na compressão simples**

### 3. CONCLUSÃO

O aumento da porcentagem de RCD nas misturas implicou em uma redução de até 10% na  $p_{dm\acute{a}x}$  quando comparado com a compactação do solo natural, além do aumento do teor de umidade ótimo. Isso acarreta uma redução na RCS e na RTCD com o aumento da proporção de RCD. Outro fato observado foi que o aumento da porcentagem de cimento na mistura implicou em um ganho de resistência tanto à compressão quanto a tração. Por outro lado, o aumento da porcentagem de RCD na mistura implicou em uma queda nessas resistências.

### REFERÊNCIAS

- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12023**: Solo – Cimento: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1992.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12025 MB 3361**: Solo-cimento – Ensaio de compressão Simples de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12253**: Solo – Cimento: Dosagem para emprego como camada de pavimento. Rio de Janeiro, 2012.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15087**: Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 6457**: Amostra de solo – preparação para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 6508**: Grãos de solo que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

BAUER, L. A. **Materiais de Construção**: Novos materiais para construção civil. 5. Ed. Rio de Janeiro, 1994.

SEGANTINI, A. A. Tijolos de solo-cimento com resíduos de construção. **Téchne**, São Paulo, 113ª Edição, ago. 2006.