

Fatores de Influência na Permeabilidade de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R)

Isabelle de Lima Rosa

Universidade de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, isabellelrosa@gmail.com

Eder Carlos Guedes dos Santos

Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, Brasil, edersantos@ufg.br

RESUMO: A geração crescente de resíduos de construção e demolição (RCD) tem se tornado cada vez mais preocupante devido aos diversos impactos provocados por tais resíduos. Embora seja possível adotar práticas para diminuir a quantidade dos RCD gerados dentro dos canteiros de obra, pode-se afirmar que a geração de tais resíduos continuará ocorrendo em decorrência de outros fatores (desastres naturais, guerras, etc.). Os RCD, além de serem associados a grandes impactos econômicos, também estão relacionados a vários impactos ambientais e sociais. Diante disso, faz-se necessário desenvolver alternativas para que tais resíduos possam ser reciclados e reutilizados. Nesse contexto, a aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) mostra-se bastante interessante como material de aterro. Buscando investigar o uso de RCD-R em obras geotécnicas, este estudo realizou a caracterização geotécnica desses materiais, analisando a influência do grau de compactação na sua permeabilidade. A análise dos resultados revelou que o RCD-R apresentou baixa variabilidade nas suas propriedades e coeficientes de permeabilidade semelhantes ao de areias, o que possibilitaria a sua aplicação em obras geotécnicas que demandem materiais de aterro com comportamento hidráulico típico de materiais granulares. Com isso, espera-se colaborar para a introdução do RCD-R no mercado e contribuir para o desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil.

PALAVRAS-CHAVES: permeabilidade, grau de compactação, índice de vazios, resíduos de construção e demolição reciclados.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um dos setores mais importantes da economia brasileira, pois promove a infraestrutura necessária para elevar o crescimento econômico do país. No entanto, é também reconhecida como uma das grandes geradoras de resíduos.

São inúmeros os fatores que levam a geração dos resíduos de construção e demolição (RCD). O desenvolvimento econômico dos centros urbanos, por exemplo, ocasiona o crescimento do setor da construção e, muitas vezes, o aumento na demanda por matéria prima e a geração de resíduos. Existe também a geração de ordem natural, como tsunamis e terremotos, e a causada pelo homem, como as guerras.

Os RCD chegam a representar cerca de 50% da

massa dos resíduos sólidos urbanos (RSU) mesmo em países que adotam práticas de gerenciamento para minimizar os impactos socioeconômicos desses resíduos (ANGULO, 2005).

Segundo John (2000), a geração em larga escala associada a uma disposição inadequada desses resíduos causam: i) a proliferação de doenças, ii) o assoreamento de córregos, iii) danos à paisagem, e iv) uma maior demanda do sistema de coleta, que representa um alto custo para os municípios.

No Brasil, de acordo com a Resolução 307 (CONAMA, 2002), cabe aos municípios criarem uma política para os RCD, dando a devida importância para a reciclagem da fração mineral, a qual chega a representar 90% da massa desses resíduos (ANGULO, 2005). Isso demonstra que

o crescimento urbano sustentável demanda um destino adequado para os RCD.

No entanto, para que esse crescimento seja possível, faz-se necessário aliar o desenvolvimento econômico com a preservação da natureza e a justiça social. Dessa forma, seria possível otimizar o consumo dos recursos naturais e diminuir a geração de resíduos para uma quantidade possível de ser reciclada (JOHN, 2000).

Diante disso, a reciclagem surge como forma de reduzir os impactos dos resíduos no perímetro urbano, produzindo novos produtos para a indústria da construção civil, os chamados de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R). Segundo um estudo feito por Pinto (1999 *apud* BARROS, 2005), o custo de produção do agregado reciclado seria bem inferior ao de um agregado natural. Com isso, a sua utilização possibilitaria converter a despesa causada pelos RCD em economia, não só para as construtoras, mas também para o setor público (SANTOS, 2007).

De acordo com Angulo (2000), os primeiros estudos sobre os RCD no Brasil foram realizados por Cincotto (1983) e Pinto (1986). Os RCD, após o processo de reciclagem, podem ser usados para produzir argamassa, concretos, blocos de construção, etc. Observa-se que várias pesquisas já foram realizadas investigando o uso dos resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) para confecção de concreto e para obras de pavimentação. No entanto, há uma quantidade limitada de pesquisas que abordam sua aplicação em obras geotécnicas.

Segundo Lasso (2011), o RCD-R possui grande similaridade com o solo, permitindo sua incorporação no próprio solo sem alterações significativas na sua aplicabilidade. De acordo com essa característica, a existência de estudos que investigaram a aplicação o RCD-R em camada drenante de aterros (AFFONSO, 2005) e em sistema de cobertura de aterros (BARROS, 2005) demonstra o interesse por esse tema.

Diante dessa perspectiva, surge a necessidade de avaliar o desempenho do RCD-R para utilização nos diversos tipos de obras geotécnicas. Para isso, além dos parâmetros de resistência, os quais são exigidos dos materiais empregados, faz-se necessário atentar também para os seus parâmetros hidráulicos. Neste

contexto, o presente estudo visa investigar fatores de influência nas propriedades hidráulicas dos RCD-R.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O RCD-R utilizado neste estudo foi coletado em uma usina de reciclagem de RCD, localizada em Camaragibe-PE, Brasil (FIGURA 1).



Figura 1. Pátio da usina de beneficiamento de RCD-R.

A usina de beneficiamento emprega os seguintes procedimentos no processo de reciclagem: i) triagem, ii) britagem e iii) estocagem. O material coletado para o estudo é denominado pela usina recicladora como ‘areia grossa’ (FIGURA 2), que é um produto do beneficiamento do RCD classificado como material ‘misto’ (composto por solos, cerâmicas e partículas de pequenas dimensões de concreto e argamassa).



Figura 2. Saída do britador durante a produção de areia grossa de RCD-R.

Foram realizadas 5 (cinco) coletas – diretamente na pilha de estocagem – com intervalos de uma semana entre elas. Como a proposta do presente trabalho trata-se da utilização do RCD-R em obras geotécnicas, as amostras foram submetidas a ensaios de caracterização de solos, seguindo os procedimentos estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

- NBR 6457/86 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização;
- NBR 7181/84 – Solo – Análise granulométrica;
- NBR 6508/84 – Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica;
- NBR 6459/1984 – Solo – Determinação do limite de liquidez;
- NBR 7180/1984 – Solo – Determinação do limite de plasticidade;
- NBR 7182/86 – Solo – Ensaio de compactação.

Para a execução dos ensaios de compactação, optou-se pela sua realização com o reuso das amostras e o emprego da energia de Proctor Intermediária.

Para avaliar o comportamento hidráulico do resíduo, foram realizados ensaios de permeabilidade de carga constante, visto que o material RCD-R apresentou características de material granular, seguindo os procedimentos previstos na NBR 13292/95.

Todas as amostras de RCD-R coletadas foram submetidas à caracterização geotécnica. No entanto, apenas a amostra obtida na terceira coleta – denominada ‘RCD-R 03’ – foi utilizada para os ensaios de permeabilidade.

Para analisar a influência do grau de compactação na permeabilidade dos RCD-R, foram realizados ensaios de permeabilidade com 4 (quatro) graus de compactação (GC). O permeâmetro utilizado para a execução dos ensaios, como mostra a Figura 3, possui diâmetro de 140,8 mm e altura de 230 mm. Para a compactação dos corpos de prova foi empregado um soquete de 4,32 kg.



Figura 3. Permeômetro de carga constante e soquete.

Para facilitar o processo de compactação dos ensaios, todas as amostras foram compactadas a seco. No entanto, para a execução do ensaio I, o material foi apenas depositado no permeâmetro, para evitar o processo de compactação da amostra. A Tabela 1 apresenta as condições empregadas na preparação dos ensaios de permeabilidade.

Tabela 1. Condições empregadas na preparação dos ensaios de permeabilidade.

Ensaio	Quant. de camadas	Altura da camada (mm)	Número de golpes ¹
I	01	195	N.A. ²
II	03	65	20
III	05	39	40
IV	10	19,5	60

Notas: ¹ Golpes com altura de queda de 30 mm; ² O material foi apenas depositado no permeâmetro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do RCD-R

Segundo a NBR 7181/84, o RCD-R pode ser classificado como uma areia pedregulhosa. A análise das curvas de distribuição granulométrica revelou uma baixa variabilidade entre as amostras ensaiadas (FIGURA 4).

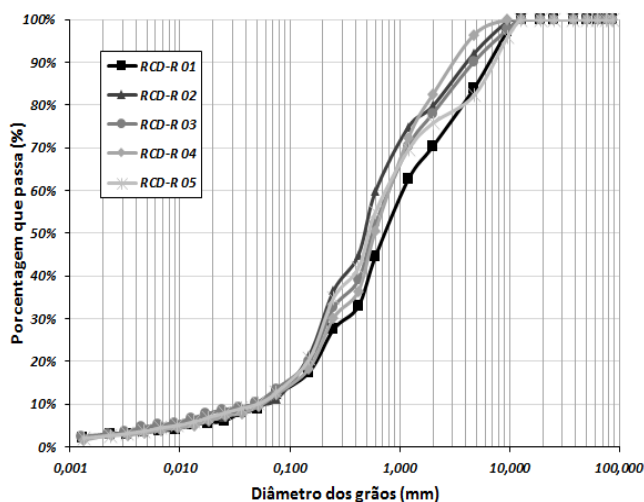


Figura 4. Curvas granulométricas das amostras de RCD-R.

Todas as amostras ensaiadas apresentaram comportamento não líquido e não plástico, o que pode ser justificado pela característica granular do material. A massa específica das amostras de RCD-R foi determinada para os grãos passantes na peneira de 4,8 mm, conforme a NBR 6508/84. De acordo com os valores obtidos, as amostras apresentaram um valor médio de 2,699 g/cm³, com um baixo coeficiente de variação igual a 2,89%. A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de massa específica.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de massa específica dos sólidos.

Amostra	Densidade real a 20°C (g/m ³)
RCD-R 01	2,705
RCD-R 02	2,758
RCD-R 03	2,792
RCD-R 04	2,630
RCD-R 05	2,613

Os resultados dos ensaios de compactação revelaram uma baixa variabilidade dos valores de massa específica seca máxima ($\rho_{d_{máx}}$) e umidade ótima (w_{ot}) de quatro das cinco amostras – apenas a amostra RCD-R 05 apresentou resultados divergentes. Observou-se valores médios de $\rho_{d_{máx}}$ igual a 1,915 g/cm³, com coeficiente de variação de 0,94%, e w_{ot} igual a 13,07%, com coeficiente de variação de 5,9%. A Figura 5 apresenta as curvas de compactação obtidas nos ensaios. Os valores de $\rho_{d_{máx}}$ e w_{ot} obtidos nos ensaios de compactação estão apresentados na Tabela 3.

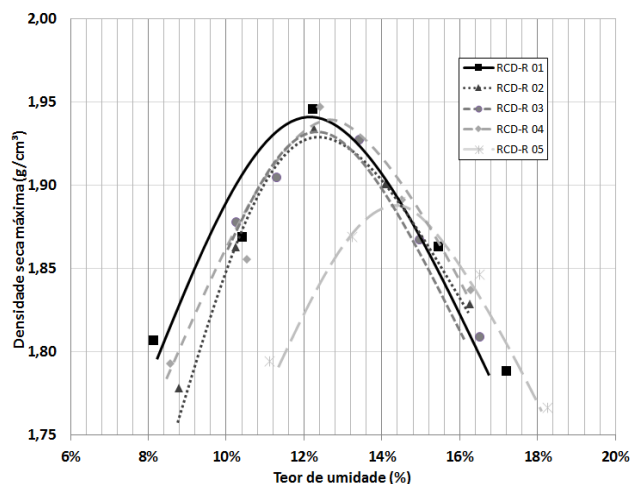


Figura 5. Curvas de compactação das amostras de RCD-R.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de compactação.

Amostra	Wot(%)	$\rho_{d_{máx}}$ (g/cm ³)
RCD-R 01	12,54	1,923
RCD-R 02	12,87	1,926
RCD-R 03	12,63	1,922
RCD-R 04	12,87	1,922
RCD-R 05	14,44	1,884

3.2 Ensaio de permeabilidade do RCD-R

O procedimento adotado na preparação dos ensaios de permeabilidade permitiu a obtenção de corpos de prova com diferentes graus de compactação (GC) (TABELA 4).

Tabela 4. Graus de compactação obtidos para os ensaios de permeabilidade.

Amostra	Ensaio	GC(%)
RCD-R 03	I	57,6
	II	64,9
	III	71,6
	IV	77,2

A análise dos resultados revelou que o ensaio de permeabilidade realizado com o RCD-R apenas depositado no permeâmetro (GC de 57,6%) apresentou o valor de coeficiente de permeabilidade (k) da ordem de 10⁻² cm/s, típico de areia. Como era de se esperar, o aumento do GC, e consequente redução do índice de vazios (e), repercutiu na redução do valor de k (TABELA 5). A partir dos resultados obtidos, gerou-se o gráfico da Figura 6, o qual apresenta a variação de k em função do índice de vazios (e) nos ensaios do RCD-R 03.

Tabela 5. Resultados dos ensaios de permeabilidade.

Amostra	Ensaio	ρ_d (g/cm ³)	GC (%)	e	$k_{20^\circ\text{C}}$ (cm/s)
RCD-R 03	I	1,107	57,6	1,522	$3,074 \times 10^{-2}$
	II	1,247	64,9	1,238	$8,178 \times 10^{-3}$
	III	1,377	71,6	1,027	$1,808 \times 10^{-3}$
	IV	1,485	77,2	0,880	$1,835 \times 10^{-4}$

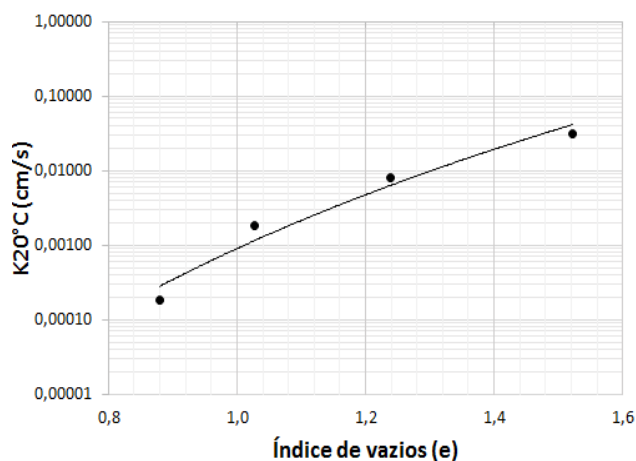


Figura 6. Variação da permeabilidade (k) em função do índice de vazios (e).

4 CONCLUSÃO

O resultado da análise granulométrica das amostras ensaiadas revelou que o RCD-R pode ser classificado como areia pedregulhosa. Observou-se uma baixa variabilidade entre as curvas granulométricas das amostras, o que sugere que o RCD-R passou por um processo de produção padronizado na usina de reciclagem.

O comportamento não plástico verificado no RCD-R apresenta-se como um fator positivo para a aplicação desses materiais em obras geotécnicas, uma vez que o caracteriza como um material com característica de solos granulares.

Os resultados dos ensaios de compactação revelaram que quatro das cinco amostras ensaiadas apresentaram valores próximos de massa específica seca máxima e de umidade ótima. Tal resultado não comprometeria a aplicação do RCD-R em obras geotécnicas, uma vez verificou-se valores dessas propriedades típicos de solos. Vale ressaltar que, de forma geral, foram observados baixos valores de coeficientes de variação para a massa específica seca máxima e para a umidade ótima do RCD-R. Os ensaios de permeabilidade revelaram que o

RCD-R apresentou valores de coeficiente de permeabilidade usualmente observados para solos arenosos. Com o aumento no grau de compactação, reduziu-se o índice de vazios do RCD-R e, conseqüentemente, verificou-se uma redução dos valores dos coeficientes de permeabilidade.

Conclui-se que o RCD-R apresentou baixos valores de coeficientes de variação das suas propriedades, as quais possibilita a sua aplicação em obras geotécnicas que demandem materiais de aterro com comportamento hidráulico típicos de materiais granulares.

REFERÊNCIAS

- Affonso, F.J. *Caracterização de resíduos de construção e demolição para uso de camadas drenantes de aterros de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Mestrado). COPPE – UFRJ.
- Angulo, S.C. *Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados*. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.
- Angulo, Sérgio Cirelli. *Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos*. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13292: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante*. 8p. Rio de Janeiro, 1995.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de caracterização*. 19p. Rio de Janeiro, 1985.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica*. 8p. Rio de Janeiro, 1984.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica*. 13p. Rio de Janeiro, 1984.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação*. 10p. Rio de Janeiro, 1986.
- Barros, M.C. *Avaliação de um resíduo da construção civil beneficiado como material alternativo para sistema de cobertura*. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Mestrado). COPPE – UFRJ.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução nº 307*. Brasília, 2002.
- John, V.M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo, 2000. 113p. Tese (Livre

Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil - Escola Politécnica da Universidade São Paulo.

Lasso, P. R. O. *Avaliação da utilização de resíduos de construção civil e de demolição reciclados (RCD-R) como corretivos de acidez e condicionadores de solo*. Piracicaba, 2011. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

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