

Análise da quebra do grão em resíduos de construção e demolição (RCD) considerando o efeito da energia modificada de compactação

Nathália Marques da Silva

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

Heloisa Yukie Ishida

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

Vitor Alexandre Moreira Terezio

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, vitor.terezio@gmail.com

Giordanno Pietro Altoé Marcantonio

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

Christopher Fonseca da Silva

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

Juliana Azoia Lukiantchuki

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

RESUMO: Nas últimas décadas diversos pesquisadores vêm tentando encontrar alternativas para minimizar a ocorrência do descarte incorreto dos resíduos de construção e demolição (RCD). No entanto, os RCD possuem uma composição que depende muito da fonte que o originou e do momento em que a amostra foi coletada. Além disso, durante o processo de manuseio e execução do revestimento asfáltico, os agregados acabam ficando sujeitos à ocorrência de quebra do grão ou mudanças significativas no tamanho e na distribuição granulométrica, devido às variações de tensões sofridas. Considerando os fatos apresentados, esse trabalho de pesquisa tem como finalidade avaliar a quebra do grão de resíduos de construção e demolição considerando o efeito da energia modificada compactação. Para isso, foram coletadas amostras de RCD, provenientes da Recicladora Mauá, localizada na cidade de Maringá (PR). O resíduo foi separado em três frações granulométricas distintas, através da técnica de peneiramento manual. Posteriormente, cada fração granulométrica foi caracterizada através de ensaios de massa específica dos sólidos e ensaio de granulometria. A quebra do grão foi induzida através do ensaio de compactação padrão utilizando-se a energia modificada. Posteriormente, para cada um dos pontos da curva de compactação foi repetido o ensaio de análise granulométrica. A quebra do grão foi quantificada através da comparação entre as curvas granulométricas antes e após a compactação. Os resultados indicaram que, conforme esperado, a energia modificada induz significativamente a quebra de grão. Em relação à influência da quantidade de água, não foram observadas diferenças significativas na quebra do grão para os diferentes teores de umidade da curva de compactação.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de construção e demolição (RCD), quebra do grão, ensaio de compactação, energia modificada, pavimentação.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a quantidade de resíduos proveniente das diferentes atividades cotidianas tanto no setor industrial quanto no setor urbano é assunto preocupante para as empresas e para a sociedade. A elevada geração de resíduos sólidos apresenta graves problemas de ordem econômico e ambiental, sobretudo devido à disposição irregular.

Dentre os resíduos sólidos urbanos, o resíduo de construção e demolição (RCD) destaca-se por representar cerca de 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade. Desta forma, quando a sua disposição é realizada na forma de aterro esse material ocupa um grande espaço, contribuindo para a diminuição da vida útil do aterro. Assim, nas últimas décadas pesquisadores vêm tentando encontrar alternativas para minimizar a ocorrência do descarte incorreto, visando à sustentabilidade do setor construtivo, tanto em função das questões ambientais quanto econômicas (SANTOS, 2007; JIMÉNEZ ET AL., 2014; MOTTA, 2005).

Neste sentido, o aproveitamento deste material em pavimentação apresenta muitas vantagens tais como a utilização em quantidade significativa de material reciclado, tanto na fração miúda quanto na graúda. No entanto, os resíduos de construção possuem uma composição que depende muito da fonte que o originou e do momento em que a amostra foi coletada. Além disso, durante o processo de manuseio e execução do revestimento asfáltico, os agregados acabam ficando sujeitos à ocorrência de quebra do grão ou mudanças significativas no tamanho e na distribuição granulométrica, devido às variações de tensões sofridas (LADE ET AL., 1996; ZEGHAL, 2009).

Ao contrário do que se pensa a quebra das partículas também ocorre sob a ação de baixas tensões, dependendo das características individuais dos grãos do material. Desta forma, o estudo da degradação do material é de extrema importância, pois durante o processo de compactação das camadas de RCD pode ocorrer a quebra do grão acarretando alterações granulométricas e consequentemente o comportamento do material utilizado. Como

consequência o material pode não atender às especificações requeridas para o projeto.

Considerando os fatos apresentados, esse trabalho de pesquisa tem como finalidade avaliar a quebra do grão de resíduos de construção e demolição (RCD) considerando o efeito da energia modificada de compactação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta e preparo das amostras

O resíduo de construção e demolição (RCD) foi coletado na Usina de Reciclagem Mauá (Figura 1). A Empresa de Reciclagem Mauá trabalha com a reciclagem de resíduos de construção e demolição desde 2013 e fica localizada na cidade de Maringá, Paraná, Brasil. Por ser um material que possui características muito distintas e que possibilita grande variabilidade de composição entre uma coleta e outra, para eliminar possíveis divergências entre resultados, foi realizada uma única coleta do material.



Figura 1. Usina de reciclagem Mauá (Maringá, PR).

O RCD foi seco até atingir a umidade higroscópica. Posteriormente, o material foi separado em três frações granulométricas distintas:

- a) Material passante na # 4.8 mm e retido na # 2.0 mm (**Fração 1**);
- b) Material passante na # 2.0 mm e retido na peneira # 0.84 mm (**Fração 2**); e
- c) Material passante na # 0.84 mm e retido na # 0.42 mm (**Fração 3**).

2.2 Quebra do grão induzida pela energia de

compactação

A avaliação quantitativa da quebra do grão nas diferentes frações de RCD estudadas foi realizada através da comparação das curvas granulométricas antes e após a compactação.

Para isso, foram realizados os ensaios de compactação para cada uma das frações. Após a compactação de cada um dos pontos o material foi colocado para secar até a umidade higroscópica e posteriormente repetiu-se o ensaio de análise granulométrica. A comparação entre as curvas granulométricas para a análise de quebra do grão é um procedimento consagrado na literatura (Figura 2).

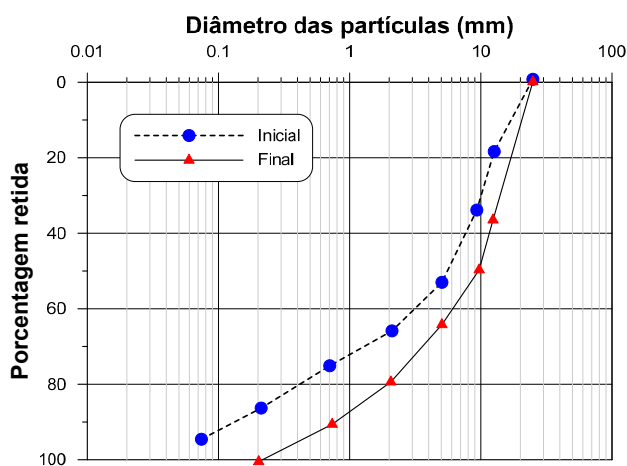


Figura 2. Mudança na distribuição granulométrica produzida pela quebra dos grãos.

2.3 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada com base nos procedimentos recomendados pela NBR 7181/1984. Para a Fração 1 utilizou-se a granulometria através do peneiramento grosso e para as demais frações utilizou-se o peneiramento fino e a sedimentação.

2.4 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação seguiu os procedimentos recomendados na NBR 7182/1986. Os ensaios foram conduzidos utilizando o cilindro pequeno com o soquete grande e aplicando-se 27 golpes por camada, sendo um total de 5 camadas (energia modificada).

A preparação da amostra da Fração 1 foi realizada lavando-se todo o material para a retirada de eventuais finos. Em seguida, deixou-se o material secando ao ar livre, até que atingisse a umidade higroscópica (Figura 3). As demais frações já estavam secas ao ar livre e foram apenas homogeneizadas.



Figura 3. Material retido na peneira de abertura 2,0 mm secando após a lavagem.

A compactação das frações mais granulares apresentou-se bastante difícil. Para alguns teores de umidade observou-se uma grande expulsão de água durante a aplicação dos golpes (Figura 4). Isto porque o material apresenta uma elevada permeabilidade possibilitando a saída rápida da água. Desta forma, a partir de uma determinada quantidade de água não foi possível aumentar o grau de saturação da amostra devido a saída de água.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Massa específica dos sólidos (ρ_s)

Os resultados obtidos para o ensaio de massa específica do resíduo de construção e demolição estão descritos na Tabela 1, apresentada abaixo.

Tabela 1. Massa específica dos sólidos.

Parâmetro	RCD retido #0,42 mm	RCD retido #0,84 mm
ρ_s (g/cm ³)	2,76	2,78

Os resultados demonstram que a massa específica desse material é próxima de

2.70 g/cm³, valor próximo ao observado em outros trabalhos de pesquisa. Os resultados entre 2.76 e 2.78 g/cm³ não se mostraram discrepantes com relação à média de 2.75 g/cm³, encontrado na pesquisa de Leite (2007), para materiais passantes na peneira com abertura 4.8 mm, e com a média de 2.82 g/cm³, determinada na pesquisa de Santos (2007). Porém devido às diferenças nas composições, que podem ser encontradas nos resíduos de construção e demolição, os resultados de massa específica encontrados na literatura são variáveis e a redução desse parâmetro, pode ser explicada segundo Leite (2007), pela também redução da porosidade ocorrida devido à britagem ou quebra do material.



Figura 4. Expulsão de água durante a compactação.

3.2 Ensaio de compactação

As Figuras 5 a 7 indicam que o resíduo de construção e demolição, mesmo com grande variação no teor de umidade, manteve-se com os valores de massa específica seca, variando no intervalo entre 1.50 e 1.70 g/cm³, fato também observado em outras pesquisas anteriores (JIMENEZ, 2014; MATUELLA, 2014).

Diferente das duas curvas de compactação padrão, os RCD possuem um comportamento diferente, não sendo possível definir o ramo seco e ramo úmido com teores de umidade máximos bem definidos. Podemos observar

uma tendência horizontalizada, em todos os casos estudados. A Figura 5 mostra que o material de granulometria mais fina, é o que apresentou uma curva de compactação melhor estruturada, se comparada com as demais granulometrias.

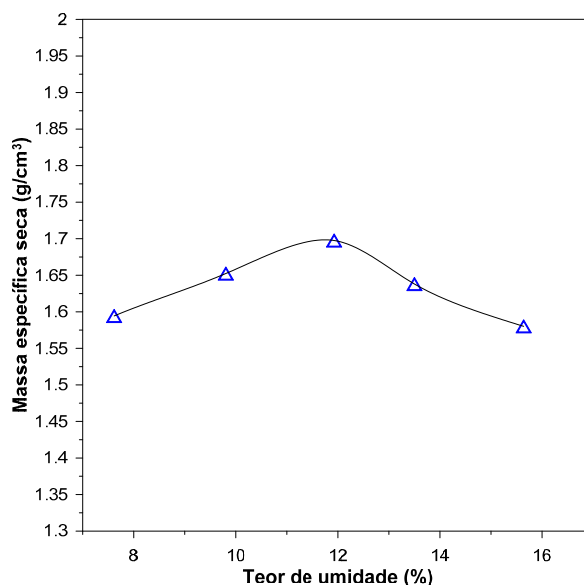


Figura 5. Curva de compactação (Fração 3).

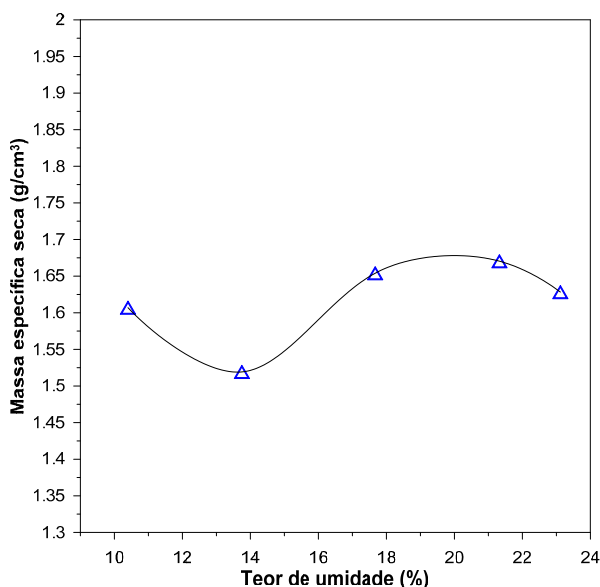


Figura 6. Curva de compactação (Fração 2).

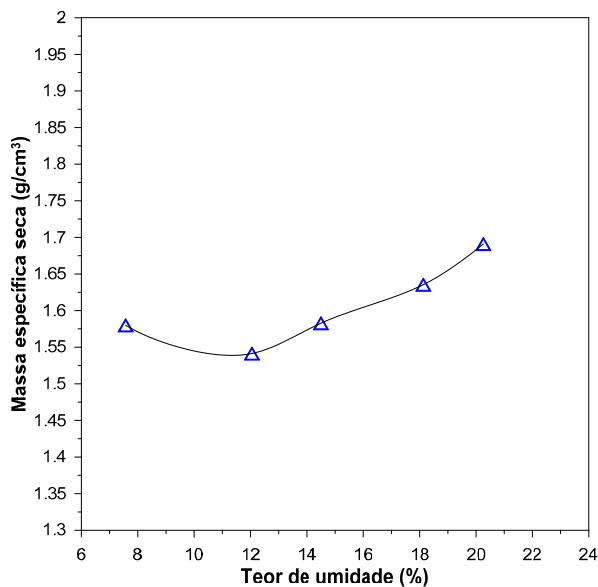


Figura 7. Curva de compactação (Fração 1).

3.3 Análise granulométrica antes da compactação

Após a realização do peneiramento da amostra em diferentes frações granulométricas, foi possível realizar o ensaio de análise granulométrica para determinação percentagens de cada diâmetro que compõem a amostra.

As Figuras 8 a 10 apresentam as curvas granulométricas das percentagens passantes em cada peneira. A curva média foi adotada como referência para a comparação com a curva granulométrica após a compactação.

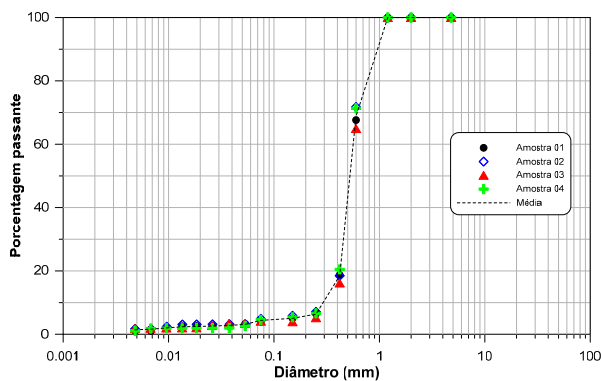


Figura 8. Curvas granulométricas para a Fração 3.

Como ilustram as Figuras apresentadas, a distribuição granulométrica para a amostra de RCD, para o material retido na #0.42 mm (Fração 3), está concentrado entre os diâmetros 0.4 e 1.0 mm. Para o material retido na #0.84 mm (Fração 2) a maior concentração é

notada entre os diâmetros 0.8 e 2.0 mm, e para a maior faixa granulométrica (Fração 3), a maior percentagem passante, está limitada entre 2.0 e 4.0 mm. As curvas indicam que o processo de separação através do peneiramento manual apresentou-se eficaz.

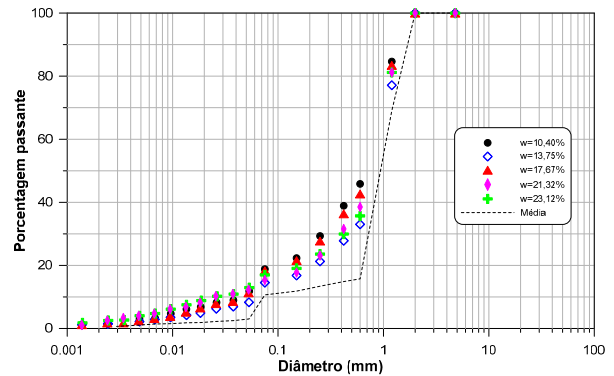


Figura 9. Curvas granulométricas para a Fração 2

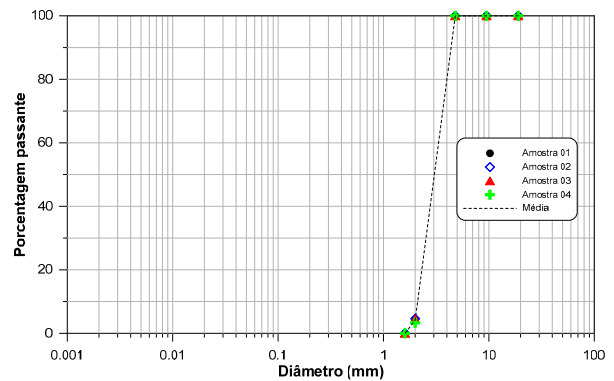


Figura 10. Curvas granulométricas para a Fração 1.

3.5 Análise granulométrica após a compactação

Após o ensaio de compactação, o material foi seco e armazenado, para que posteriormente viesse a ser determinada a nova curva granulométrica e possibilitando assim a análise das alterações ocorridas em função do processo de compactação. Nas Figuras 11 a 13, são ilustradas as curvas granulométricas para as diferentes frações estudadas, tanto na forma de percentagens passantes, quanto na forma de percentagens retidas não acumuladas, para cada teor de umidade.

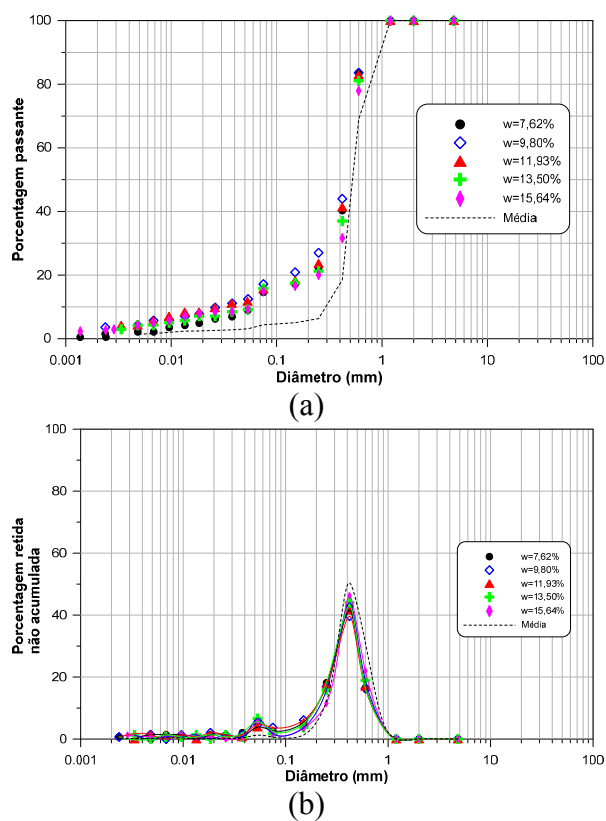


Figura 11. Análise granulométrica após a compactação (Fração 1).

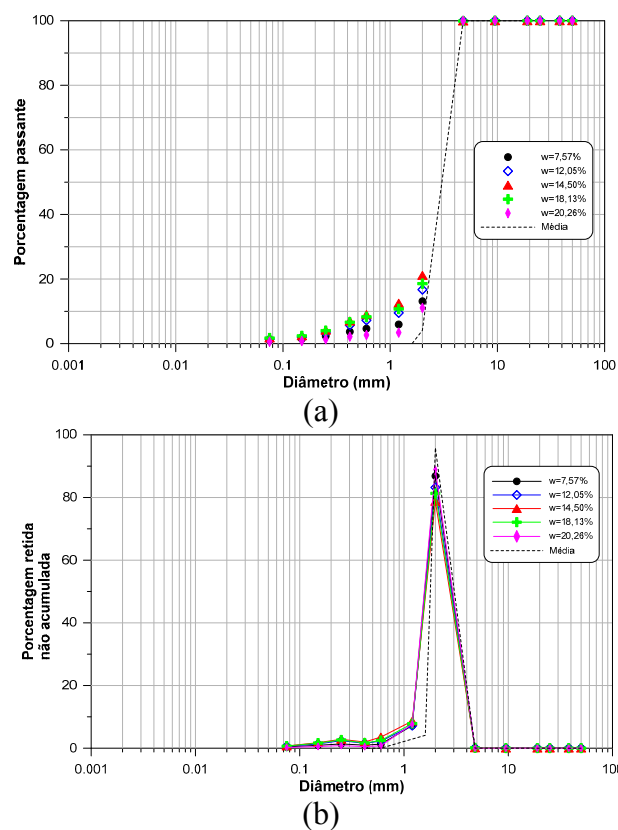


Figura 13. Análise granulométrica após a compactação (Fração 3).

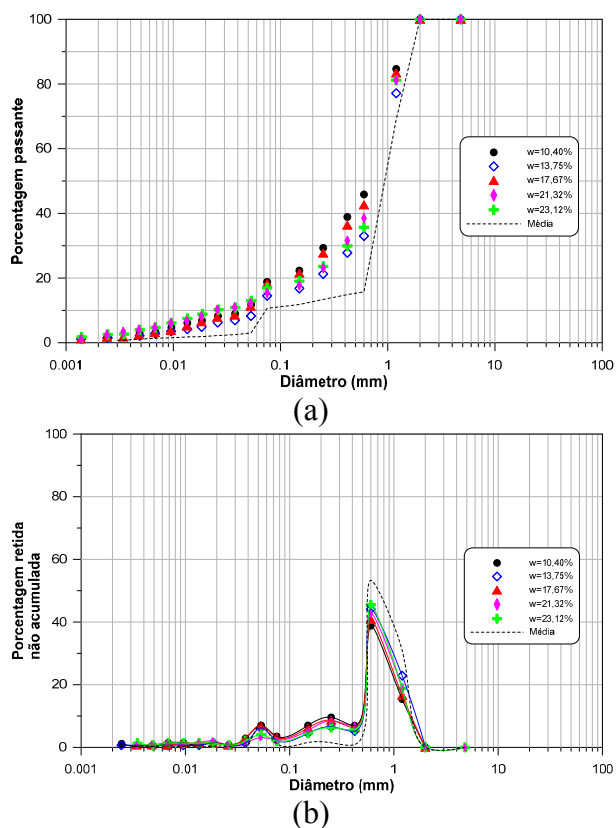


Figura 12. Análise granulométrica após a compactação (Fração 2).

Embora o comportamento das curvas granulométricas permaneça o mesmo, é possível observar alterações granulométricas nas porcentagens dos diferentes tamanhos de grão. Tais alterações ocorreram devido à quebra do grão durante o processo de compactação.

As Figuras 14 a 16 apresentam a comparação das porcentagens passantes antes e após a compactação.

Analisando a Figura 14, observamos que para a Fração 3, independente do teor de umidade, houve uma significativa diminuição dos maiores diâmetros (especialmente da faixa entre 0.60 e 1.20 mm) e um aumento de mais de três vezes no percentual das partículas menores (material de diâmetro menor que 0.075mm), para todos os teores de umidade. Desta forma, para essa faixa granulométrica observou-se que quanto maior o diâmetro maior foi a quebra de partículas observada.

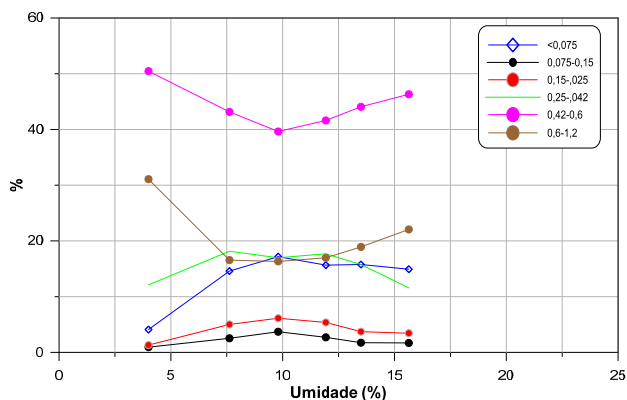


Figura 14. Comparação das porcentagens passantes antes e após a quebra dos grãos (Fração 1).

Assim como no material mais fino, o material retido na peneira de abertura 0.84mm (Fração 2) (Figura 15) apresentou notável quebra. É expressiva a diminuição do material das duas últimas faixas de diâmetro analisadas (material com diâmetro maior que 0.60mm) e o aumento de material nas faixas com menor diâmetro. Podemos analisar também, que foi entre os diâmetros de 0.15 e 0.60 mm que ocorreu o maior aumento de percentual após a compactação, e também, foi sobre influência do menor teor de umidade (10.40%), que percebemos a maior quebra de partículas.

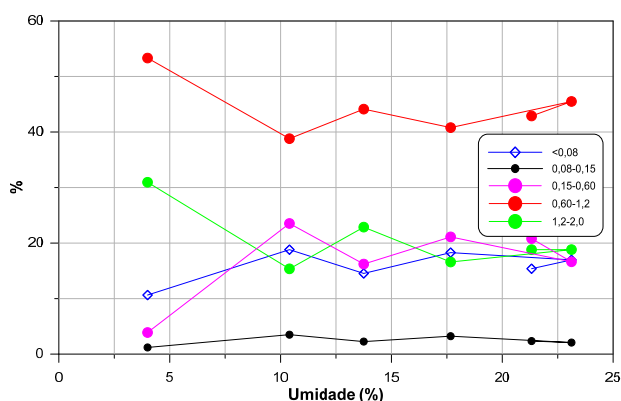


Figura 15. Comparação das porcentagens passantes antes e após a quebra dos grãos (Fração 2).

No caso da maior granulometria (Fração 1), analisando os resultados da Figura 16, observa-se mudanças nos resultados percentuais antes e após os ensaios de compactação, concluindo-se que a faixa granulométrica mais fina aumentou em até 17% ($w=12.05\%$) e as mais graúdas chegaram a diminuir 29% ($w=14.50\%$), confirmando a ocorrência de quebra nessas partículas. Como a amostra não passou por

peneira de diâmetro 3.0 mm, os resultados apresentados foram determinados através da interpolação da curva granulométrica.

Avaliando os resultados anteriormente apresentados, não observamos relação entre o teor de umidade e o percentual de quebra do resíduo de construção e demolição.

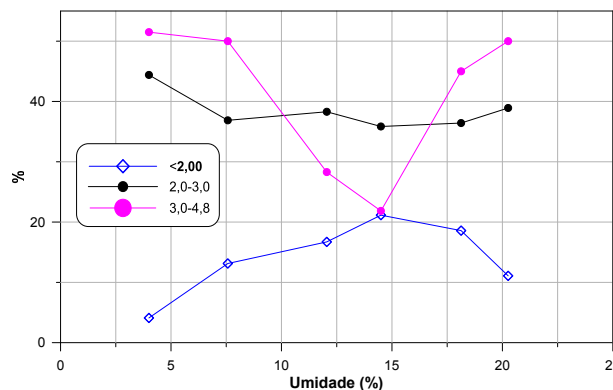


Figura 16. Comparação das porcentagens passantes antes e após a quebra dos grãos (Fração 1).

4 CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi apresentar um estudo de quebra do grão em amostras de RCD submetidas ao ensaio de compactação através da energia modificada. Em relação às principais conclusões, destaca-se que:

1. Os resíduos de construção e demolição apresentam necessidade de avaliação individual das características das amostras, devido a sua heterogeneidade e grande variabilidade de composição;

2. O ensaio de compactação demonstrou que as diferentes frações estudadas apresentam diferentes comportamentos, inclusive no que se refere à curva de compactação padrão observada para solos. Apenas para a fração de material retido na #0.42 mm que foi possível determinar a massa específica seca máxima e o teor de umidade ótimo. Durante os ensaios, ocorreram dificuldades devido ao excesso de água durante as compactações, mesmo o grau de saturação não sendo tão elevado. Isto porque algumas frações estudadas apresentam elevada permeabilidade;

3. As curvas granulométricas obtidas após o ensaio de compactação, com energia modificada, demonstraram que ocorreram alterações na granulometria original do

material. No entanto não foi observada nenhuma relação direta entre a quantidade de água e a quebra do grão;

4. As três faixas granulométricas estudadas apresentaram quebra das partículas de resíduo de construção e demolição. Porém, o material retido na peneira de abertura 2.00 mm foi o que apresentou maior resistência quanto à quebra de partículas.

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.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7181*: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro. 1984.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7182*: Solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro. 1984.
- 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.
- Lade, P. V.; Yamamuro, J. A; Bopp, P. A. (1996). *Significance of Particle Crushing in Granular Materials*. International Journal of Geotechnical Engineering, USA, v. 122, n. 4, p 309-316, abr.
- 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 de Universidade de São Paulo. Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo. 216f.
- 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 em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 134 f.
- 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.
- Zeghal, M. (2009). *The impact of grain crushing on road performace*. Soils and Rocks: International Journal of Geotechnical & Geological Engineering, Canada, v. 27, n. 1, p. 549-558, Abril.