



ESTUDO DE APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) EM BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA

Henrique Antônio Oliveira Araújo¹
Alexandre de Souza Júnior²
Manoel Domiciano Dantas Filho³
Yago Wiglife de Araújo Maia⁴
João Paulo Batista Barros⁵

RESUMO

A construção civil no Brasil vem crescendo em ritmo acelerado nos últimos tempos, sendo um dos principais fatores do desenvolvimento econômico e social do país. Todo esse crescimento causa um aumento na geração dos resíduos de construção e demolição (RCD) e, com isso, traz diversos impactos ambientais à sociedade. A presente pesquisa teve como objetivo estudar a possibilidade do aproveitamento do RCD como material alternativo na construção de barragens de terra homogêneas. Para atingir tal objetivo, foram realizados ensaios geotécnicos de caracterização física e de estado, bem como de comportamento mecânico do RCD puro, comparando-as com as especificações necessárias para um solo de qualidade para uso em construções de barragens de terra. Os ensaios realizados foram o de granulometria, massa específica, limites de Atterberg, compactação, permeabilidade e compressão simples. O RCD apresentou comportamento não plástico, sem limites de liquidez, assim como um coeficiente de permeabilidade elevado para a finalidade proposta, além de uma baixa resistência à compressão, o que pode causar instabilidade ao maciço. Portanto, devido a todos esses fatores, a presente pesquisa não indica o uso do RCD puro como material alternativo para construção de barragens de terra homogêneas. Contudo, sugeriu-se análises e pesquisas diversas à serem realizadas com o RCD, puro ou em mistura com outros materiais, de forma que se possa ter a sua viabilidade indicada, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável e uma melhor qualidade de vida para a população.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição, Construção civil, Barragem de terra, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem grande importância para o desenvolvimento econômico de um país, sendo responsável pelo desenvolvimento urbano e melhoria da

¹ Mestrando do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, henrique.zamoura@gmail.com;

² Mestrando do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, alexandrejr5@hotmail.com;

³ Graduando pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, manoelfilho97@gmail.com;

⁴ Graduado pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, yagowiglife23@gmail.com;

⁵ Graduado pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, joaopaulo_cce@hotmail.com;



qualidade de vida da população. Mas sabe-se também que ela ainda é uma grande geradora de impactos ambientais pela alta quantidade de resíduos gerados e por ser a maior consumidora de recursos naturais do mundo, absorvendo, segundo John (2001), de 20 a 50% desses recursos explorados.

Diante desses fatos, foi publicada, em 5 de julho de 2002, a resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), declarando os geradores como os próprios responsáveis pelos resíduos. Seu objetivo principal é a não geração dos resíduos e a política dos 3R's (Redução, Reutilização e Reciclagem). Novos estudos com essa temática vem crescendo cada vez mais de modo a obter soluções sustentáveis para o gerenciamento dos resíduos da construção civil. Uma das alternativas encontradas é a reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) para reutilização na própria construção civil, proporcionando assim, uma economia de matéria-prima e energia.

O RCD reciclado já vem sendo aplicado em várias áreas da construção civil, principalmente em obras de pavimentação nos Estados Unidos e diversos países europeus, por consumirem grandes quantidades de material e pela abrangência dos materiais que podem ser reciclados para seu uso (concreto, materiais cerâmicos, argamassa, etc) como também para fabricação de agregado para concreto não estrutural e argamassas.

Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a aplicação do RCD na utilização em obras de terra, constatando, através de ensaios geotécnicos, análise de dados e segundo a revisão bibliográfica, sua viabilidade técnica.

METODOLOGIA

Metodologicamente, foram realizados ensaios geotécnicos para obter a caracterização física do material e ensaios mecânicos para obter parâmetros de resistência para análise da estabilidade e viabilidade para uso em barragens de terra. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia de Pavimentos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande (LEP/UFCG).

O resíduo utilizado foi coletado na Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, campus Campina Grande, mais precisamente no canteiro de obras da reforma da biblioteca da referida universidade. A partir daí, foi feita a triagem e, em seguida, a britagem do material, cerca de 200 kg, por considerar que o material na forma *in natura* não seria viável para realização dos ensaios devido às grandes dimensões de alguns de seus constituintes. O resíduo é um material



composto de cimento, cal e areia (concreto, argamassa, blocos de concreto); materiais cerâmicos (tijolos, telhas, azulejos) e materiais não-recicláveis (solo, gesso, vidro, matéria orgânica, etc). Os materiais não recicláveis foram excluídos na triagem, exceto o solo em si.

Para o desenvolvimento das atividades experimentais, foi necessário a realização de ensaios em laboratório, para que os materiais fossem caracterizados geotécnicamente, segundo as normas da ABNT. Os ensaios geotécnicos de caracterização física, hidráulica e mecânica realizados com o RCD puro foram o de granulometria (ABNT NBR 7181:2017), densidade real dos grãos (ABNT NBR 6458:2016), limites de Atterberg (ABNT NBR 6459:2017, ABNT NBR 7180:2016), compactação (ABNT NBR 7182:2020), compressão simples (ABNT NBR 12770:1992) e permeabilidade (ABNT NBR 13292:1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores da massa da amostra retida em cada peneira, assim como a respectiva porcentagem passante.

Tabela 1 - Valores referentes à massa retida e a que passa em cada peneira

| Φ Peneira (mm) | Massa retida (g) | % Retida em cada peneira | % Retida acumulada | % Que passa em cada peneira |
|---------------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 19,1 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 12,7 | 96,77 | 9,68 | 9,68 | 90,32 |
| 9,5 | 185,9 | 18,59 | 28,27 | 71,73 |
| 4,8 | 200,5 | 20,05 | 48,32 | 51,68 |
| 2 | 191,6 | 19,16 | 67,48 | 32,52 |
| 0,42 | 53,88 | 5,39 | 72,87 | 27,13 |
| 0,18 | 46,94 | 4,69 | 77,56 | 22,44 |
| 0,075 | 34,88 | 3,49 | 81,05 | 18,95 |
| < 0,074 | 189,53 | 18,95 | 100,00 | 0,00 |
| Σ | 1000 | 100,00 | | |



Com os valores da Tabela 1, foi elaborado o gráfico da Figura 1, que apresenta a porcentagem retida acumulada em função da abertura das peneiras.

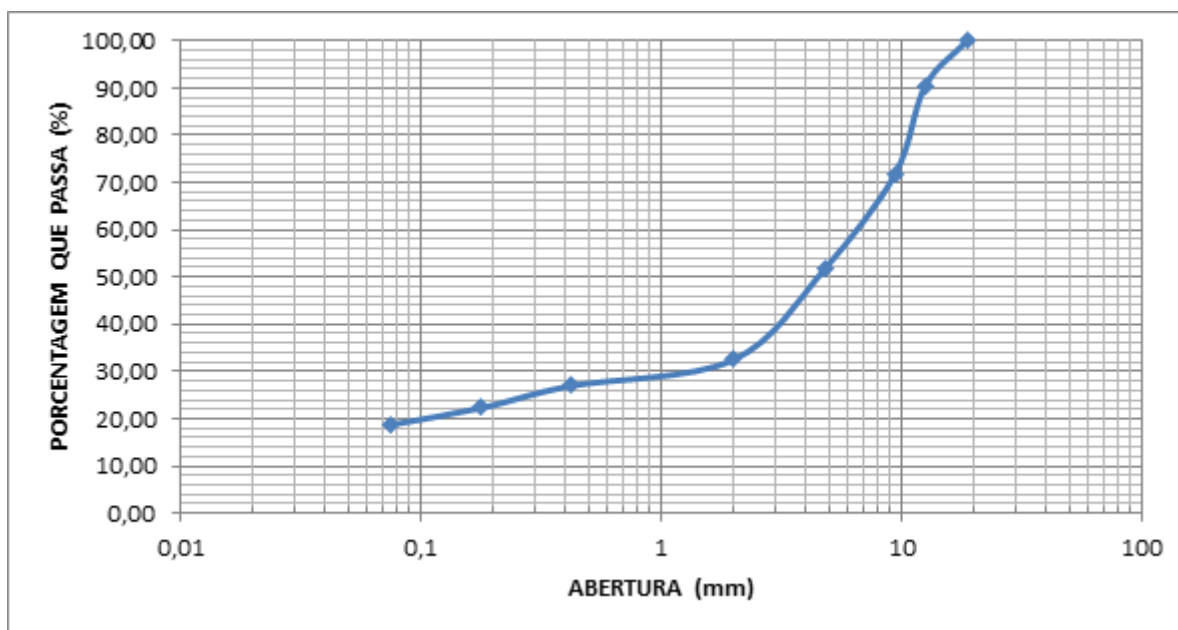


Figura 1 - Curva granulométrica do RCD

De acordo com a ABNT NBR 6502:1995, pode-se caracterizar um solo conforme sua granulometria, tomando-se como base o tamanho do grão em função do diâmetro das partículas. A Tabela 2 mostra a composição granulométrica do RCD após moagem.

Tabela 2 - Composição granulométrica do RCD após moagem

| Fração | RCD após moagem (%) |
|------------------------------|---------------------|
| Pedregulho | 48,32 |
| Areia (fina, média e grossa) | 29,24 |
| Silte | 3,49 |
| Argila | 18,95 |
| TOTAL | 100 |

Dessa forma, o RCD utilizado nesta pesquisa, após a moagem, possui a seguinte composição granulométrica: predomínio de pedregulho e areia (fina, média e grossa), ou seja, aproximadamente 78%. O restante é composto de argila (18,95%) e silte (3,49%).



Para a classificação geotécnica do material em questão, utilizou-se o Sistema Unificado de Classificação (SUCS), usualmente empregado na construção de barragens. A ideia básica do SUCS é que os solos grossos podem ser classificados de acordo com a curva granulométrica, ao passo que o comportamento de engenharia dos solos finos está intimamente relacionado com a sua plasticidade. Este sistema utiliza os ensaios de granulometria e de limites de consistência para classificar os solos.

Seguindo o roteiro estabelecido pelo método, chegou-se a um solo do grupo SM (areias siltosas e misturas de areia e silte mal graduados), sendo finos, não plásticos com uma resistência do solo nula à fraca e uma rigidez nula.

A Tabela 3 apresenta valores calculados nos picnômetros em cada um dos procedimentos do ensaio.

Tabela 3 - Resultados coletados do ensaio de Densidade real dos grão

| Nº | Procedimento do Ensaio | Referência | Picnômetro nº 1 | Picnômetro nº 2 |
|----|--|-----------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | Peso da Amostra Úmida (g) | M1 | 60g | 60 g |
| 2 | Picnômetro + Amostra + Água (g) | M2 | 671,20 g | 679,20 g |
| 3 | Picnômetro + Água (g) | M3 | 634,20 g | 642,30 g |
| 4 | Massa Específica da Água à 27°C (g/cm ³) | $\rho_{\text{água}}$ | 0,9965 | 0,9965 |
| 5 | Massa Específica dos Grãos à 27°C (g/cm ³) | $\rho_{\text{grãos}}$ | 2,697 | 2,688 |
| 6 | Massa Específica Média dos Grãos à 27°C (g/cm ³) | $\rho_{\text{grãos}}$ | | 2,69 |
| 7 | Umidade do Solo (%) | h | | 2,1 |

Como se observa, os dados mostram que se obteve para a massa específica dos grãos de solo o valor médio igual a 2,69 g/cm³. De acordo com a norma ABNT, este valor é característico de solos granulares, que possuem massa específica dos grãos na faixa de 2,65 à 2,70 g/cm³.



Quanto aos limites de Atterberg, a amostra de RCD puro, não apresentou Limite de Liquidez (LL) e nem Limite de Plasticidade (LP), comportando-se como material não plástico. O material logo rompeu-se, como visto na Figura 16 e as ranhuras fecharam-se em poucos golpes, no máximo 8, ficando inviável chegar aos 25 golpes necessários para analisar a umidade correspondente ao Limite de Liquidez.

A partir dos dados do ensaio de Proctor Normal, foi plotada a curva de compactação conforme mostrado na Figura 2.

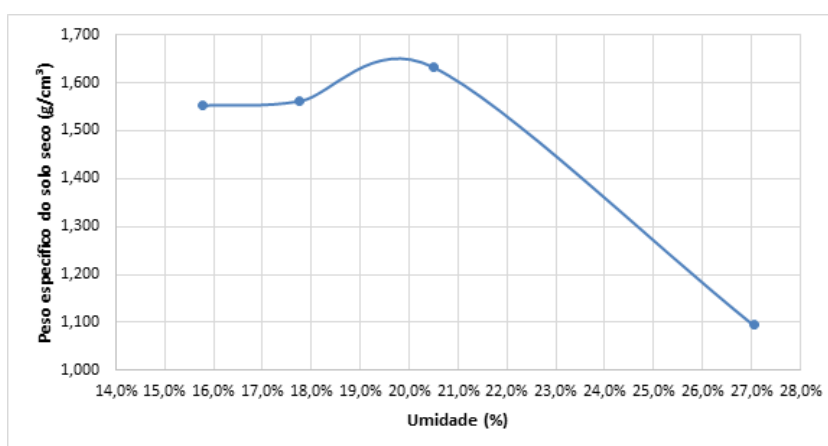


Figura 2 - Curva de compactação do RCD puro

Como pode-se observar, há um pico nos valores da massa específica seca máxima do solo, que corresponde ao teor de umidade ótima. Dessa forma, obteve-se para a umidade ótima o valor 20,4%, correspondente à massa específica seca máxima igual a 1,636g/cm³.

Os valores da resistência à compressão simples estão apresentados na Tabela 4, de acordo com o tempo de cura dos corpos de prova, ou seja, após 7 e 14 dias.

Tabela 4 - Determinação da tensão de ruptura dos corpos de prova

| Corpo de Prova | Tempo de Cura (dias) | Constante do anel (kgf/div) | Nº de divisões | Força de Ruptura (kgf) | Área do cilindro (cm ²) | Tensão de Ruptura (MPa) | Tensão média de ruptura (KPa) |
|----------------|----------------------|-----------------------------|----------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1 | 7 | 0,25 | 115 | 28,77 | 80,08 | 0,036 | 34,5 |
| 2 | | | 104 | 26,25 | | 0,033 | |
| 3 | 14 | 0,25 | 190 | 47,82 | 80,08 | 0,060 | 62 |
| 4 | | | 205 | 51,33 | | 0,064 | |



Em função dos resultados para os ensaios com 7 e 14 dias de cura, de acordo com a ABNT, a consistência do RCD para a resistência à compressão simples pode ser classificada como consistência média.

A Tabela 5 mostra os valores do coeficiente de permeabilidade obtidos para o RCD moído, sem cura dos corpos de prova, na temperatura de referência de 20 °C.

Tabela 5 - Determinação do coeficiente de permeabilidade vertical

| Área da amostra | | | | | | 41,858 |
|---|-----------------------------------|----------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Distância entre os manômetros 1 e 2 (cm) | | | | | | 10,2 |
| Tempo (s) | Leitura nos manômetros | | Volume coletado (ml) | Kt (cm/s) 27°C | Kmédio (cm/s) 27°C | Kcorrigido (cm/s) 20°C |
| | 1 | 2 | | | | |
| 60 | 21,2 | 25,6 | 200 | 1,81E-01 | | |
| 60 | 23,4 | 29,2 | 250 | 1,88E-01 | 1,74E-01 | 1,49E-01 |
| 60 | 31,1 | 39,3 | 300 | 1,53E-01 | | |

Observa-se que o valor do coeficiente de permeabilidade obtido, $1,49 \cdot 10^{-1}$ cm/s, é um valor típico de solos grossos, tal como pedregulhos, como assim pode ser tratado o RCD, mesmo após moagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após os ensaios geotécnicos realizados com o RCD, comprovou-se a não indicação do RCD puro, na construção de barragens de seção homogênea. A seguir, serão apresentadas algumas conclusões para comprovar tal fato.

A caracterização do material em questão remeteu-se a um solo grosso, arenoso, com grande quantidade de pedregulho e areia, não indo de encontro às especificações de solos ideais para construção de barragens homogêneas de terra, que seria um solo argiloso, com coesão, de comportamento plástico, com material de grande capacidade impermeável.

O RCD puro estudado mostrou um coeficiente de permeabilidade muito elevado, típico de solo pedregulhoso, o que implica no não enquadramento com as especificações de permeabilidade. De fato, quanto mais graúdo o solo, maior será o índice de vazios do mesmo, ocasionando numa maior facilidade de percolação da água através do maciço da barragem, o que acarretaria instabilidade e erosão de todo maciço.



Pode-se dizer que o material apresenta características diferentes, se coletados em locais distintos, onde uma série de fatores contribuem para tal diferença, dentre eles: seu tipo, a condição social de onde se coleta o material, a técnica construtiva empregada, a qualidade da mão-de-obra existente, a fase em que a obra se encontra, a composição do RCD, entre outros.

Conclui-se esta pesquisa afirmando que, segundo a metodologia utilizada, ensaios realizados, condições do material coletado para estudos e critérios técnicos de projeto de barragens, não é recomendado o uso do RCD puro, em construções de barragens de terra homogêneas.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT (2016) ABNT NBR 6458: SOLO – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT (2016) ABNT NBR 7180: SOLO – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT (2017) ABNT NBR 6459: SOLO – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT (2017). NBR 7181: SOLO – Análise granulométrica. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (1992) ABNT NBR 12770: SOLO – Determinação da resistência à compressão não confinada - Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (1995) ABNT NBR 13292: SOLO – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Metodo de ensaio. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (2020) ABNT NBR 7182: SOLO – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro/RJ.



Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2002) Resolução CONAMA n.º 307 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil de 17 de julho de 2002. Brasília.

John, V. M. (2001) Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. (ORG). Reciclagem de resíduo para a produção de materiais de construção. Projeto resíduo bom. Salvador: EDUFBA, Caixa Econômica Federal.