

ESTUDO SOBRE O DESENVOLVIMENTO MECÂNICO DO SOLO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

STUDY ON MECHANICAL SOIL DEVELOPMENT WITH ADDITION OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE

¹ANTUNES, Ana Paula Redondo; ²BERMUDES, Bianca Caroline Leite;
³CARVALHO RODRIGUES, André Luís

^{1,2e3}Departamento de Engenharia Civil – Centro Universitário das
Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

RESUMO

A crescente geração de resíduos de construção e demolição (RCD) representa um dos principais desafios ambientais da construção civil. Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis tem impulsionado o aproveitamento desses materiais em técnicas de engenharia, como a estabilização e melhoria de solos. Este estudo analisou o comportamento mecânico de um solo arenoso com a incorporação de RCD, avaliando a influência dessa adição em suas propriedades de compactação. Para isso, foram realizados ensaios de granulometria, teor de umidade e Proctor, utilizando amostras de solo puro e misturas com 10% e 20% de RCD. Os resultados mostraram que a adição de 10% de RCD apresentou desempenho superior ao solo natural, alcançando maior densidade seca máxima e menor umidade ótima. Já a mistura com 20% de RCD, apesar de valores ligeiramente inferiores, demonstrou estabilidade e resultados satisfatórios. Conclui-se que a utilização de RCD é tecnicamente viável, promovendo ganhos no comportamento do solo, além de contribuir para a sustentabilidade da construção civil por meio da reutilização de resíduos.

Palavras-chave: resíduos de construção e demolição (RCD); compactação; solo arenoso; sustentabilidade.

ABSTRACT

The increasing generation of construction and demolition waste (CDW) represents one of the main environmental challenges in civil construction. In this context, the search for sustainable alternatives has driven the reuse of these materials in engineering techniques, such as soil stabilization and improvement. This study analyzed the mechanical behavior of a sandy soil with the incorporation of CDW, evaluating the influence of this addition on its compaction properties. For this purpose, grain size distribution, moisture content, and Proctor tests were carried out using pure soil samples and mixtures with 10% and 20% CDW. The results showed that the addition of 10% CDW presented superior performance compared to natural soil, reaching higher maximum dry density and lower optimum moisture content. The 20% CDW mixture, although slightly lower, demonstrated stability and satisfactory results. It is concluded that the use of CDW is technically feasible, improving soil behavior while contributing to sustainability in civil construction through waste reuse.

Keywords: construction and demolition waste (CDW); compaction; sandy soil; sustainability.

INTRODUÇÃO

De acordo com os levantamentos realizados pela Pesquisa Setorial da ABRECON (2020), os municípios brasileiros apresentaram uma mediana de geração de resíduos da construção civil próxima de 500 kg/hab.ano. Esse valor, contudo, pode ser considerado subestimado, uma vez que a estimativa não contempla os solos provenientes de escavações. Além disso, estudos internacionais

indicam que, em países desenvolvidos, a inclusão desse tipo de resíduo pode duplicar o indicador de geração per capita.

Diante desse cenário, a busca por soluções que reduzam custos e preservem os recursos naturais tem impulsionado o aproveitamento de resíduos, minimizando o impacto ambiental gerado por sua disposição inadequada (Dalla Rosa, 2009). O reforço de solo é uma técnica que está ganhando espaço nesse cenário, por apresentar uma estabilização nos solos com baixa capacidade de suporte, proporcionando a esses, menores deformações e melhoramento das suas propriedades mecânicas (Silva *et al.*, 2019). Quando misturados em proporções, composições e granulometrias adequadas, esses materiais podem contribuir para o aumento da resistência, estabilidade e coesão do solo, tornando-o mais adequado para a construção civil.

Nesse contexto, ganha destaque o principal resíduo da construção civil: os Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Considerados todo e qualquer material advindo de construções, reformas ou demolições, são materiais que não possuem mais aplicação. Esses resíduos apresentam grande potencial de aproveitamento, sobretudo por serem constituídos majoritariamente por materiais de origem mineral – concretos, argamassas, materiais cerâmicos e solos – que representam cerca de 90% da massa total (Da Silva Segantini *et al.*, 2011).

De acordo com Silva *et al.* (2019), a escassez de áreas com solos que apresentem propriedades adequadas para uso na engenharia tem se tornado uma preocupação crescente. Isso se deve tanto à limitação de matérias-primas não renováveis quanto ao fato de que os materiais disponíveis localmente muitas vezes não possuem características satisfatórias. Nesse cenário, o melhoramento de solos com agregados tem se consolidado como uma alternativa viável, enquadrando-se na tecnologia dos materiais compósitos. Esses compósitos resultam da combinação de dois ou mais elementos distintos, originando um material cujas propriedades otimizadas superam as encontradas em seus constituintes originais.

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo analisar como a incorporação de RCD influencia as propriedades mecânicas do solo em estudo. A partir dessa investigação, busca-se fornecer subsídios para futuras construções na região em análise, contribuindo para a redução de custos, o aumento da estabilidade do solo e a mitigação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado desses resíduos.

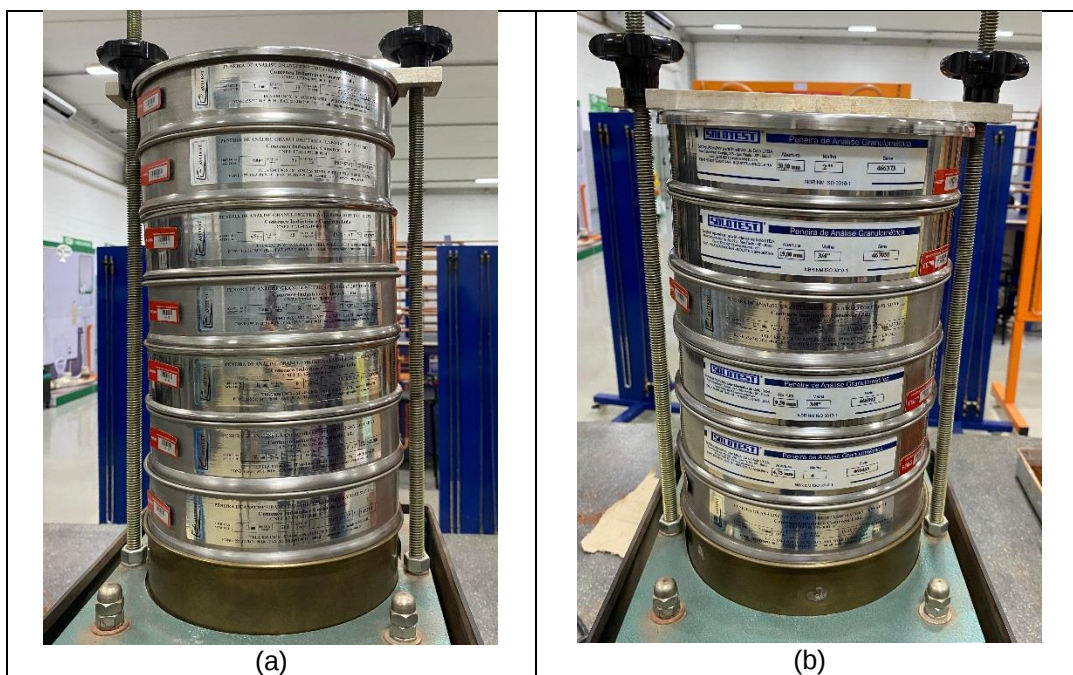
MATERIAL E MÉTODOS

Para o estudo das propriedades mecânicas do solo foi realizada a extração da matéria prima no Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos, onde posteriormente foram realizados os ensaios de granulometria, teor de umidade e Proctor. Esses ensaios forneceram os parâmetros necessários para a comparação entre o solo puro e solos com adições de RCD, de 10% e 20%.

Obteve-se amostras de RCD através de uma empresa na cidade de Ourinhos, a KAZO, especializada na reciclagem de resíduos da construção civil. O processo para o preparo do resíduo inicia-se com o entulho coletado e encaminhado para a verificação e triagem, os materiais adequados são conduzidos ao alimentador vibratório e, posteriormente, ao britador de impacto, responsável pela redução granulométrica. O processo resulta em agregados reciclados, como areia, pedrisco, brita e bica corrida, com qualidade comparável aos materiais convencionais.

As amostras de solo e RCD foram submetidas ao ensaio granulométrico que consiste na determinação do tamanho das partículas por meio de peneiramento em peneiras padronizadas, como mostra o conjunto de peneiras na Figura 1.

Figura 1 - (a) Disposição das peneiras –solo puro, (b) Disposição das peneiras - RCD.



Fonte: Os Autores.

A construção da curva granulométrica é realizada a partir dos resultados obtidos nos ensaios de peneiramento, expressos em porcentagens de material retido e passante em cada peneira utilizada na classificação do solo.

Após a primeira etapa dos ensaios, foi realizado a mistura em proporção adequada de cada amostra – pura, 10% e 20%. Para a realização do ensaio de compactação (Proctor), o solo foi preparado e destorroado. Em seguida, as amostras foram moldadas em três camadas sucessivas dentro de um cilindro metálico padronizado, sendo cada camada adensada por 26 golpes de um soquete padronizado, conforme a norma ABNT NBR 7182. Após a compactação, o excesso de solo foi removido e o corpo de prova foi pesado para determinação da massa específica aparente seca. O procedimento foi repetido com diferentes teores de umidade – 100ml, 150ml, 200ml, 250ml e 400ml, previamente ajustados por adição de água ao solo.

Figura 2 – Solo controle compactado.



Fonte: Os Autores.

Em sequência, o teor de umidade do solo foi determinado através do método de estufa. A amostra úmida foi pesada em recipiente previamente seco e aferido a sua massa, sendo posteriormente submetido à secagem em estufa até atingir massa constante. Após o resfriamento, foi realizado a pesagem final, e o teor de umidade calculado pela relação entre a massa da água perdida e a massa do solo seco, expresso em percentual.

Figura 3 – Solo controle compactado.

Fonte: Os Autores.

Por fim, os valores obtidos de massa específica seca foram relacionados aos teores de umidade correspondentes, permitindo a construção da curva de compactação e a determinação da umidade ótima e da massa específica aparente seca máxima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

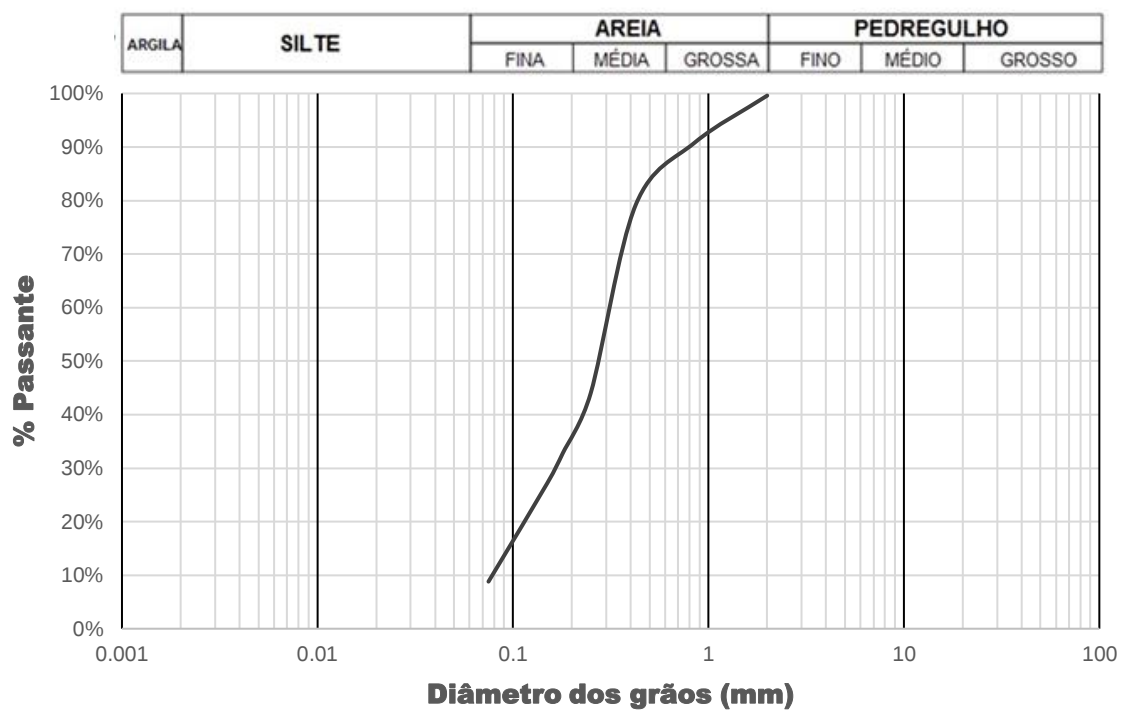
Com base na análise granulométrica, verificou-se que o solo coletado apresenta características de solo arenoso, sendo classificado como areia média, conforme os resultados dispostos na Tabela 1 e na curva granulométrica apresentada na Figura 4. De maneira análoga, constatou-se que o RCD enquadra-se na categoria de pedregulho médio, de acordo com os dados apresentados na Tabela 2 e na Figura 5.

Tabela 1 – Composição Granulométrica do Solo

Composição Granulométrica (%)					
Argila	Silte	Areia			Pedregulho
		Fina	Média	Grossa	
-	-	36	48	16	-

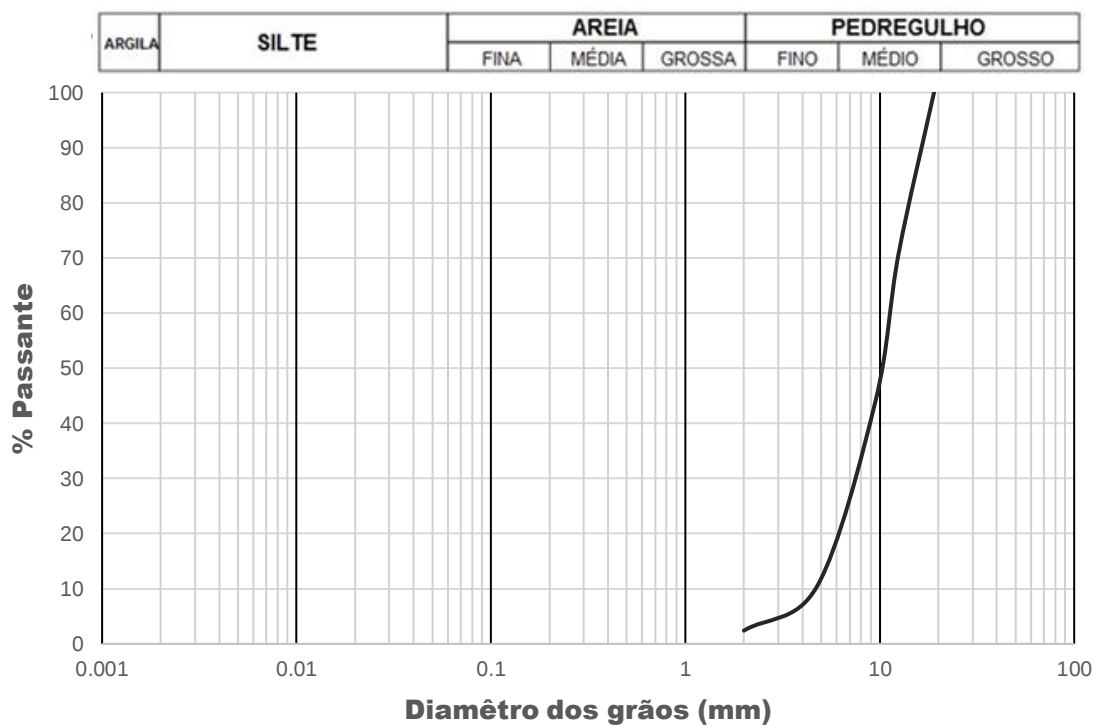
Fonte: Os Autores.

Figura 4 – Curva granulométrica do solo



Fonte: Os Autores.

Figura 5 – Curva granulométrica do RCD



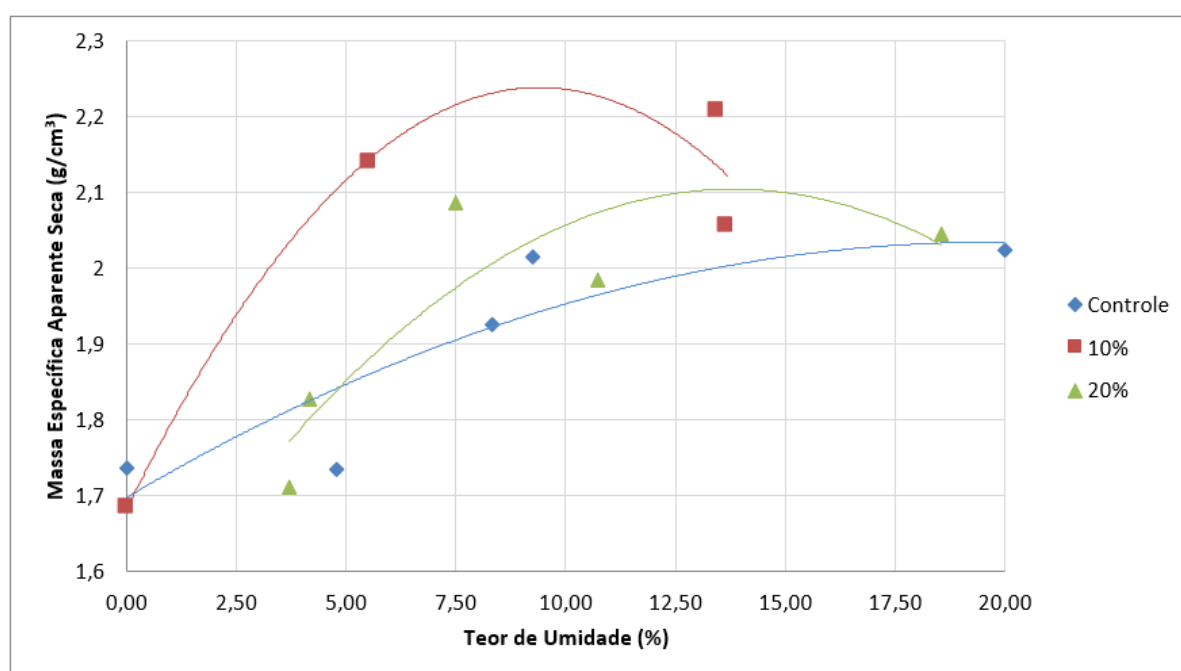
Fonte: Os Autores.

Tabela 2 – Composição Granulométrica do RCD

Composição Granulométrica (%)					
Argila	Silte	Areia	Pedregulho		
			Fino	Médio	Grosso
-	-	-	19	81	-

Fonte: Os Autores.

Após analisado a granulometria do solo, foi feita a mistura e submetido aos ensaios de compactação, gerando os dados a seguir.

Figura 6 – Curva de Compactação

Fonte: Os Autores.

Quadro 1 – Dados correspondentes ao teor de umidade e ensaio de Proctor

Solo Controle		Solo + 10%		Solo + 20%	
Umidade (%)	γ_d	Umidade (%)	γ_d	Umidade (%)	γ_d
0,00	1,7373	0,00	1,6851	3,70	1,7101
4,76	1,7353	5,56	2,1405	4,17	1,8276
8,33	1,9259	13,43	2,2067	7,50	2,0864
9,26	2,0145	13,69	2,0563	10,74	1,9856
20,00	2,0242			18,56	2,0442

Fonte: Os Autores.

A análise da Figura 6 e do Quadro 1 evidencia uma variação nos valores do teor de umidade, a qual pode estar associada à precisão da balança utilizada, que opera com duas casas decimais. Em razão dessa instabilidade, o primeiro ensaio

do solo com adição de 10% de RCD foi desconsiderado, por não representar valores condizentes com a realidade. Ainda assim, observa-se que a incorporação de RCD promoveu uma maior compactação do solo, resultando na melhoria esperada.

Nos estudos que envolvem ensaios laboratoriais, é comum a ocorrência de pequenas interferências durante o processo experimental. A partir dos resultados obtidos, torna-se possível identificar eventuais ajustes que poderiam ser aplicados para a otimização do procedimento. No caso do resíduo, a reutilização do solo em mistura pode ter influenciado a granulometria, considerando que o material já havia passado por processo de compactação.

De forma geral, com a adição de 10% de RCD, verificou-se um desempenho superior em relação ao solo natural, alcançando densidade seca máxima de 2,206 g/cm³ em torno de 13% de umidade. Esse comportamento está associado à melhoria da distribuição granulométrica da mistura, o que favoreceu uma compactação mais eficiente e proporcionou maior densificação do solo com menor demanda de água. Tal comportamento é relevante, pois indica que a mistura otimiza a umidade ótima de compactação, reduzindo custos e tempo de execução em campo.

Para o solo com 20% de RCD, a densidade seca máxima registrada foi de 2,086 g/cm³ em 7,5% de umidade. Embora ligeiramente inferior ao valor obtido para 10% de adição, o desempenho ainda se mostrou positivo, uma vez que apresentou resultado superior ao solo controle em algumas condições de umidade e manteve valores próximos a 2,04 g/cm³ mesmo em teores elevados de umidade. Esse resultado demonstra estabilidade do material, reforçando a viabilidade técnica do uso de RCD em diferentes proporções.

CONCLUSÕES

A incorporação de resíduos de construção e demolição (RCD) ao solo mostrou-se uma alternativa tecnicamente viável para o melhoramento de suas propriedades mecânicas. Os ensaios evidenciaram que a adição de 10% de RCD proporcionou desempenho superior em relação ao solo natural, alcançando maior densidade seca máxima e otimizando a umidade ótima de compactação, o que contribui para maior eficiência na execução em campo. Já a mistura com 20% de RCD, embora tenha apresentado densidade seca ligeiramente inferior, manteve resultados satisfatórios, indicando estabilidade e consistência no comportamento do material.

Dessa forma, verifica-se que a utilização de RCD em proporções adequadas pode não apenas melhorar a compactação do solo, mas também contribuir para a redução do impacto ambiental, ao destinar de forma sustentável materiais que seriam descartados. Além disso, o uso desse resíduo promove economia de recursos naturais e redução de custos em obras de infraestrutura.

Cabe destacar que, em caso de reprodução deste estudo, recomenda-se que os ensaios sejam refeitos com a metodologia apropriada apresentada por autores subsequentes, a fim de minimizar eventuais interferências experimentais e garantir maior precisão dos resultados obtidos.

Portanto, os resultados obtidos reforçam o potencial do RCD como insumo sustentável no setor da construção civil, recomendando sua aplicação em processos de estabilização de solos, especialmente em situações onde se busca aliar desempenho técnico e responsabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.

ABNT. **NBR 16097: Solo - Determinação do teor de umidade - Método da estufa**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

ABNT. **NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.

DALLA ROSA, Amanda. **Estudo dos parâmetros-chave no controle da resistência de misturas solo-cinza-cal**. 2009.

DA SILVA SEGANTINI, Antonio Anderson; WADA, Patrycia Hanna. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 2, p. 179-183, 2011.

DRANKA, Ricardo Bazzani. **Melhoramento de solo com uso de telha cerâmica moída oriunda de resíduos de construção e demolição (RCD)**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PESQUISA SETORIAL ABRECON 2020: **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**/ organizadores S. C. Ângulo; L. S. Oliveira, L. Machado. São Paulo: Epusp, 2022.

SILVA, Aline Cátia da; FUCALE, Stela; FERREIRA, Silvio Romero de Melo. Efeito da adição de resíduos da construção e demolição (RCD) nas propriedades hidromecânicas de um solo areno-argiloso. **Matéria, Rio de Janeiro**, v. 24, p. e12355, 2019.