

COMPACTAÇÃO DE SOLOS: Comparativo de materiais reutilizáveis na compactação de solos

Bruno de Souza Nascimento¹; David Domingos da Silva¹; Luiz Fernando Ventura Narvaes¹; Malani Helena do Amaral^{2,4}; Tatiana Santos da Silva Magri^{3,4*}

¹ Graduando em Engenharia Civil, Faculdades Integradas de Três Lagoas - FITL/AEMS; ² Engenheira Civil – FITL/AEMS, Esp. em Gestão de Produção e Logística Empresarial – UCAM, Esp. em Engenharia de Suprimentos – Faculdade Única; ³ Mestre em Engenharia Civil – UNESP; ⁴ Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

* autor correspondente: tatianaengambiental@gmail.com

RESUMO

A grande quantidade de resíduos sólidos gerados nos meios industriais, urbanos e rurais é considerada inservível, gerando grandes preocupações quanto ao seu descarte, muitas vezes incorreto. O reaproveitamento desses materiais se mostra vantajoso e de suma importância para o meio ambiental, social e econômico. O presente trabalho busca evidenciar e comparar o uso de alguns destes materiais na compactação de solos, tais como as pérolas do EPS (sigla internacional do poliestireno expandido – mais conhecido como isopor), pneus inservíveis e os resíduos da construção civil e demolição – RCC e RCD. A empregabilidade desses materiais na construção civil se mostra diversa, sua utilização auxilia em aumentos de resistência e impermeabilidade, mostrando bons resultados a longo prazo. Trazendo assim benefícios palpáveis, reduzindo custos para a construção civil e diminuindo o consumo de matérias primas.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos sólidos; EPS; isopor; pneus inservíveis; RCC – classe A; construção civil.

1 INTRODUÇÃO

O solo é descrito como um corpo de quatro dimensões (tempo, profundidade, largura e comprimento) e o resultado de milhares de anos de desagregação de rochas e combinação de diversos fatores climáticos e químicos. É um material inconsolidado que cobre a superfície terrestre, em constante desenvolvimento, nunca estático (SCHROEDER, 1984).

Compactação de solo consiste no procedimento de melhorar suas propriedades por processos mecânicos ou manuais que reduzem os índices de vazios aplicando pressão, vibração ou impacto, deixando-o mais homogêneo e melhora das características de resistência, variações de volume, deformabilidade e permeabilidade (HOLTZ; KOVACS, 1981). A compactação de solos é usada em várias

obras de engenharia, como aterros e estradas, entre outras. Em sua grande maioria o solo é o principal e em vezes o único material utilizado, que nem sempre apresenta propriedades geotécnicas recomendadas para sua execução, fazendo necessário a compactação do mesmo com diferentes tipos de agregados inertes, como forma de melhoramento de suas propriedades físicas, aumentando assim sua performance.

O objetivo deste trabalho é descrever a eficiência do uso das pérolas recicladas do poliestireno expandido (EPS), pneus inservíveis triturados e resíduos de construção civil e demolição (classe A), como agregados reciclados na compactação de solos. A metodologia baseou-se em pesquisa bibliográfica para avaliar dados secundários, oriundos de livros, artigos, pesquisas e materiais da internet.

2 RESÍDUOS SÓLIDOS

2.1 Classificação de resíduos sólidos segundo a ABNT NBR 10004/2004

Os resíduos são definidos como resíduos nos estados sólidos e semis-

sólidos que resultam de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição (NBR 10004/04). São classificados conforme mostrado no Quadro 1.

QUADRO 1. Classificação de resíduos sólidos (ABNT – 10004/2004).

RESÍDUOS		
Classe I	PERIGOSOS	São resíduos que apresentam periculosidade ou ao menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
Classe II	NÃO PERIGOSOS	São os que não se enquadram na classe I, se dividem em: classe II A – Não Inertes e classe II B – Inertes.
Classe II A	NÃO INERTES	Não se enquadram na classe I, II B e podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Classe II B	INERTES	São quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: Extraído da NBR 10004, 2004.

2.2 Classificação de resíduos sólidos segundo a resolução nº 307, de 05 de julho de 2002 e demais alterações

A referida resolução estabelece

diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos e classifica os resíduos conforme mostrado no Quadro 2.

QUADRO 2 - Classificação de Resíduos Sólidos (Resolução CONAMA – 2002)

CLASSE	DESCRIÇÃO	MATERIAIS
A	São os resíduos reutilizáveis como agregados de construção civil, demolição, reformas e reparos, oriundos de obras de infraestrutura, peças pré-moldadas in loco.	Solos, componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, etc.), argamassa e concreto – blocos, tubos, meio-fios, etc.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015)	Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação (Redação dada pela Resolução nº 469/2015)	
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção ou demolição.	Óleos, tintas, solventes, telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto, e oriundos de reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais etc.

Fonte: Extraído da resolução CONAMA 307 (2002) e alterações.

3 RECICLAGEM E FABRICAÇÃO

É de conhecimento geral a necessidade de integrar a construção civil materiais que possam ser reutilizados nas mais diversas esferas desta. A maior

difficuldade é propor e aplicar leis que visam a obrigatoriedade desta reutilização ou até mesmo o acultramento global de que é necessário a utilização de produtos que venham da reciclagem como meios mais econômicos e sustentáveis, pois

são descartados em grande quantidade na natureza e podem servir como agregado não somente na compactação dos Solos como em diversas áreas de manufatura da construção civil.

3.1 O uso de pneus na compactação dos solos

Moo-Young et al. (2003) realizaram ensaios em condição drenada e não drenada a fim de determinar a influência do pneu nas propriedades químicas da água, ensaio este que interrompe o fluxo de água na entrada e na saída do sistema. Utilizando coluna contendo areia e pedaços de pneu, estes, variando de 50-100 mm e 100-200 mm.

Três amostras do efluente despejado pelas colunas foram coletadas duas vezes por dia durante sete dias para que houvesse análise das propriedades químicas da água. Após os ensaios acima citados deu-se continuidade com os testes em forma de drenagem inibida, apenas um certo volume de efluente era coletado das colunas. Os resultados dos ensaios na condição de livre drenagem mostraram que a qualidade de água tem tendência a melhorar de acordo com o tempo. À medida que o tamanho dos pedaços de pneu aumenta, os resultados indicavam uma redução no carbono orgânico total (de 22.7 a 3.1 ppm) e na turbidez (de 254 para 99 NTU).

Humphrey et al. (1992) avaliaram que durante um período de 5 anos, a inserção de pedaços de pneus como agregados para compactação de solos, podem ter efeitos de filtro em obras civis construídas acima do lençol freático, como conclusão ao final da avaliação indicaram que os efeitos provocados pelo uso do pneu na qualidade da água podem ser desprezíveis.

Zornberg et al. (2004) realizaram a construção de um aterro usando uma areia siltosa com pedaços de pneu. O objetivo foi avaliarem a resposta mecânica de um aterro cuja construção fora feita com misturas de solo e pedaços de pneu

em camadas intercaladas. Após a análise dos dados fornecidos pelo aterro experimental, o modelo de aterro rodoviário foi construído e submetido ao tráfego de caminhões. Os resultados apontaram que o desempenho das misturas de solo – pedaços de pneu é satisfatório em longo prazo.

Ramirez (2012) em estudos avaliou o comportamento de solos argilosos de origem coluvionar e areia fina, limpa e mal graduada, reforçados com borracha moída de pneu. Ensaio de compactação proctor normal e ensaios triaxiais consolidados isotropicamente drenados (CID) objetivando estabelecer padrões de comportamento. Os resultados mostraram que o teor de borracha influenciou o comportamento mecânico final dos compósitos.

Nos compósitos de solo argiloso a inserção de borracha foi mais eficaz para tensões de confinamento até 200 kPa, sendo que para tensões maiores a presença de borracha foi prejudicial. Para os compósitos de solo arenoso a inserção de borracha foi mais efetiva para tensões de confinamento entre 100-200 kPa.

Durán Jaramillo (2016) utilizou duas diferentes granulometrias (chips e fibras) e com isto, foi feita uma pesquisa utilizando borracha de pneu triturada como material alternativo para o reforço de dois tipos de solos (areia e solo argiloso). Os resultados mostraram que tanto os chips como as fibras de pneu de borracha contribuem no aumento dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de ambos os solos e aumentam a energia de deformação absorvida durante o cisalhamento. Portanto o uso da borracha de pneu como reforço de solos contribuiria com o menor consumo de material natural, e consequente redução dos custos de transporte e volume de material mobilizado.

3.2 O uso de EPS na compactação dos solos

Abdelrahman et al. (2009) estudaram como a mistura de solo/EPS

influenciaria de forma a reduzir as pressões de inchaço na base de estruturas. Os resultados mostraram que o efeito de diferentes composições e diferentes proporções entre EPS e areia como solo de reposição no solo expansivo, apresentava um inchaço igual a 96,7%. Os resultados também mostraram que a areia misturada com EPS reduziram significativamente o volume dos solos expansivos.

No trabalho de Calheiros (2013), o uso de pérolas de EPS adicionado a solos reforçados foi o objeto de estudo experimental onde foi possível constatar que o tipo de solo, o teor de pérolas de EPS e o nível de tensão confinante influenciam positivamente o comportamento mecânico final dos compósitos com relação aos parâmetros de resistência, porém não há uma tendência de comportamento bem definida ao analisar cada fator independentemente. Sendo assim, o uso de pérolas de EPS em obras geotécnicas de carregamento estático contribuiria com o menor consumo de material natural e a consequente redução dos custos de transporte e volume de material mobilizado.

Soares et al (2019) utilizaram um solo residual maduro de gnaiss, predominantemente fino, classificado como MH, ou seja, siltoso de alta compressibilidade. O EPS em uso possui massa específica de 14,01 kg/m³, com coeficiente de variação de 14,5%. Se utilizou amostras Solo-EPS nas proporções de 80-20% e 60-40%, na condição seca e solta. Após os ensaios de compactação e cisalhamento direto, os resultados apontam um potencial da viabilidade técnica da utilização do material proposto.

3.3 O uso dos RCC e RCD na compactação dos solos

Por conta de seu volume, os RCC e RCD demandam de grande área para armazenamento, e a sua destinação incorreta ocasiona amplos impactos, em diversas áreas, como visual, ambiental etc., colaborando para a proliferação de

vetores epidemiológicos (aedes aegypti, insetos, roedores, etc.).

Pessanha et al. (2019) utilizaram a adição dos resíduos, com percentual de 10, 25 e 25% de resíduo em um solo classificado como CH pelo método sistema unificado de classificação de solos (SUCS) e A-7-5 pelo Highway Research Board (HRB). A granulometria dos RCC variou de 4,8-19,1 mm e após ensaios de compactação notou-se uma redução de 10% do volume do agregado que não influenciou outras propriedades do material.

Como já esperado, a adição dos resíduos ao solo ocasionou uma redução dos valores de umidade ótima e um aumento da massa específica aparente seca máxima, devido ao aumento da porosidade e absorção d'água, indicando uma possível disposição sustentável dos RCC e RCD em aterros compactados.

Guedes e Júnior (2016) usaram em sua pesquisa um solo caracterizado como uma areia argilosa mediamente plástica e RCC beneficiados, denominado como pó de brita e caracterizado como areia siltosa. A pesquisa buscou analisar misturas solo-agregado reciclado nas concentrações de 15, 30 e 45% de RCC em relação ao peso seco do solo.

Os resultados dos ensaios físicos e mecânicos indicaram que o acréscimo de RCC acarreta a redução da plasticidade e promove a expansão e aumento no valor Índice de Suporte Califórnia (ISC), como também as concentrações acima de 30% do RCC beneficiado elevam a resistência à compressão simples e aumento da deformação na ruptura evidenciando boas condições para a adição de RCC na construção civil.

A análise da influência de agregados miúdos reciclados de RCC nas propriedades hidromecânicas de um solo mostra que são classificados pela SUSC como areno-argiloso e do tipo A-7-6 pelo TBR. Acrescentou teores de solo-agregado beneficiados de 10, 20 e 30%. A inserção do RCC provocou mudanças

referente à caracterização física dos solos e compactação, houve uma redução em suas frações finais e plasticidade, diminuição de sua umidade ótima, baixa na variação de peso específico aparente seco e se manteve os parâmetros de resistência e aumento no coeficiente hidráulico em mais de 13 vezes (SILVA et al., 2018).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compactação de solos visa o aumento de sua performance através de processos mecânicos ou manuais de estabilização, inserindo diferentes tipos de agregados inertes, e, com as pesquisas expostas ao longo deste trabalho, denota-se que o objetivo foi alcançado ao evidenciar as vantagens econômicas e ambientais da reutilização dos resíduos sólidos da construção civil e demolição para a realização desse procedimento.

Ficam explícitas, a cada resultado, a importância e vantagens do reaproveitamento desses resíduos para compactação de solo ao leitor que almeja redução de custos e uma construção mais responsável com o meio ambiente, criando-se uma união entre responsabilidade cívica e interesses próprios, beneficiando a ambos sem um excludente; além de abrir possibilidades àquele que deseja se aprofundar no assunto para reutilização de outros materiais.

REFERÊNCIAS

ABDELRAHMAN, G. E. Lightweight Mixture Using Clay, EPS-Beads and Cement. Seventeen International Conference in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 17 ICSMGE. 2009.

AHMED, I. Laboratory Study on Properties of Rubber Soils. Ph.D. thesis, school of civil engineering, Purdue University, W. Lafayette, IN, 1992.

NORMAS TÉCNICAS (2004) ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Disponível em: <<https://analiticaqm.cresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2020.

BASTOS, C. Compactação dos solos, DMC/FURG. Mecânica dos Solos. Prof. Cezar Bastos p. 001. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/38357648-Dmc-furg-mecanica-dos-solos-prof-cezar-bastos-nocoos-de-geologia-aplicada-a-engenharia.html>>. Acesso em: 04 jun. 2020

BRASIL, Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. (Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil). Um modelo orientativo para a gestão municipal dos RCCs. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 04 jun. 2020.

CALHEIROS, A. V. Análise do comportamento de Solos Reforçados com Poliestireno Expandido. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2013

CAPUTO, H. P. Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. Rio de Janeiro/RJ: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988. 172p.

CASAGRANDE, M. D. T.; COOP, M. R. CONSOLI, N. C. Behavior of a Fiber Reinforced Bentonite at Large Shear Displacements. Journal of Geotechnical and Environmental Engineering, v.132, p.1505-1508, 2006.

DURÁN, J. N. A. Comportamento mecânico de solos reforçados com borracha de pneus. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

- GUEDES, E. de S. R.; JUNIOR, W. R. A. Estudo do Comportamento de Misturas de Solo e Agregado de Resíduos Sólidos da Construção Civil em Sergipe. Disponível em: <<https://plataforma.swge.com.br/PROCEE-DINGS/PDF/CB-01-0017.pdf>>. Acesso: 04 jun. 2020.
- HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. An Introduction to Geotechnical Engineering. New Jersey: Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 34p., 1981.
- <https://sites.google.com/site/geotecniaefundacao/terraplenagem/compactacao-de-solos> Acesso: 24 mar. 2020.
- <https://www.escolaengenharia.com.br/compactacao-de-solos/> Acesso: 24 mar. 2020.
- https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/37/volume37_3_files/37-3-artigo-16.pdf Acesso: 24 mar. 2020.
- MOO-YOUNG, H. et al. Physical and chemical properties of recycled tire shreds for use in construction. *Journal of environmental engineering*, n.10, p.921-929, 2003.
- PESSANHA, V. H. M.; MARTINS, C. de P.; RODRIGUES, T. T. Caracterização e Compactação de Misturas de Solo Argiloso com Resíduo da Construção Civil. Disponível em: <<https://qe.iweventos.com.br/upload/trabalhos/t1arquivo/Nyh7tw553aFnlQKCHH9mlkJua3a3.pdf>>. Acesso em: 04 de jun. 2020.
- PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/3ª Edição. São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2006. 65p.
- RAMIREZ, G. Estudo experimental de solos reforçados com borracha moída de pneus inservíveis. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2012.
- SCHROEDER, D.; Solos – Fatos e Conceitos. Traduzido do alemão para o inglês e adaptado por P. A. Gething – 1984; traduzido do inglês para o português por A. S. Lopes – São Paulo: ANDA, 2017.
- SEIXAS, F. Compactação do Solo Devido a Mecanização Florestal: Causa, Efeitos e Práticas de Controles. IPEF Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1988.
- 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 J.), Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, e12355, 2019. Available from <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762019000200315&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 04 jun. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0670>.
- SOARES, L. F. C. et al. Resistência ao Cisalhamento de Mistura Solo-EPS. Disponível em: <http://regeossinteticos2019.com.br/wp-content/uploads/2019/04/GS135_Soares-5cc8919b935e3.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- ZORNBERG, J. G.; CABRAL, A. R.; VIRATJANDR, C. Behaviour of tire share – sand mixtures. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 41, n. 2, p. 227-241, 2004.