

Estudo do Comportamento de Misturas de Solo e Agregado de Resíduos Sólidos da Construção Civil em Sergipe

Emiliana de S. Rezende Guedes

Instituto Federal de Sergipe-IFS, Aracaju, Brasil, emilianarezende@hotmail.com

Wilson Ramos Aragão Júnior

Instituto Federal de Sergipe – IFS, Aracaju, Brasil, wilsonramosaragao@hotmail.com

RESUMO: Muitos são os problemas gerados pela indústria da construção civil, entre eles destaca-se a geração de resíduos de construção e demolição (RCD). A reutilização destes materiais é uma das alternativas para minimizar impactos. Entre os empregos do RCD, está o uso em camadas de pavimentos. Assim, este trabalho buscou analisar as características físicas e mecânicas de misturas de solo e agregado reciclado (AR). Para isto, foram preparadas misturas de solo e agregado reciclado nas concentrações de 15%, 30% e 45% de AR em relação ao peso seco do solo. O solo foi coletado de uma jazida aracajuana e caracterizado como uma areia argilosa medianamente plástica. O AR foi coletado de uma usina de reciclagem do município de Nossa Senhora do Socorro/SE e caracterizado como uma areia siltosa. Os resultados dos ensaios físicos indicaram que o acréscimo de AR ao solo acarreta na redução da plasticidade. Nos ensaios mecânicos observou-se o aumento de AR promove expansão e aumento no valor do ISC, como também aumento de AR, até a concentração de 30% acarreta em elevação na resistência à compressão simples e aumento da deformação na ruptura.

PALAVRAS-CHAVE: RCD, Reciclagem, Agregado Reciclado, Caracterização, Resistência, Compressão Simples.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das que influencia de forma intensa na economia do país, consequentemente é um setor que possui extrema relevância para a sociedade brasileira. Contudo, as atividades da construção civil geram impactos ambientais consideráveis, pois usam um grande volume de recursos naturais, transformam o meio ambiente e produzem toneladas de resíduos tanto na construção quanto na demolição.

De acordo com Gonzaga e Mendes (2008), os municípios brasileiros produzem uma grande quantidade de entulho na realização de construções civis, resultando em um desperdício irracional de material, desde a extração, passando pelo transporte e chegando à utilização na obra. Além disso, a falta de

separação dos materiais, que vão para descarte, gera a contaminação por tintas, solventes, entre outros.

Ainda para Gonzaga e Mendes (2008), o descarte clandestino é um problema para a administração pública, uma vez que os gastos com a limpeza e com a remoção desses entulhos são elevados, bem como os investimentos despendidos para a construção de espaços apropriados para receber os mesmos, o que acaba causando um círculo vicioso entre a disposição inadequada e a remoção desses materiais pelas companhias de limpeza pública.

No Brasil, ainda existe outra variável que influencia consideravelmente na qualidade do resíduo da construção e da demolição (RCD). Por se tratar de um país de dimensões continentais, as suas características são alteradas em função do local da geração, da

tecnologia aplicada na construção, das variantes referentes ao material aplicado durante a obra, da qualidade do projeto e da mão de obra empregada (Oliveira, 2008).

Conforme o boletim técnico do Sinduscon-SE, verificou-se que no município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, a produção diária de entulho gerado pela construção civil, tanto na construção quanto na demolição, é de 505 toneladas (Daltro Filho *et al.*, 2005).

Os estudos sobre o RCD, de acordo com Tessaro *et al.* (2012), começaram na década de 90 e ocasionaram vários trabalhos científicos. Com isso, em 2002, ocorreu a publicação da Resolução do CONAMA nº 307 (Brasil, 2002), que regularizou as principais questões relacionadas ao RCD, definindo-o como os resíduos oriundos de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção, do mesmo modo os que forem provenientes da preparação e da escavação de terrenos.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 307 (Brasil, 2002), os RCD's são classificados em quatro classes:

- Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como tijolos, blocos, telhas, argamassa, concreto, placas de revestimento, etc;
- Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, a exemplo de plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;
- Classe C: são resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
- Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, a exemplo de tintas, solventes, óleos, etc.

Ainda de acordo com a Resolução CONAMA nº 307 (Brasil, 2002), os resíduos da construção civil deverão ser dispostos conforme a seguinte classificação:

- Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a um aterro de resíduos classe A de preservação de material para usos futuros;
- Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de

armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

- Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;
- Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

É essencial que a análise do resíduo seja feita através de ensaios específicos, dado que é necessário respaldo técnico e científico das propriedades mecânicas e características físicas para a aplicação desses materiais.

Existem diversas aplicações de uso dos resíduos de construção e de demolição, dentre elas pode-se citar o uso para implementação de pavimentos flexíveis.

Conforme Motta (2005), o emprego do RCD em pavimentos vem sendo difundido em todo o mundo há bastante tempo, tendo como exemplo a junção, em 1999, de alguns países europeus para a formação de um grupo de pesquisa, intitulado *Alternative Materials in Road Construction (ALT-MAT)*, que visou analisar, em laboratório e em campo, materiais alternativos destinados às pavimentações. As investigações, que duraram dois anos, delinearam, entre outras coisas, a necessidade de se levar em consideração as características dos locais, tais como clima e experiências adquiridas, e que, em alguns casos, o desempenho em campo foi melhor que o de laboratório.

A presente pesquisa teve como objetivo analisar as características físicas e mecânicas de um agregado reciclado (AR), de um solo local e das misturas entre esses dois materiais em diferentes proporções, com base em ensaios de laboratório.

2 MATERIAIS

2.1 Solo

O solo utilizado na pesquisa (Figura 1) foi coletado de uma jazida, localizada no bairro Santa Maria, no município de Aracaju/SE.

Foram coletados em torno de 250 kg e, após acondicionados em sacos, prosseguiu-se com o transporte para o laboratório de Construção Civil do Instituto Federal de Sergipe. Uma vez coletado, todo o material foi levado para uma prévia secagem ao ar e, por fim, estocado em local apropriado.



Figura 1. Visão geral do solo.

2.2 Agregado Reciclado

O agregado reciclado (Figura 2) foi fornecido pela Usina de Reciclagem da Torre Empreendimentos, localizada na BR 101, no município de Nossa Senhora do Socorro/SE. A empresa recebe resíduos de diversas obras do estado de Sergipe, que são transportados em caminhões basculantes até a Usina de Reciclagem. Após estocagem em campo aberto, o material passa por um processo de triagem e, em seguida, é beneficiado em dimensões de agregados reciclados, como exemplo, os agregados graúdo e miúdo e o pó de brita.



Figura 2. Visão geral do agregado reciclado.

A presente pesquisa selecionou para análise o material denominado pela empresa como pó de brita. A coleta do agregado reciclado ocorreu em um dos silos da usina de reciclagem. No laboratório, o material foi levado para secar ao ar e, por fim, estocado.

3 MÉTODOS

Depois da aquisição dos materiais, iniciou-se a campanha de ensaios. A mesma dividiu-se em

duas etapas, sendo a primeira referente aos ensaios de caracterização física e a segunda aos ensaios mecânicos.

Além dos materiais (solo e AR), três tipos de misturas foram preparadas. O preparo das amostras seguiu os métodos descritos pela NBR 6457 (ABNT, 1986). A Tabela 1 apresenta as siglas de identificação das amostras ensaiadas, bem como os percentuais das misturas.

Tabela 1. Identificação das amostras e composição das misturas.

Sigla	% em Peso do Material	
	Solo	Agregado Reciclado
S	100	-
SAR15%	85	15
SAR30%	70	30
SAR45%	55	45
AR	-	100

3.1 Ensaios de Caracterização Física

Na campanha de caracterização física, buscou-se realizar os ensaios de análise granulométrica, limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade) e massa específica real dos grãos.

Os ensaios de análise granulométrica tiveram como base as diretrizes prescritas na NBR 7181 (ABNT, 1984). Os limites de Atterberg foram realizados de acordo com a norma NBR 6459 (ABNT, 1984), para o limite de liquidez e a norma NBR 7180 (ABNT, 1984), para o limite de plasticidade. Os ensaios de massa específica real dos grãos foram realizados de acordo com a NBR 6508 (ABNT, 1984).

3.2 Ensaios Mecânicos

Na etapa de caracterização mecânica, a análise foi constituída por ensaios de compactação e de índice de suporte Califórnia (ISC).

As compactações foram executadas seguindo a NBR 7182 (ABNT, 1986). Os ensaios tinham como objetivo a determinação dos parâmetros ótimos, ou seja, a determinação da umidade ótima (w_{ot}) e do peso específico aparente seco máximo (ρ_{dmax}), ambos obtidos da curva de compactação. Para isto, os ensaios foram executados com o reuso do material, no cilindro

metálico grande e na energia Normal.

A partir dos valores de umidade ótima e densidade seca máxima dos materiais, foram realizados os ensaios de índice de suporte Califórnia (ISC). Estes ensaios foram executados conforme a NBR 9895 (ABNT, 1987).

Por fim, foram realizados ensaios de compressão simples, de acordo com a NBR 12770 (ABNT, 1992).

Nos ensaios de ISC e Compressão simples, todas as amostras foram moldadas na umidade ótima.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaios de Caracterização Física

4.1.1 Análise Granulométrica

De acordo com as curvas granulométricas apresentadas na Figura 3, foi possível verificar as características das partículas presentes nas amostras.

No solo percebeu-se uma composição arenosa, com presença considerável de argila. Já o agregado reciclado (AR), possui características de um material mais arenoso e com baixo teor de partículas finas (silte e argila). Nas misturas, observou-se uma gradativa diminuição do percentual de argila e aumento de grãos de areia e pedregulho, com o acréscimo do teor de AR.

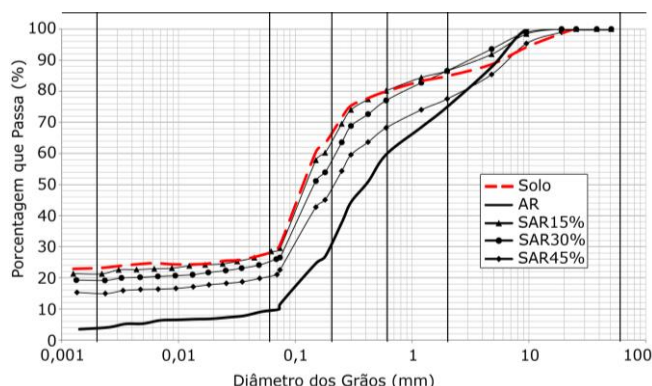


Figura 3. Curvas granulométricas.

A partir da curva granulométrica, determinou-se o Coeficiente de Uniformidade

(Cu) e o Coeficiente de Curvatura (Cc) do AR, sendo estes, respectivamente, 8,3 e 0,93. Com base nestes valores, verificou-se que o AR é um material bem graduado de uniformidade média. O solo e as misturas não possuem esses coeficientes.

Na Tabela 2, são mostrados os percentuais de pedregulho, areia, silte e argila presentes nas amostras.

De acordo com os resultados, foi possível verificar que todos os materiais (solo, AR e misturas) possuem a faixa de areia como material predominante.

Tabela 2 - Percentagens das faixas granulométricas do solo, conforme escala granulométrica da ABNT (NBR 6502, 1995).

Amostra	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
S	15,12	56,35	5,34	23,19
SAR15%	13,42	58,1	7,2	21,28
SAR30%	13,42	60,59	6,83	19,16
SAR45%	22,45	56,5	6,13	14,92
AR	25,01	65,07	5,85	4,07

4.1.2 Limites de Atterberg

A Tabela 3 apresenta os parâmetros fornecidos pelos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, bem como a classificação dos materiais em relação à plasticidade.

Os resultados dos limites de Atterberg comprovam a redução do teor de argila proporcional ao acréscimo de AR, acarretando em uma redução na plasticidade das misturas.

Tabela 3 – Resultados dos limites de Atterberg e classificação quanto à plasticidade.

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Classificação (%)
S	22,70	15,38	7,32	Medianamente plástico
SAR15%	22,40	16,38	6,02	Fracamente plástico
SAR30%	21,30	16,90	4,40	Fracamente plástico
SAR45%	19,80	17,12	2,68	Fracamente plástico
AR	-	-	0	Não plástico

4.1.3 Massa Específica dos Grãos

Os resultados dos ensaios de massa específica dos grãos encontram-se apresentados na Tabela 4. Com base na tabela, observa-se que a massa específica dos grãos das amostras variam de 2,673 g/cm³ a 2,688 g/cm³.

Tabela 4 – Valores da massa específica dos grãos.

Amostra	δ (g/cm ³)
S	2,673
SAR15%	2,663
SAR30%	2,674
SAR45%	2,677
AR	2,688

4.1.4 Classificação dos Materiais

Com base nos resultados apresentados, os materiais foram classificados em diferentes sistemas de classificação (Tabela 5).

Tabela 5 – Classificação dos materiais.

Amostra	ABNT	SUCS	TRB
S	Areia argilosa com pedregulho e pouco silte	SC	A-2-4
SAR15%	Areia argilosa com pedregulho e pouco silte	SM	A-2-4
SAR30%	Areia argilosa com pedregulho e pouco silte	SM	A-2-4
SAR45%	Areia argilosa com pedregulho e pouco silte	SM	A-2-4
AR	Areia siltosa com pedregulho e pouca argila	SM	A-2-4

4.2 Ensaios Mecânicos

4.2.1 Compactação

A Figura 4 apresenta as curvas de compactação dos materiais.

Com base na curva, foram obtidos os valores de umidade ótima (w_{ot}) e do peso específico

aparente seco máximo ($\rho_{dm\acute{a}x}$), cujos valores estão apresentados na Tabela 6.

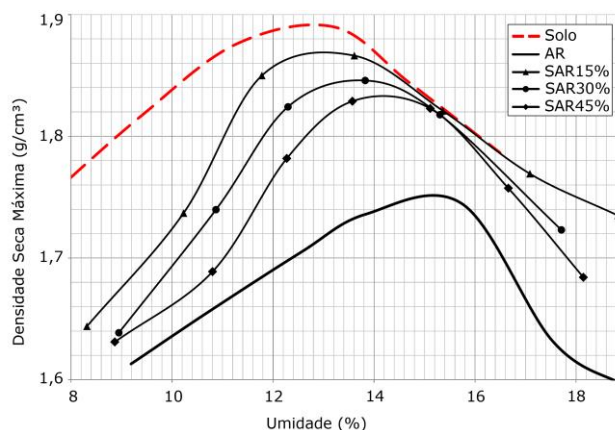


Figura 4 – Curvas de compactação.

Tabela 6 – Valores de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo.

Amostra	w_{ot} (%)	$\rho_{dm\acute{a}x}$ (g/cm ³)
S	12,7	1,910
SAR15%	13,2	1,880
SAR30%	13,8	1,865
SAR45%	14,3	1,855
AR	15,3	1,770

4.2.2 Índice de Suporte Califórnia

Os resultados dos ensaios de índice de suporte Califórnia estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de ISC e expansão das amostras.

Amostra	ISC (%)	Expansão (%)
S	6	1,9
SAR15%	6	0,5
SAR30%	7	0,1
SAR45%	13	0,1
AR	30	0,1

Observa-se que o aumento do teor de AR nas misturas com o solo acarreta na redução da expansão e acréscimo do ISC. O acréscimo é mais significativo na amostra SAR45%, em virtude desta ser constituída por maior teor de agregado reciclado que as demais misturas.

4.2.3 Compressão Simples

A Figura 5 ilustra as curvas de resistência à compressão dos materiais. Com base na curva,

foram obtidos os valores de tensão na ruptura (σ_r) e deformação na ruptura (ϵ_r).

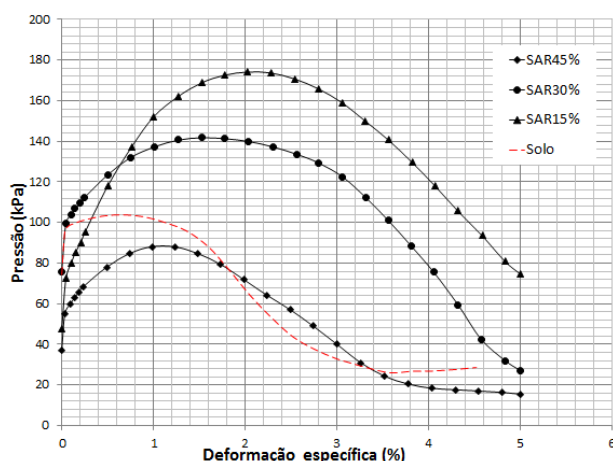


Figura 5. Curvas de resistência à compressão simples.

A Tabela 8 apresenta um resumo dos resultados dos ensaios de compressão nas amostras de solo e nas três misturas com o AR.

Tabela 8. Valores da tensão e deformação na ruptura.

Amostra	σ_r (kPa)	ϵ_r (%)
S	103,1	0,68
SAR15%	174,1	2,03
SAR30%	141,8	1,53
SAR45%	88,2	0,98

Com base nos resultados, observa-se que o aumento do teor de AR implica em acréscimo da deformação na ruptura. Sendo este mais intenso nas misturas com 15% de AR.

Verifica-se que nas amostras com concentração de 15% e 30% de AR houve um acréscimo na resistência à compressão simples. O mesmo não ocorreu nas amostras de 45% de AR, onde houve uma leve queda na resistência à compressão.

De acordo com Tabela 7, é possível verificar que as misturas de 15% proporcionaram maiores resistências à compressão, como também maiores deformações na ruptura.

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que ao investigar as características físicas e mecânicas das amostras

estudadas nesta presente pesquisa, à medida que se adiciona AR ao solo, há uma redução no teor de finos (silte e argila) e acréscimo no teor do material granular, consequentemente, gerando uma queda da plasticidade, redução da expansão e aumento do ISC.

Com relação ao comportamento quando submetido à compressão simples, observou-se que o aumento do teor de AR tem como resposta um acréscimo da deformação na ruptura. As misturas com 15% e 30% de AR proporcionaram aumento da resistência à compressão. O mesmo comportamento não foi observado nas misturas de 45%, onde houve uma leve queda na resistência à compressão.

A partir deste estudo, fica como sugestão para futuras pesquisas:

a. Realização da mesma campanha de ensaios, porém utilizando um solo mais granular (maior teor de pedregulho);

b. Realização de ensaios mecânicos nas amostras na energia de compactação Intermediária;

c. Realização de outros ensaios de resistência (cisalhamento direto e compressão triaxial) a fim de conhecer parâmetros de resistência ao cisalhamento para uso dos materiais em diferentes tipos de obras civis, como, por exemplo, em aterros compactados de estruturas de contenção;

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Torre Empreendimentos pelo fornecimento do agregado reciclado, ao Instituto Federal de Sergipe (IFS) pela disponibilização do laboratório e à Coordenadoria de Laboratórios de Construção Civil (CLCC) pelo apoio prestado à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) *NBR 6459: Solo – determinação do limite de liquidez*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) *NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - determinação da massa específica*, Rio de Janeiro.

- Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) *NBR 7180: Solo – determinação do limite de plasticidade*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) *NBR 7181: Solo – análise granulométrica*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986) *NBR 7182: Solo – ensaio de compactação*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986) *NBR 6457: Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987) *NBR 9895: Solo – índice de suporte Califórnia*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992) *NBR 12770: Solo coesivo – determinação da resistência à compressão não-confinada*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995) *NBR 6502: Rochas e solos*, Rio de Janeiro.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil, *Diário Oficial da União*, n. 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, p. 95-96.
- Daltro Filho, J.; Bandeira, A.A.; Barreto, I.M.C.B.N.; Agra, L.G.S. (2005). *Relatório do Diagnóstico da Problemática dos Resíduos Sólidos da Construção Civil em Aracaju*. Disponível em: <<http://www.sinduscon-se.com.br/sinduscon/arquivos/RELATRIO%20DIAGNOSTICO%20RESIDUOS.pdf>>. Acessado em 4 de fevereiro de 2016.
- Gonzaga, E.O. e Mendes, O. (2008). *Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição: Estudo de Caso da Resolução 307 do CONAMA*, Universidade Católica de Goiás, Goiânia.
- 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.
- Oliveira, D. M. (2008). *Desenvolvimento de Ferramenta Para Apoio à Gestão de Resíduos de Construção e Demolição Com Uso de Geoprocessamento: caso Bauru, SP. 200*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Tessaro, A. B.; Sá, J. S.; Scremin, L. B. (2012). *Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS*. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 121-130, abr./jun. 2012.