

Análise do Uso de Resíduos de Construção Associados a um Solo do Estado do Rio Grande do Norte para Aplicação em Obras Viárias

Enio Fernandes Amorim

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
enio.amorim@ifrn.edu.br

Anaraline da Silva Gomes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
anaraline_line@hotmail.com

Ícaro Dantas Paulo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
icarodpaulo1@gmail.com

Ingrid de Oliveira Soares

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
ingrid_oliveira36@hotmail.com

Janaina Galvêncio de Azevedo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
janainazevedo.eng@outlook.com

Maria Cicera Vitorino Joaquim

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
mcicera.vitor@gmail.com

Luís Fernando Martins Ribeiro

Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil, lmartins@unb.br

RESUMO: Nos últimos tempos, apesar da construção civil ter sofrido avanços notórios em seus métodos construtivos, ainda se observa uma contribuição expressiva na geração de seus resíduos, gerando assim problemas ao meio ambiente. Com a busca dos países por um desenvolvimento urbano cada vez melhor, o setor da construção civil torna-se mais requisitado, o que se reflete em grandes demandas construtivas e na necessidade de promover uma conscientização ambiental a fim de reduzir o desperdício de materiais. Tendo-se em vista essa problemática, esta pesquisa busca analisar a potencialidade da utilização de agregados reciclados, provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD), associados a um solo oriundo de uma jazida situada no estado do Rio Grande do Norte, visando a aplicação em camadas de pavimentos rodoviários. Para efeitos das análises, foram realizados ensaios de laboratórios usuais de Geotecnia aplicados à pavimentação, tomando-se por base as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). As misturas de solo-RCD foram realizadas a partir de amostras de solos extraídas de uma jazida e de agregados reciclados do tipo brita 1 coletados em uma recicladora. Para a análise do solo, foram realizados ensaios de caracterização, além de compactação e CBR, nas energias intermediária e modificada. Quanto ao

material reciclado, realizou-se uma quantificação dos diferentes materiais existentes em sua composição, além dos ensaios usuais de caracterização empregados para os agregados naturais. Após as análises do solo e dos agregados reciclados foram realizados ensaios de compactação e CBR, nas energias intermediária e modificada, com misturas de solo-RCD, as quais foram feitas com porcentagens distintas de RCD em relação à massa de solo. A partir da análise dos resultados obtidos, observou-se que o solo estudado apresentou características favoráveis para a utilização em camadas de sub-base de pavimentos rodoviários e que o acréscimo de resíduos reciclados de construções à composição do solo elevou a sua capacidade de carga do ponto de vista granulométrico. Entretanto, observou-se que a adição de RCD ao solo não promoveu um ganho expressivo de resistência, mas manteve características técnicas favoráveis para aplicação da mistura em camadas de sub-base.

PALAVRAS-CHAVE: Materiais Alternativos, Misturas de Solo-RCD, Obras de Pavimentação, Resíduos Reciclados.

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, apesar do cenário econômico desfavorável no Brasil, ainda apresenta uma alta demanda construtiva. Com isso, vem à tona a problemática da geração, em larga escala, de resíduos oriundos de construções, demolições e reformas, e a escassez de soluções que visem a destinação correta desses detritos, comumente chamados de entulhos ou metralhas.

O grande número de construções reflete também o desenfreado consumo de matérias-primas naturais que, se extraídas e utilizadas sem o devido controle, podem chegar à extinção.

Em contrapartida às problemáticas expostas, a reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD's) apresenta-se como alternativa ambientalmente correta que gera materiais que podem substituir os naturais, a depender da aplicação almejada.

Tendo-se em vista a alta relevância desses problemas e da alternativa de reciclagem, a presente pesquisa visa analisar a viabilidade técnica do uso de agregados reciclados, coletados em recicladora localizada no município de São José de Mipibu - RN, associados a um solo extraído de uma jazida localizada em Nísia Floresta - RN, para fins de execução de camadas de pavimentos flexíveis.

Para a realização da análise, foram executados, com os materiais coletados, ensaios de caracterização geotécnica usuais aplicados à

pavimentação, além de ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia (CBR) para o solo estudado e para as misturas predeterminadas de solo e RCD, seguindo os procedimentos normativos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

2 MATERIAIS UTILIZADOS

2.1 Solo Oriundo de Jazida

A jazida da qual foi extraído o solo estudado localiza-se no município de Nísia Floresta - RN e já havia sido explorada para utilização do material na camada de sub-base de um trecho de duplicação da rodovia BR - 101 no Rio Grande do Norte. Tendo-se em vista o possível potencial desse solo para uso em camadas de pavimentos rodoviários, optou-se por utilizá-lo na pesquisa. A Figura 1 ilustra o detalhe da jazida.



Figura 1. Detalhe da jazida da qual o solo foi extraído.

2.2 Resíduos de Construção e Demolição

A transformação dos resíduos de construção e demolição inicia-se com o recolhimento das caçambas com materiais resultantes das obras, que são levados à recicladora, a qual realiza os processos de beneficiamento do material coletado. Em seguida, os resíduos passam por três processos de triagem manual para que sejam excluídos parte dos elementos que são indesejáveis para a constituição final dos agregados reciclados. Por fim, os materiais selecionados passam pelo britador de mandíbula e são destinados a peneiras de diâmetros distintos, que irão separar, em diferentes frações, os agregados finais.

Utilizou-se, no estudo, uma fração de agregado reciclado do tipo brita 1, obtida em recicladora localizada no município de São José de Mipibu - RN. As Figuras 2 e 3 apresentam processos de beneficiamento do RCD estudado.



Figura 2. Detalhe de etapa de triagem manual dos resíduos.



Figura 3. Britador e esteiras que destinam os agregados pós-peneiramento.

2.3 Misturas de Solo com RCD

Para efeito deste estudo, utilizou-se misturas de solo com RCD, do tipo brita 1, nas porcentagens de 15%, 30% e 45%, em massa, de agregado reciclado, em relação ao total das misturas, a fim de avaliar a viabilidade técnica da aplicação dessas composições em camadas de pavimentos. A Figura a seguir apresenta uma das misturas de solo com RCD estudadas.



Figura 4. Detalhe de uma mistura de solo com RCD.

3 MÉTODO DE TRABALHO

3.1 Caracterização do Solo em Estudo

A caracterização do solo foi baseada na execução de uma série de ensaios laboratoriais, os quais têm por objetivo avaliar algumas propriedades físicas do material estudado, bem como seu comportamento e resistência mecânica. Para isso, executou-se os ensaios baseando-se nas metodologias descritas pelas seguintes normas:

- Preparação de amostras de solo para ensaios de compactação e de caracterização (NBR 6457/1986);
- Análise granulométrica (NBR 7181/1984);
- Determinação do limite de liquidez (NBR 6459/1984);
- Determinação do limite de plasticidade (NBR 7180/1984);
- Determinação da massa específica - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm (NBR 6508/1984);
- Ensaio de compactação (NBR 7182/1986);
- Ensaio de Índice de Suporte Califórnia - CBR (NBR 9895/1987).

3.2 Caracterização do RCD

A análise do RCD iniciou-se com a separação manual de seus componentes a fim de determinar a composição do agregado reciclado estudado. Posteriormente, foram executados ensaios usuais de caracterização de agregados adotados em obras viárias, baseando-se nos métodos citados a seguir:

- Caracterização visual manual da constituição dos agregados;
- Análise granulométrica (NBR 7181/1984);
- Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água dos grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm (NBR 6458/1984);
- Abrasão *Los Angeles* (NBR NM 51/2001);
- Determinação do índice de forma (DNER-ME 086/94).

3.3 Caracterização das Misturas de Solo com RCD

Para uma avaliação do comportamento do solo com adição de RCD para fins de aplicação em camadas de pavimentos, foram realizados ensaios seguindo a metodologia descrita a seguir:

- Ensaio de compactação e Índice de Suporte Califórnia (CBR), nas energias intermediária e modificada, para uma mistura de solo-RCD contendo 15% de agregado reciclado e 85% de solo, em massa, sem reuso.
- Ensaio de compactação e Índice de Suporte Califórnia (CBR), nas energias intermediária e modificada, para uma mistura de solo-RCD contendo 30% de agregado reciclado e 70% de solo, em massa, sem reuso.
- Ensaio de compactação e Índice de Suporte Califórnia (CBR), nas energias intermediária e modificada, para uma mistura de solo-RCD contendo 45% de agregado reciclado e 55% de solo, em massa, sem reuso.

Os ensaios de compactação foram embasados na norma NBR 7182 (1986) e os ensaios de CBR na norma NBR 9895 (1987),

sendo ambas da ABNT. Além desses ensaios, executou-se uma análise granulométrica das misturas, seguindo a norma NBR 7181 (1984) da ABNT.

A seguir, a Figura 5 ilustra o detalhe de um corpo de prova composto de uma mistura de solo-RCD, repartido ao meio, logo após o ensaio de CBR.



Figura 5. Detalhe de corpo de prova após ensaio de CBR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização do Solo

Os resultados dos ensaios de caracterização do solo obtidos estão especificados na Tabela a seguir.

Tabela 1. Resultados da caracterização do solo.

γ_s (KN/m ³)	W _L (%)	W _P (%)	IP (%)
26,7	27	22	5

De acordo com PINTO (2006), o peso específico (γ_s) para composições de grãos de quartzo (areia) tem ordem de grandeza média de 26,5 kN/m³, verificando-se, assim, a proximidade com o valor obtido na caracterização do solo estudado.

Com relação aos resultados dos índices de consistência obtidos, classifica-se o solo estudado como pouco plástico, indicando a ocorrência de pequenas deformações, as quais conferem maior resistência às camadas de um pavimento.

Em se tratando das análises granulométricas, executadas por peneiramento e sedimentação, obteve-se a curva, identificada como “0% RCD B1 + 100% solo”, exposta na Figura 7, item 4.3. A partir da análise dessa curva granulométrica e

dos resultados dos limites de Atterberg obtidos, pode-se inferir que o solo estudado, segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), classifica-se como uma areia-argilosa (SC) ou como um solo do tipo A-2-4, de acordo com a classificação do Transportation Research Board (TRB). Esse tipo de solo, segundo SENÇO (2007), pertence a uma das mais importantes faixas de solos, quer pelo seu comportamento como subleito, quer pela possibilidade de estabilização química ou granulométrica, sendo considerado um material com características aceitáveis para aplicação em obras de pavimentação.

A curva granulométrica obtida apresenta forma que não possibilita classificar, quanto ao tipo de graduação, as partículas componentes do solo estudado, visto que não se faz possível determinar o diâmetro das partículas correspondente à porcentagem passante de 10% e, com isso, não se pode estabelecer o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc).

4.2 Caracterização do RCD

A execução da caracterização da composição do RCD permitiu definir as porcentagens, em massa, dos materiais presentes nas amostras analisadas. Para isso, adotou-se a divisão dos componentes dos agregados em quatro tipos, os quais estão especificados na Figura 6 juntamente com suas respectivas porcentagens.

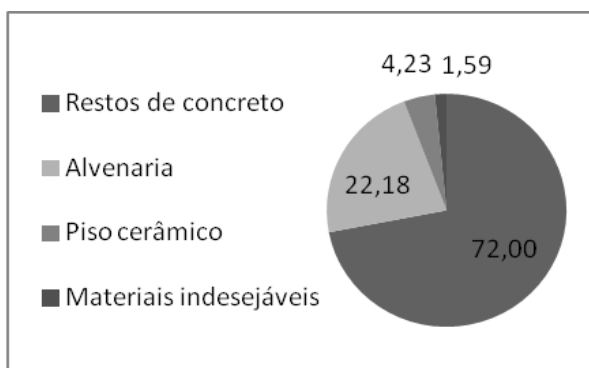


Figura 6. Composição percentual do agregado reciclado - Brita 1.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de caracterização do agregado reciclado estudado estão expostos na Tabela a seguir.

Tabela 2. Resultados da caracterização do RCD.

γ_s (KN/m ³)	Absorção (%)	Índice de forma	Abrasão Los Angeles (%)
25,25	9,03	0,83	53

Analisando-se o resultado do peso específico dos grãos (γ_s) do RCD, verifica-se uma redução do valor desse índice físico em relação ao obtido na caracterização do solo. Isso se explica pelo fato de o RCD analisado apresentar materiais cerâmicos em sua composição.

Em relação à absorção, pode-se afirmar que o alto valor obtido ocorreu em virtude da presença de, aproximadamente, 26% de materiais oriundos de alvenaria e pisos na composição do RCD estudado, visto que esses componentes apresentam alta porosidade.

A partir da execução do ensaio de índice de forma pelo método do crivo com o RCD, obteve-se um resultado próximo a 1,0, parâmetro este que indica ótima cubicidade do agregado, concluindo-se, portanto, que o material analisado serve para uso em obras viárias no tocante à forma das partículas.

Quanto ao resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles, de acordo com a Especificação de Serviço ES 141 (DNIT, 2010), o agregado reciclado ensaiado pode ser utilizado em camadas de base e sub-base, já que o desgaste sofrido pelo material foi inferior a 55%.

A curva granulométrica do RCD (100% RCD B1 + 0% solo) encontra-se ilustrada na Figura 7 do próximo item. Analisando-se essa curva obtida, é possível classificar o RCD como agregado de graduação uniforme, visto que, ao calcular o coeficiente de uniformidade, obteve-se um valor inferior a 5, parâmetro que indica granulometria muito uniforme. Por se tratar da análise de um agregado reciclado de fração específica, classificado como brita 1, constata-se que o tipo de graduação encontrada condiz com o tipo de RCD estudado.

4.3 Caracterização das Misturas

A Figura 7 ilustra as curvas granulométricas obtidas para as misturas de solo-RCD estudadas na pesquisa. Já as Figuras 8 e 9 apresentam o enquadramento de algumas dessas curvas nas

faixas granulométricas mencionadas pela norma ES 141 (DNIT, 2010), que dita os parâmetros

para os solos destinados à estabilização de camadas de base de pavimentos.

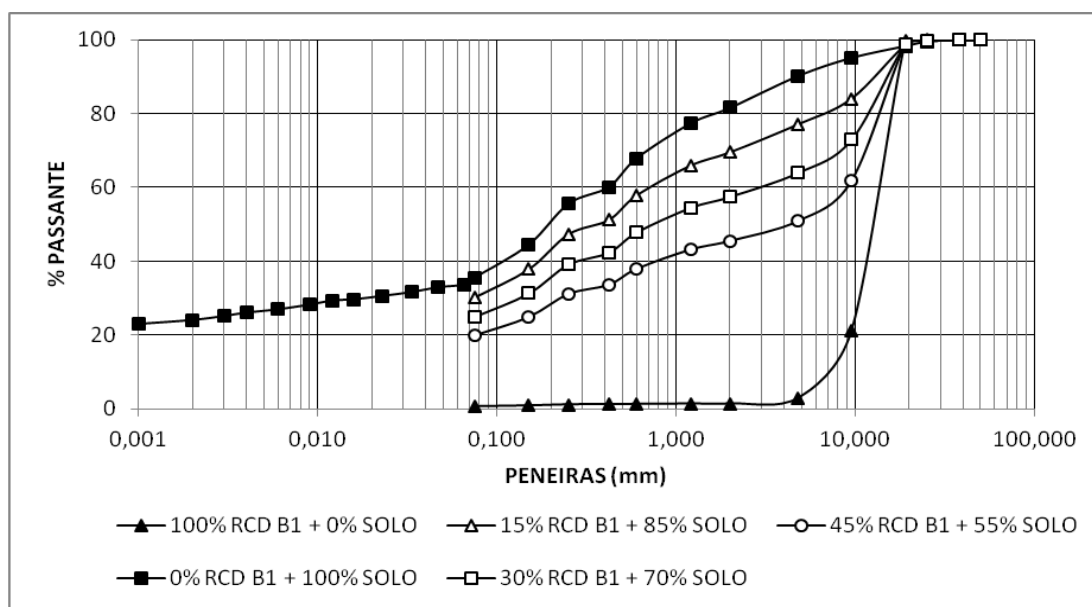


Figura 7. Curvas granulométricas das misturas de solo-RCD ensaiadas.

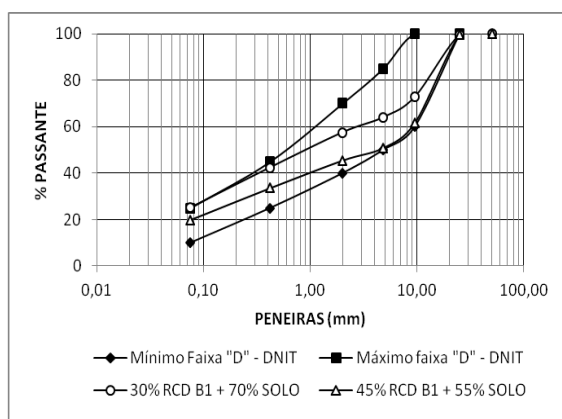


Figura 8. Curvas granulométricas de misturas de solo-RCD e faixa "D" - ES 141 (DNIT, 2010).

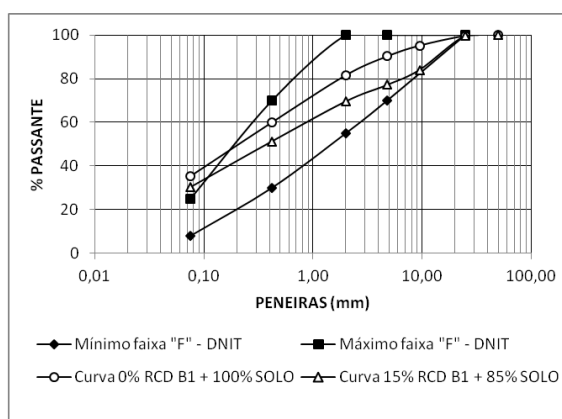


Figura 9. Curvas granulométricas de misturas de solo-RCD e faixa "F" - ES 141 (DNIT, 2010).

Analisando-se a Figura 7, pode-se observar que a adição do RCD ao solo proporcionou um aumento significativo da graduação do material, possibilitando, assim, uma maior estabilidade granulométrica quando comparada ao solo sem agregado reciclado.

Em relação às Figuras 8 e 9, ao compará-las, com base na norma ES 141 do DNIT (2010) no tocante à granulometria do material, verifica-se que as curvas das duas misturas com maior porcentagem de brita 1 reciclada na composição, 30% e 45%, se enquadraram na faixa "D" e, à medida que se reduz a presença de RCD na composição, constata-se uma mudança significativa no enquadramento das curvas granulométricas nas faixas determinadas pela norma, passando de "D" para "F". Visto que a faixa de trabalho "D" é indicada para um tráfego atuante com um número de repetições do eixo padrão (N) maior que 5×10^6 e a "F" para um tráfego inferior a esse, pode-se verificar que as misturas enquadradas na primeira faixa apresentaram um ganho de capacidade de carga, do ponto de vista granulométrico, em relação às demais composições estudadas.

Para os ensaios de compactação e CBR executados com as misturas determinadas, a Tabela 3 expõe um resumo dos principais

parâmetros obtidos nos ensaios e os índices físicos para a condição do peso específico aparente seco máximo. Além disso, as Figuras

10 e 11 ilustram as curvas de compactação obtidas.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de compactação e CBR para as misturas, e índices físicos obtidos.

Misturas	Energia de compactação	$\gamma_{dm\acute{a}x.}$ (KN/m ³)	W _{ótima} (%)	e	n (%)	γ (KN/m ³)	S (%)	Expansão (%)	CBR - Imerso (%)
0% RCD + 100% SOLO	Intermediária	19,90	10,75	0,34	25,47	22,04	84,00	0,00	57
0% RCD + 100% SOLO	Modificada	20,18	9,80	0,32	24,42	22,16	80,99	0,00	55
15% RCD + 85% SOLO	Intermediária	19,69	10,00	0,34	25,64	21,66	76,79	-	-
15% RCD + 85% SOLO	Modificada	20,14	9,20	0,31	23,94	21,99	77,39	0,00	43
30% RCD + 70% SOLO	Intermediária	20,36	8,23	0,29	22,50	22,04	74,48	0,00	45
30% RCD + 70% SOLO	Modificada	20,05	8,48	0,31	23,68	21,75	71,81	0,00	59
45% RCD + 55% SOLO	Intermediária	19,18	10,53	0,36	26,37	21,20	76,58	0,00	53
45% RCD + 55% SOLO	Modificada	19,96	6,46	0,31	23,38	21,25	55,15	0,00	41

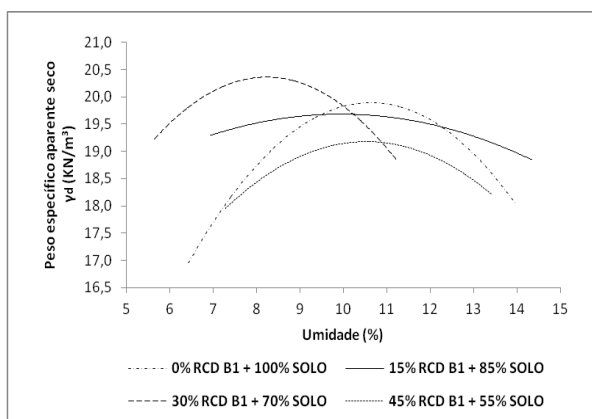


Figura 10. Curvas de compactação das misturas de solo-RCD - Energia Intermediária.

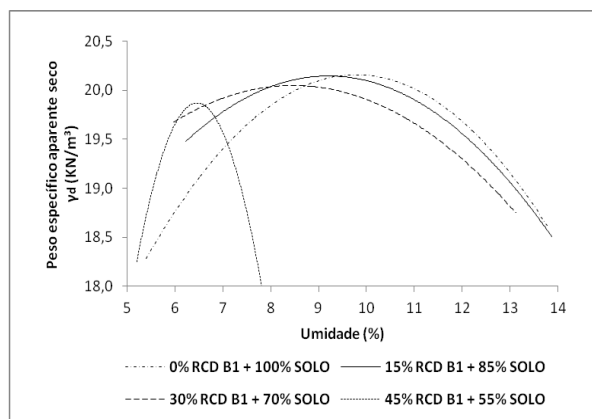


Figura 11. Curvas de compactação das misturas de solo-RCD - Energia Intermediária.

A partir da análise das curvas de compactação das misturas de solo-RCD, ilustradas pelas Figuras 10 e 11, em conjunto com os dados expostos na Tabela 3, pôde-se observar que o incremento de RCD ao solo, em ambas as energias, levou a uma redução da umidade ótima quando comparado à composição estudada de solo com 0% de agregado reciclado. No que diz respeito aos valores obtidos para os pesos específicos secos máximos, não houve uma alteração expressiva para os materiais avaliados.

Analisando-se o comportamento das misturas de solo-RCD com a mesma porcentagem de incremento de resíduo reciclado, verifica-se que ao aumentar a energia de compactação aplicada, reduz-se a umidade ótima e o peso específico seco máximo do material cresce. Estes fatos, entretanto, apresentaram-se de forma inversa para a mistura composta por 30% de RCD mais 70% de solo. Há duas hipóteses que explicam o que pode ter causado este fenômeno, sendo elas: o material já estar na condição ótima de compactação ou a energia modificada ter ocasionado a quebra dos grãos.

Com relação aos resultados obtidos no ensaio de (CBR), observou-se que o incremento

do resíduo reciclado ao solo não provocou aumento expressivo nos valores de CBR, ou seja, não alterou significativamente o suporte do material. Entretanto, no que diz respeito à ordem de grandeza encontrada para os parâmetros de expansão e CBR, pode-se afirmar, de acordo com a norma de especificação de serviço para sub-base estabilizada granulometricamente, ES 139 (DNIT, 2010), que as misturas estudadas apresentam características que habilitam aquelas à utilização na execução de camadas de sub-base em obras de pavimentação.

Por fim, os índices físicos, presentes na Tabela 3, foram calculados na condição de compacidade seca máxima, obtida para as diferentes misturas adotadas nas duas energias aplicadas, e apresentaram valores que condizem com as determinações da literatura geotécnica.

5 CONCLUSÕES

De maneira geral, observou-se que o incremento de RCD associado ao solo promoveu um maior ganho de capacidade de carga do ponto de vista de estabilização granulométrica, uma vez que houve aumento na dimensão das partículas. Tal justificativa, contudo, não foi observada de forma expressiva nos valores encontrados para o CBR, em virtude da possibilidade de ocorrência da quebra dos grãos do RCD face à implementação da energia de compactação empregada e o efeito da sucção no interior do agregado reciclado, tendo em vista que esse material foi trabalhado na condição seca.

Com relação à aplicação desses materiais em camadas de pavimentação, constatou-se que o solo na condição pura estaria recomendado para uso em camadas de sub-base para um tráfego com N inferior a 5×10^6 . No entanto, com o incremento do RCD ao solo, duas das misturas analisadas, 30% e 45% de RCD, permitiram um novo enquadramento de faixas granulométricas capaz de suportar um tráfego mais pesado e intenso (N maior que 5×10^6). Além disso, dado os valores obtidos para o CBR, mesmo não havendo um ganho significativo para as misturas contendo RCD, estas continuaram apresentando condições técnicas adequadas para

o emprego em camadas de sub-base.

REFERÊNCIAS

- Amorim, E. F. (2013) *Viabilidade Técnica Econômica de Misturas de Solo-RCD em Camadas de Base de Pavimentos Urbanos - Estudo de Caso: Município de Campo Verde - MT*, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 151p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457: Amostra de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 9p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6458: Grãos de Pedregulho Retidos na Peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica, Massa específica aparente e da Absorção de Água. Rio de Janeiro, 1984. 8p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6508: Grãos de Solo que Passam na Peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 1984. 8p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987. 14p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 51: Agregado Graúdo – Ensaio de Abrasão Los Angeles. Rio de Janeiro, 2001. 6p.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. ES 139: Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010. 8p.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. ES 141: Pavimentação – Base Estabilizada Granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010. 11p.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. ME 086 - Agregado - Determinação do índice de forma. Rio de Janeiro, 1994. 5p.
- PINTO, C. S. (2006). *Curso Básico de Mecânica dos Solos - Exercícios Resolvidos* - 3ª edição, Oficina de Textos, São Paulo - SP. 368p.
- SENÇO, W. (2007). *Manual de Técnicas de Pavimentação* - v. 1 - 2ª edição. PINI. São Paulo - SP. 761p.