



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LEONARDO AURÉLIO DE FIGUEIREDO ARAUJO HERMES
RIBEIRO COUTO**

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE AREIA RECICLADA
PRODUZIDA A PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO DO MUNICÍPIO DE NATAL/RN**

**NATAL-RN
2017**

Leonardo Aurélio de Figueiredo Araujo Hermes Ribeiro Couto

Caracterização geotécnica de areia reciclada produzida a partir de resíduos de construção e demolição do município de Natal/RN

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Couto, Leonardo Aurélio de F. Araújo Hermes Ribeiro.

Caracterização geotécnica de areia reciclada produzida a partir de resíduos de construção e demolição do município de Natal/RN / Leonardo Aurélio de F. Araújo Hermes Ribeiro Couto. - 2017.

18 f.: il.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Graduação em Engenharia Civil. Natal, RN, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França.

1. Resíduo de construção e demolição - Monografia. 2. Caracterização geotécnica - Monografia. 3. Reciclagem de RCD - Monografia. 4. Areia reciclada - Monografia. I. França, Fagner Alexandre Nunes de. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 628.4.036

Leonardo Aurélio de Figueiredo Araujo Hermes Ribeiro Couto

Caracterização geotécnica de areia reciclada produzida a partir de resíduos de construção e demolição do município de Natal/RN

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 07 de junho de 2017

Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França – Orientador

Prof. Dr. Moacir Guilhermino da Silva – Examinador interno

Prof. Dr. Enio Fernandes Amorim – Examinador externo

RESUMO

A crescente geração dos resíduos de construções, demolições e reformas na construção civil vem exigindo soluções alternativas para uma destinação mais sustentável. O objetivo dessa pesquisa é a caracterização das propriedades geotécnicas de uma areia constituída de resíduos de construção e demolição (RCD) reciclado, de forma a analisar a sua viabilidade técnica e verificar seu potencial como matéria-prima secundária para pavimentação. Os ensaios de caracterização permitem classificar o material estudado como uma areia bem graduada (SW) segundo o Sistema Unificado de Classificação. Para o sistema de classificação Rodoviário as amostras se enquadraram no grupo A-3 (areia fina), sendo considerado pelo método como um material de comportamento de excelente a bom para camadas de subleito. Os resultados dos ensaios de ISC mostraram que o material apresentam boa resistência e expansão nula, atendendo os requisitos do DNIT para uso como material de revestimento primário e sub-base.

Palavras Chaves: Resíduo de Construção e Demolição. Caracterização Geotécnica. Reciclagem de RCD. Areia reciclada.

ABSTRACT

The growing construction generation, demolition and rebuilding wastes has been demanding alternative solutions for more sustainable practices. The objective of this research is to characterize the geotechnical properties of a sand composed of recycled construction and demolition waste (CDW), in order to analyze its technical viability and verify its potential as a secondary feedstock for paving. The characterization tests allow to classify the studied material as a well graded-sand (SW) according to the Unified Soil Classification(USC). For the road classification system, the samples were classified in group A-3 (fine sand), being considered by the method as an excellent to good behavioral material for subgrade layers. The results of the California Bearing Ratio (CBR) tests showed that the material presented good resistance and zero expansion, meeting the requirements of the DNIT (National Department of Infrastructure Transportation) for use as primary and sub-base coating material.

Key Words: Construction and Demolition Waste. Geotechnical Characterization. Recycling of CDWs. Recycled sand.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, com o processo de sedentarização da nossa espécie, a humanidade tentou criar mecanismos e ferramentas que melhorassem sua qualidade de vida. Surgiram então necessidades que não existiam antes, necessidades decorrentes do modo de agrupamento dos seres humanos, com relações cada vez mais complexas, e suas demandas de moradia, de limpeza, de indumentária, de proteção e de recursos. A cada inovação, surgia algum tipo de resíduo sólido que nunca tinha sido antes gerado, esse processo é intensificado até os dias atuais, nos distanciando cada vez mais de outras espécies que normalmente geram apenas resíduos orgânicos putrescíveis.

A geração dos resíduos, contudo, tomou novas proporções a partir da revolução industrial, iniciada no século XVIII, na Inglaterra e espalhada por todo o mundo, a partir de quando com o intenso crescimento populacional, o desenvolvimento econômico, a falta de consciência ecológica e o mau uso dos recursos naturais, os resíduos tornaram um grave problema urbano (SANTOS 2007). Aliado a isso, o êxodo rural foi intensificado no Brasil, onde o fluxo intrarregional de pessoas contribuiu para um desenvolvimento acelerado e desordenado da zona urbana, causando assim, uma geração de resíduos de forma nunca antes vista. De acordo com o IBGE, em 1950 a população brasileira era predominantemente rural, atualmente a parcela representativa da população que mora fora da cidade não chega a 18%.

Na língua portuguesa o conceito de resíduo sólido estava vinculado ao termo popular de “lixo”, algo que não tinha mais serventia e que tinha de ser descartado, até que a humanidade, finalmente, começou a criar certa consciência e a temática ambiental ganhou destaque mundial, com reuniões em diversos países, como a de Estocolmo (1972), Naírope (1982), Rio de Janeiro (1992) e Johannesburgo (2002), onde leis ambientais foram criadas e reformuladas com intuito de controlar as ações humanas (RIBEIRO, 2002). Essa ideia de preservar o meio em que vivemos começou a surgir no Brasil também, e em 2002, foi criada a Resolução 307 do CONAMA, alterada pela 448/2012, com o objetivo de disciplinar e orientar sobre a destinação do RCD (ARAUJO, 2014).

De acordo com pesquisa da ABRELPE em parceria com o IBGE, em 2015 foram gerados 79,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos no Brasil, e de acordo com dados da URBANA, em 2014 foram coletados em média 450 toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no município de Natal. Visto como uma preocupação para o município em 2011, a lei de Nº6298 foi criada e tem como objetivo geral:

“Art. 1º - Institui-se o Programa de Reciclagem de Entulhos da Construção Civil no Município de Natal, o qual tem como objetivo incentivar o processamento, a comercialização e o reaproveitamento de matérias recicláveis, provenientes do refugo da construção civil e demolições. .”

O desenvolvimento desse trabalho é justificável devido a crescente geração dos resíduos sólidos resultantes de construções, demolições e reformas na construção civil, sendo a reciclagem desse material uma possibilidade alternativa para os municípios desafogarem seus aterros sanitários. Assim o presente estudo almeja a caracterização das propriedades geotécnicas de uma areia reciclada produzida a partir de um RCD. Através de ensaios e da análise de seus resultados, possibilitar a fundamentação técnica do uso deste material em aterros em geral.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Os resíduos de construção e demolição (RCD), devido às diversas possibilidades de edificações e a vasta diversidade de materiais utilizados em cada uma delas, não possuem uma definição unânime. De acordo com Levy & Helene (1997) apud Ângulo (2005), o RCD pode ser definido como: “sobras ou rejeitos constituídos por todo material mineral oriundo do desperdício inerente ao processo construtivo adotado na obra nova ou de reformas ou demolições”. Entretanto, para este presente trabalho, será utilizada a definição do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, resolução 307), que define:

“Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

O RCD pode ser classificado em quatro categorias:

- Classe A: podem ser reutilizados na forma de agregados, tais como: alvenarias, concreto, argamassas e solos;
- Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução do CONAMA nº 469/2015);
- Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação, tal como: isopor; (Redação dada pela Resolução do CONAMA nº 431/11);
- Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução do CONAMA nº 348/04).

A geração do RCD costuma ter duas fontes típicas: construção e demolição. Em vários países, os resíduos produzidos pela construção representam 19% a 52% do Total de RCD produzido, por outro lado os resíduos de demolição representam certa de 50% a 81% do RCD (ÂNGULO, 2000). O volume de entulho produzido nas cidades brasileiras é significativo, podendo até servir como indicador de materiais. Os resíduos de construção variam entre 41% e 71% da massa total de resíduos sólidos de uma cidade (MESQUITA, 2012).

Nesse caso particular, existem várias informações contraditórias, mas de Acordo com Pinto (1999), o Brasil apresenta uma produção média anual de RCD de 500 kg/hab. Considerando que, pelo IBGE, o país possui 207.359.127 habitantes em 2017 e que a

massa unitária do RCD é de 1200 kg/m³, logo, estima-se que a geração anual de RCD seja de 86.399.636m³.

2.2 DESTINAÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), no ano de 2013, foram entrevistadas 105 usinas. Destas, 96 apresentaram respostas relativas a produção atual e a capacidade máxima de produção. Realizando a proporção, estima-se que foram reciclados cerca de 17 milhões de metros cúbicos de resíduos de construção e demolição. O restante seguiu para aterros sanitários ou tiveram outra destinação, ainda de acordo com a pesquisa, 50% dos municípios brasileiros ainda destinam os resíduos para lixões ou locais irregulares, ao invés de reciclar e utilizá-los em obras, de forma sustentável e com baixo custo, em aplicações não estruturais como aterros, pavimentação, fabricação de blocos de vedação, artefatos de concreto entre outros.

Em relação à pesquisa setorial realizada em 2013, o percentual de RCD reciclado foi de 19% para 21% em 2015, porém apesar do salto de 2%, a capacidade nominal de produção das usinas de reciclagem é de 38 milhões de metros cúbicos por ano. Logo, apenas 37% da capacidade das usinas está sendo utilizada, mostrando que o Brasil ainda está engatinhando no reaproveitamento do material se comparado a países que em 2003 já possuíam altos índices de reutilização de entulhos sólidos como Dinamarca (81%), Bélgica (87%) e Holanda (90%) (Motta e Fernandes-2003).

2.3 ESTUDOS COM RCD

Os estudos com o RCD demonstraram resultados positivos como agregado na composição de concretos, com valores de ganhos médios de resistência à compressão, até 28 dias, superior aos comparados ao concreto de referência tradicional. Foram obtidos em ensaios, valores de resistências finais inferiores ao concreto convencional, mas concluiu-se que formam concretos com boas propriedades mecânicas de resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação (SANTOS, 2006).

Esse tipo de material também pode ser aplicado em argamassas. Segundo Araújo (2014), argamassas produzidas com RCD beneficiados na cidade de Natal-RN possuem uma boa variação em suas propriedades mecânicas com a substituição de agregado convencional por agregado reciclado. O valor do módulo de elasticidade diminui, resultando numa argamassa com melhores valores de absorção de deformações e valores de resistência à tração e compressão se elevam, neste último caso chegando a quase dobrar a resistência do material a esse tipo de solicitação.

Na pavimentação, o RCD é um material que pode ser utilizado, possuindo normalizações que regulamentam seu uso. No ano de 2004 duas normas foram criadas a ABNT NBR 15115 e ABNT NBR 15116. A primeira estabelece os critérios para a execução de camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos, bem como a camada de revestimento primário, com agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil, denominado “agregado reciclado”, em obras de pavimentação. A segunda tem como objetivo definir os requisitos necessários para que o agregado de RCD possa ser destinado às camadas de pavimentação. As Tabelas 2.1 e 2.2 mostram os critérios definidos pela ABNT NBR 15116 (2004).

Tabela 2.1 – Requisitos gerais para agregado reciclado destinado à pavimentação

Propriedades	Agregado reciclado classe A		Normas de Ensaio	
	Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Composição granulométrica	Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$		ABNT NBR 7181	
Dimensão máxima característica	≤ 63 mm		ABNT NBR NM 248	
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm	Entre 10% e 40%		ABNT NBR 7181	

Fonte: adaptado NBR 15116:2004

Tabela 2.2 – Requisitos específicos para agregado reciclado destinado à pavimentação

Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação
Material para execução de reforço de subleito	≥ 12	$\leq 1,0$	Normal
Material para execução de revestimento primário e sub-base	≥ 20	$\leq 1,0$	Intermediária
Material para execução de base de pavimento ¹⁾	≥ 60	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada

¹⁾ Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2 Tf (80 kN) no período de projeto.

Fonte: NBR 15116:2004

Além do uso em pavimentação como descrito pelas normas citadas anteriormente outros usos podem ser feitos com o RCD no campo da geotecnia. COSTA (2015) estudou a caracterização desse material e após as análises dos resultados obtidos, concluiu que o uso do RCD em obras de pavimentação tem grande potencial e pode ser aconselhável. Porém com a ressalva que uma maior repetição de ensaios ainda se faz necessário com um intuito de possibilitar um tratamento estatístico que comprove a utilização do RCD como material de base, sub-base ou reforço de subleito para camadas de pavimentação.

Afonso (2005) estudou a viabilidade do uso de RCD em camadas drenantes de aterros sanitários. Seus estudos concluíram que o uso de RCD é completamente viável, pois os valores de permeabilidade obtidos foram superiores aos valores diários necessários para o escoamento do chorume, e a resistência química do material também foi testada e confirmada, não apresentando danos ou fraturas microscópicas. A resistência mecânica a compressão gerada pela camada de aterro também foi comprovada como eficaz, além de provar sua perfeita viabilidade econômica, reduzindo o custo total de um sistema tradicional fictício para aproximadamente 16,6%.

Santos (2007) pesquisou sobre a utilização do RCD coletados pela Prefeitura de São Carlos-SP em estruturas de solo reforçado e concluiu que o material apresenta baixos coeficientes de variação em seus ensaios de caracterização, ótimas propriedades de resistência mecânica e comportamento que justificariam seu uso na aplicação proposta.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ORIGEM DO RCD

O resíduo de construção e demolição utilizado na realização dos ensaios é uma areia reciclada proveniente de uma usina de reciclagem, localizada no município de São José do Mipibu, situada na região metropolitana da cidade do Natal/RN. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e seguiram as recomendações das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Os procedimentos realizados para a análise granulométrica do material foram o peneiramento grosso, peneiramento fino e sedimentação, orientados pela NBR 7181/84. Para a determinação dos Índices de vazios, buscaram-se as orientações na ABNT correspondentes a cada ensaio. A NBR 12004/90 para o índice de vazios máximos pelo método B e a NBR 12051/91 para o índice de vazios mínimos do solo. Para o ensaio de massa específica dos sólidos foram utilizadas duas amostras de material e adotadas as recomendações de aparelhagem e de execução do ensaio da ABNT NBR 6508/84. O resultado final de cada ensaio foi obtido a partir de cinco medidas de temperatura do material dentro do picnômetro e de pesagem do conjunto (picnômetro + sólidos + água). Na determinação dos limites de consistência do solo se fez o uso das normas ABNT NBR 6459/84 e ABNT NBR 7180/84.

3.3 ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO

Para o ensaio de compactação, a norma NBR 7182/86 foi utilizada como referência, sendo o ensaio feito em sete etapas, com o reuso do material e sendo feita com energia modificada, iniciando o ensaio com uma umidade de 5% e finalizando com aproximadamente 17% de umidade no material.

3.4 ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

Na determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC), foi utilizada como referência a norma ABNT NBR 9895/87. Foram realizados três ensaios. Os corpos de prova foram moldados na energia modificada de compactação e na sua umidade ótima encontrada pela curva de compactação. Após o período de 96 horas de imersão em tanque para determinação da expansão, realizou-se a penetração em prensa hidráulica manual, sob a velocidade de 1,27mm/min.

4. RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

4.1.1 ÍNDICES DE VAZIOS

Seguindo os procedimentos do método B prescrito na norma NBR 12004/90, foram realizados cinco ensaios para a determinação do índice de vazios máximos, e a partir das recomendações do método B-1 da NBR 12051/91 foram realizados três ensaios para a determinação do índice de vazios mínimos do material. Conforme especificado na norma, os resultados não chegaram a diferir da média obtida, logo estão dentro do limite de 2,5% da norma. Assim o resultado é a media exposta na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Massa específica aparente seca e Índices de vazios

$\rho_{dmin} =$	1,38	$e_{máx} =$	0,93
$\rho_{dmáx} =$	1,61	$e_{mín} =$	0,65

4.1.2 MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS

Para a realização dos ensaios de peso específico dos sólidos, foram utilizadas duas amostras do material, seguindo a norma da ABNT NBR 6508/84, com a qual, através dos procedimentos e formulação fornecidos, foi possível a obtenção dos seguintes resultados expostos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Massa específica dos sólidos

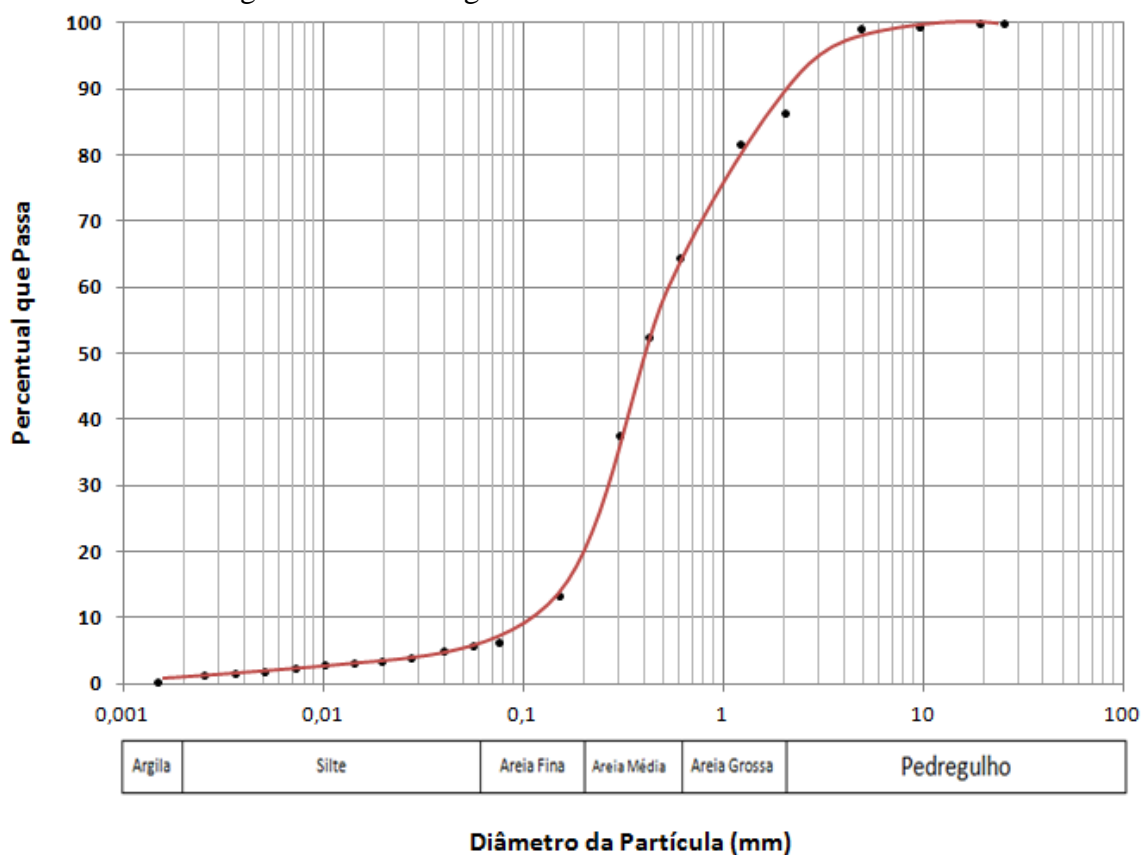
Amostra 1	2,648 g/cm ³
Amostra 2	2,666 g/cm ³
Média	2,657 g/cm³

Como exposto na norma, os resultados dos ensaios se tornam satisfatórios por não diferirem em mais de 0,02 g/cm³. Logo o resultado final será a média obtida dos ensaios (2,657 g/cm³).

4.1.3 GRANULOMETRIA DA AMOSTRA INICIAL

Para a análise granulométrica inicial foram utilizados 5 kg de material na sua condição inicial para o procedimento de peneiramento grosso e 120,26 g para peneiramento fino e sedimentação. A curva granulométrica obtida é exposta na Figura 4.1

Figura 4.1 – Curva granulométrica da amostra inicial



Fonte: Autor

% Passante	Diâmetro
D _{10%} (mm)	0,12
D _{30%} (mm)	0,28
D _{60%} (mm)	0,51
CNU = 4,25	CC = 1,28

Como os ensaios dos limites de consistência revelaram um solo não plástico (NP), pode-se classificar o solo de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos, utilizando apenas a granulometria como uma SW (areia bem graduada).

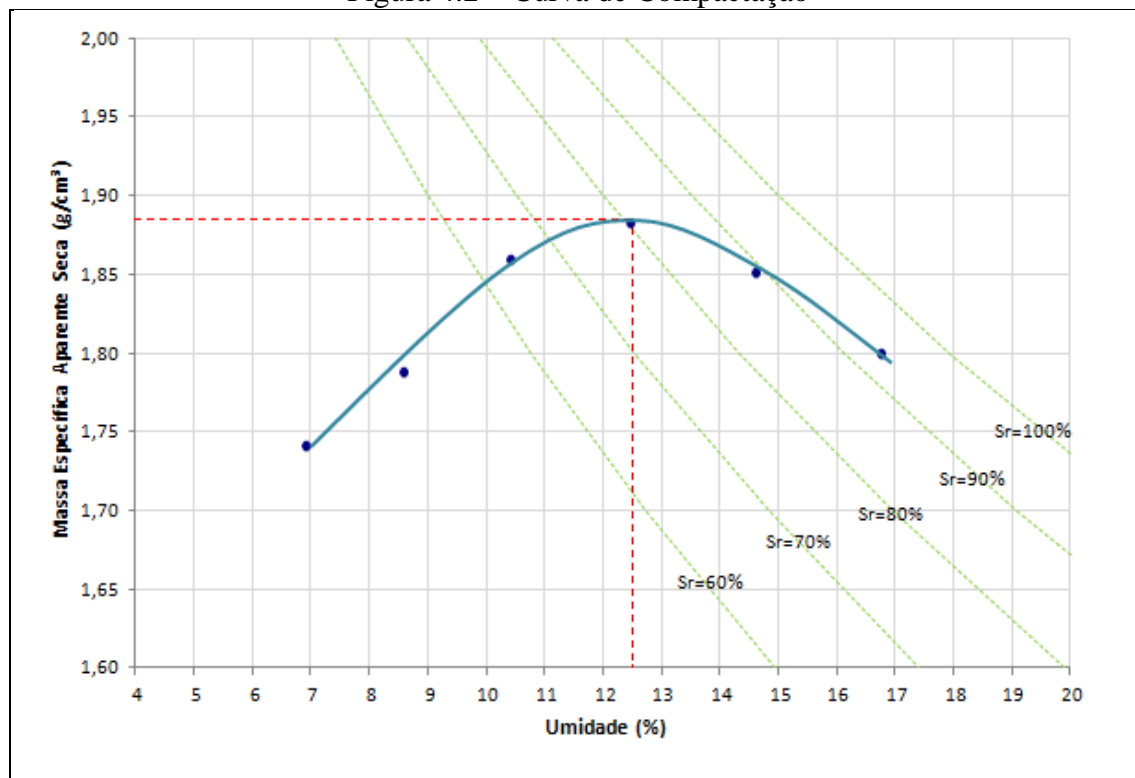
Para a classificação HRB, a amostra se enquadra na categoria A, ou seja, materiais granulares com 35% ou menos passando na peneira n°200, e mais precisamente no grupo A-3, passando no mínimo 51% na peneira de n°40 (52,8%) e no máximo 10% na peneira n°200 (6,3%), sendo considerado pelo método HRB como um material com comportamento geral como subleito de excelente a bom.

Na determinação dos limites de consistência do solo se fez o uso das normas ABNT NBR 6459/84 e ABNT NBR 7180/84, onde diz que: “art. 5.2.3 – Quando não for possível determinar o limite de liquidez ou o limite de plasticidade, anotar o índice de plasticidade como NP (não plástico)”, logo o material analisado foi considerado não plástico.

4.1.4 ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO

O ensaio de compactação, feito em sete etapas, com o reuso do material e sendo feita com energia modificada. O resultado do ensaio está exposto na curva de compactação do gráfico (Figura 4.2) a seguir.

Figura 4.2 – Curva de Compactação



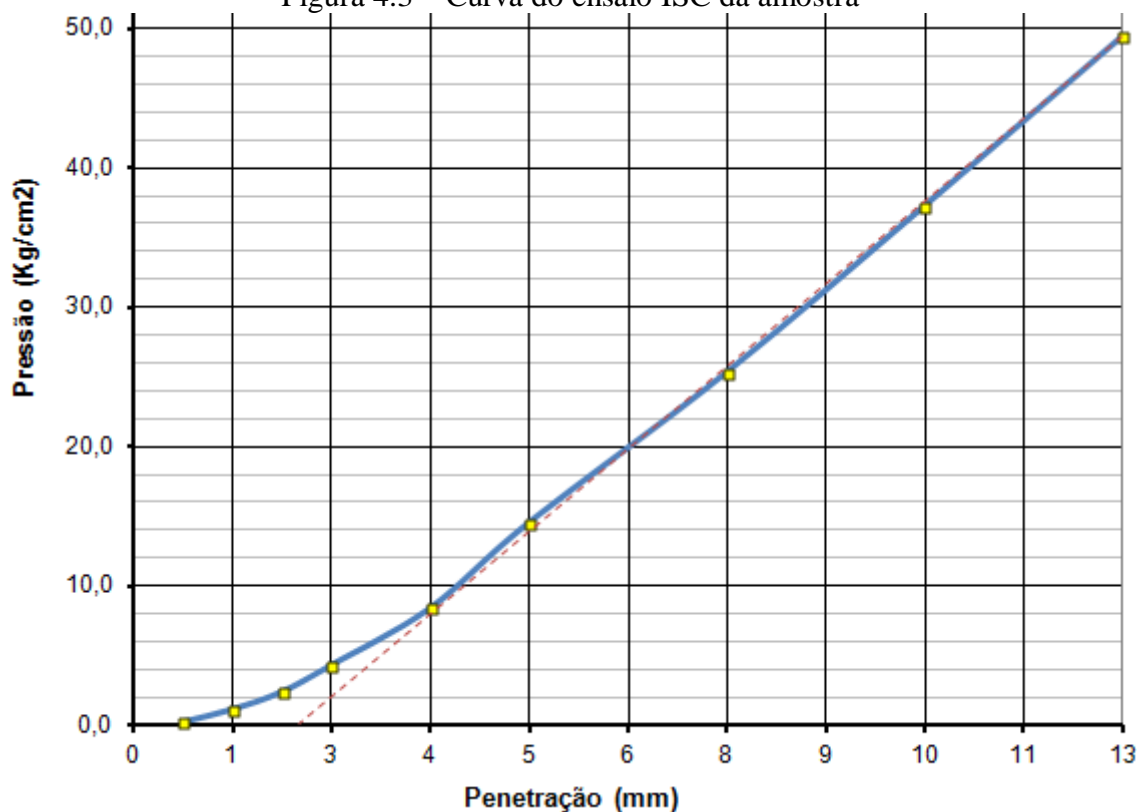
Fonte: Autor

Após a realização dos ensaios, implantação dos dados obtidos no gráfico e análise de resultados, pôde-se constatar que a umidade ótima da amostra é aproximadamente 12,5% e sua massa específica máxima seca é 1,88 g/cm³.

4.2 ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA E EXPANSÃO

Na determinação do Índice de Suporte Califórnia, foi necessário traçar a tangente a curva até sua intersecção com o eixo das abcissas, para corrigir o resultado encontrado. A Figura 4.3 representa a curva pressão aplicada pelo pistão x penetração e os resultados de ISC e da expansão são mostrados na Tabela 4.3.

Figura 4.3 – Curva do ensaio ISC da amostra



Fonte: Autor.

Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios ISC para as amostras

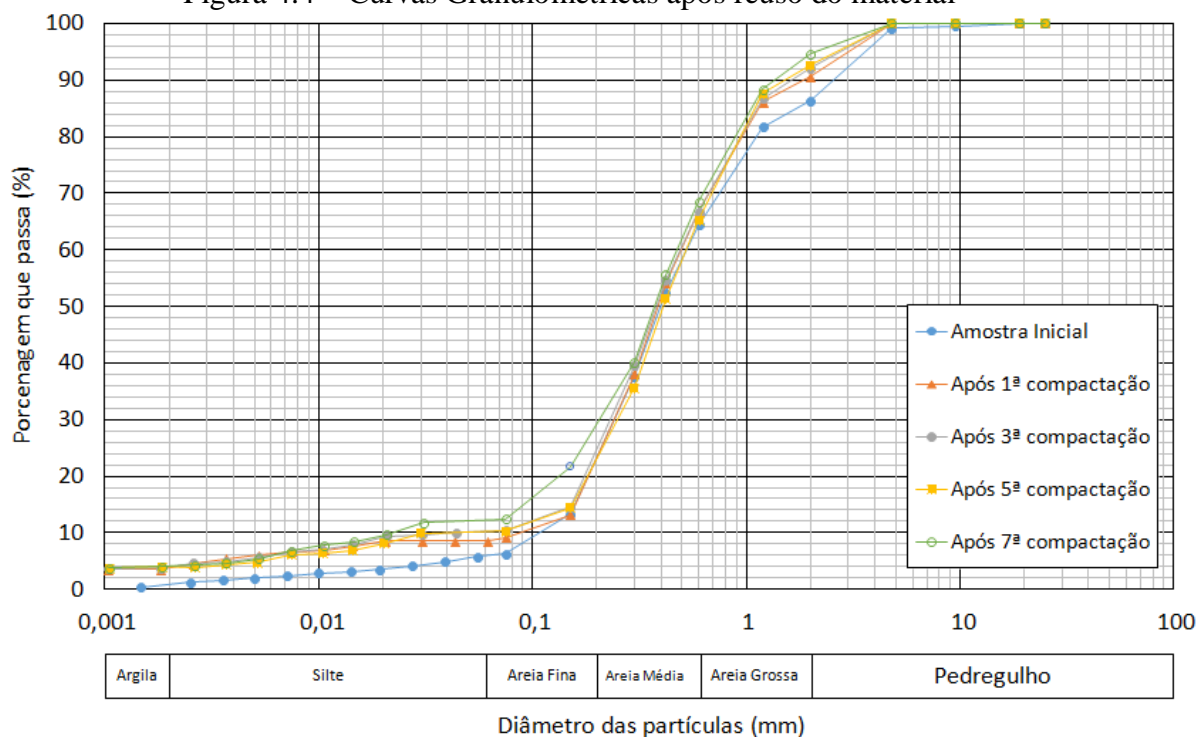
Corpo de prova	ISC (%)	Expansão (%)
1	22	0
2	21	0
3	22	0

De acordo com a ABNT NBR 15116:2004, todas as três amostras poderiam ser usadas como material para execução de revestimento primário e sub-base, pois apresentaram um ISC superior a 20% e uma expansibilidade inferior a 1%.

4.3 AVALIAÇÃO DE QUEBRA

Como citado anteriormente, nos ensaios de compactação o material foi reutilizado e submetido a novos ensaios de granulometria conjunta com análise textural, para que assim, fosse possível obter um parâmetro de comportamento dos grãos após o reuso do material. A Figura 4.4 apresenta as curvas granulométricas encontradas após os processos de compactação e em seguida, a Tabela 4.4 demonstra os resultados encontrados de acordo com a classificação do solo.

Figura 4.4 – Curvas Granulométricas após reuso do material



Fonte: Autor

Tabela 4.4 – Composição do material após processos de compactação

Classificação	Amostra inicial	Após 1ª compactação	Após 3ª compactação	Após 5ª compactação	Após 7ª compactação
Pedregulho	13,6	9,4	7,9	7,4	5,3
Areia Grossa	22,0	23,9	25,3	27,3	26,1
Areia Média	41,4	43,7	44,0	42,6	39,6
Areia Fina	17,0	14,4	12,6	12,6	16,8
Silte	5,1	4,8	6,2	6,1	8,1
Argila	0,9	3,8	4,0	4,0	4,1

O fenômeno de quebra dos grãos em materiais granulares, nesse caso particular em areia reciclada, adquire especial importância por poder modificar consideravelmente as características do solo, principalmente a resistência ao cisalhamento e a compressibilidade.

5. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um estudo sobre a caracterização das propriedades geotécnicas de um resíduo de construção e demolição, almejando uma possibilidade de destinação mais sustentável para o mesmo. Através dos diversos ensaios realizados é possível concluir que:

- Com o resultado da análise granulométrica do material virgem, e de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos, pode-se classificar o material como uma SW (areia bem graduada). Pela classificação rodoviária HRB o material se enquadra na categoria do grupo A-3, sendo considerado pelo próprio método como um material de excelente a bom comportamento geral para camadas de subleito.
- Com base nos resultados obtidos através dos ensaios de Índice de Suporte Califórnia e expansão, e ainda de acordo com as recomendações da ABNT NBR 15116:2004, é possível afirmar que o material estudado atende os requisitos específicos para agregado reciclado destinado à pavimentação, tendo potencial para a sua aplicação como material para execução de revestimento primário e sub-base.
- Em relação aos ensaios com reuso do material, o fenômeno de quebra de grãos é importante para determinar o comportamento de areias. Para a maior parte dos solos arenosos, a tensão para quebra de grãos é superior às tensões usualmente ocorrentes em obras de engenharia. Porém, para determinados tipos de solos arenosos, compostos por grãos menos resistentes, este fenômeno pode ser importante e deve ser estudando mais a fundo. Por se tratar de um material proveniente de uma areia reciclada de RCD e conseqüentemente ser composta por outros materiais, deve se atentar que houve variações significativas após os processos de compactação, como a queda de 61% da composição de pedregulho e o grande aumento em 455% da composição de argila.

De maneira geral, após a análise de resultados, é possível afirmar que a areia reciclada tem grande potencial de utilização em obras de pavimentação, devendo ser reutilizado como material de revestimento primário, sub-base ou camadas de subleito. Porém com a ressalva de que, devido à vasta gama de materiais utilizados na engenharia civil, cada RCD possui características próprias, sendo recomendado realizar uma análise de suas propriedades, incluindo uma avaliação de quebra de grãos, antes da sua aplicação, pois como apresentado nesse trabalho, houve variações significativas da composição do material após os processos de compactação.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à empresa Usina de Reciclagem Duarte pelo material fornecido; ao técnico Anderson Dantas e à Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo suporte técnico.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Paulo/SP, 2015.

AFFONSO, Fernando J. de Andrade. **Caracterização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para uso em camadas drenantes de aterros de resíduos sólidos**. 2005. 160p. Tese (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, USP, São Paulo.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. 230p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, USP, São Paulo.

ARAÚJO, Neuber Nascimento de. **Desempenho de argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados oriundos do resíduo de construção e demolição da grande Natal-RN**. 2014. Dissertação (mestrado). PEC – UFRN

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>> Acesso em 20/03/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo - Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia – método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12004: Solo – Índice de vazios máximos**, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12051: Solo – Índice de vazios mínimos**, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

CONAMA, **Resolução nº 307**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Governo Federal. Ministério do Meio Ambiente: Brasília, 2002.

COSTA, Luan Araújo. **Caracterização geotécnica de resíduos de construção e demolição para aplicação em obras rodoviárias**. 2015. 12p. Artigo (Graduação) – UFRN.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 172 – Determinação do Índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Características da população**. Disponível em: < <http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-povo/caracteristicas-da-populacao.html>>. Acesso em 08/03/2017.

LEI MUNICIPAL Nº. 6.298. De 30 de setembro de 2011 – Natal - RN.

MARCON, Leandro Pereira. **Estudo comparativo do comportamento mecânico de duas areias de Osório – RS**. 2005. 155p. Dissertação (mestrado). UFRGS.

MESQUITA, A.S.G. **Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí**. *Revista HOLOS*, IFRN, Ano 28, Vol 2. 2012.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Panorama dos resíduos da construção civil**. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/46_10112008103220.pdf>. Acesso em: 23/03/2017.

PINTO, Tarcísio de Paulo. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: A experiência do Sinduscon-SP**. 2005. 48p. São Paulo.

RIBEIRO, W.C. **O Brasil e a Rio + 10**. Revista do Departamento de Geografia USP, 15, p. 37-44. 2002.

SANTOS, Deusair Rodrigues dos. **Propriedades do concreto produzido com agregado graúdo reciclado de resíduos da etapa de produção das alvenarias**. 2006. 135p. Goiânia. Dissertação (Mestrado) – PPGEMA - UFG.

SANTOS, Eder Carlos Guedes. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. 2007. 168p. São Carlos, 2007. Dissertação (Mestrado) – EESC.

TRIBUNA DO NORTE. **Lixo do RN ainda sem destino.** Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/lixo-do-rn-ainda-sem-destino/289083>>. Acesso em 23/03/2017.

TRIBUNA DO NORTE. **Urbana recolhe toneladas de resíduos.** Disponível em: <<http://tribunadonorte.com.br/noticia/urbana-recolhe-toneladas-de-resa-duos/302018>>. Acesso em 18/03/2017.