



O RCD (RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO) E SEU APROVEITAMENTO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Joseлма Cristina de Souza Lopes¹ and Wesley Gomes Feitosa²

¹Laureate International Universities (UNINORTE)

²Laureate International Universities (UNINORTE)

RESUMO

Este artigo aborda a utilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) de uma obra residencial, através da produção de uma metodologia científica para avaliar o comportamento mecânico e o desempenho funcional do mesmo misturado a certa porcentagem de solo, como método de reciclagem, se assim possível, em obras de pavimentação na execução de sub-bases. O Objetivo deste busca ainda propostas de futuras criações de programas de reutilização de resíduos provenientes de edificações visando a importância da viabilização de uma destinação mais adequada para estes substratos. A problemática é importante destacar a aplicabilidade desse trabalho em minimizar os impactos ao meio ambiente com relação às perdas causadas pelo uso inadequado de seus recursos. A metodologia dar-se-á na opção de se reutilizar o RCD busca minimizar o problema de acondicionamento definitivo desses resíduos, já que esses elementos construtivos produzem elevados volumes de materiais. Os resultados proporcionam uma redução da extração de outros recursos naturais. Conclui-se que é evidente que quando o RCD misturados aos solos arenosilto-argilosos, torna-se possível sua utilização em obras de pavimentação em sub-bases e reforço de sub-leitos, caracterizando então a reciclagem de resíduos de construção possível.

PALAVRAS-CHAVE: RCD, Reciclagem, Pavimentação.

RCD (CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE) AND ITS USE IN PAVING WORKS

ABSTRACT

This paper deals with the use of Construction and Demolition Waste (RCD) of a residential project, through the production of a scientific methodology to evaluate the mechanical behavior and the functional performance of the same mixed to a certain percentage of soil, as a method of recycling, if as possible, in paving works in the execution of sub-bases. The objective of this search is also to propose future plans for the reuse programs of waste from buildings, aim in get the importance of enabling a more adequate estimation for these substrates. The problem is important to highlight the applicability of this work in minimizing the impacts to the environment in relation to the losses caused by the inadequate use of its resources. The methodology will be based on the option of reusing the RCD in order to minimize the problem of final packing of these wastes, as these constructive elements produce high volumes of materials. The results provide a reduction in the extraction of other natural resources. It is concluded that it is evident that when RCD mixed to silt-clayey and sandy soils, it becomes possible to use it in paving works in sub-bases and reinforcement of sub-beds, thus characterizing their recycling of possible construction residues.



KEYWORDS: RCD, Recycling, Paving.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que durante vários momentos do processo de edificação surgem resíduos de construção em decorrência das perdas de construção, demolição, manutenção e reformas, desperdícios, entre outros. Neste último caso, pode-se exemplificar a quebra de tijolos necessária para finalizar painéis de vedação e cortes em materiais de revestimentos. Muito embora seja uma prática comum, o correto seria que os projetos das edificações fossem concebidos a partir das dimensões padronizadas de tijolos, blocos de concreto, etc., contudo, no Brasil, essa realidade ainda se encontra distante. Nas cidades brasileiras de médio e grande porte, segundo Pinto (1999), os resíduos provenientes de construções e demolições representam de 40 a 70% da massa total dos resíduos sólidos urbanos.

Uma vez que a teoria do desenvolvimento sustentável tem focado a ideia de que se deve usufruir do espaço em que se vive de forma que sejam garantidas condições mínimas e adequadas para as futuras gerações, muitos estudos, relacionados à reutilização e reciclagem de RCD, tem sido feito.

Desse modo, todos esses aspectos contribuem para a redução dos custos, difusão dessa forma de reciclagem e a possibilidade de uso dos diversos materiais componentes desses resíduos (concretos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.). Assim sendo, a linha de pesquisa deste trabalho busca evidenciar a possível reutilização e reciclagem de resíduos de construção residencial para contribuir com os estudos da construção civil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A reciclagem dos materiais oriundos de resíduos de construção civil tornasse necessário para a preservação da natureza e meio ambiente, além de oferecer vantagens econômicas para gestão municipal discriminadas por Triches&Kryckyj, (1999): Redução dos custos com a remoção do material depositado clandestinamente ao longo das vias públicas, terrenos baldios, cursos d'água e encostas; aumento da vida útil dos aterros sanitários, reduzindo a necessidade de áreas para a implantação de novos aterros; diminuição nos custos de operação dos aterros sanitários, pela exclusão do entulho; diminuição nos custos de pavimentação e infraestrutura urbana.

De acordo com HENDRISK et al. (2007), o uso de materiais reciclados provenientes da construção civil tem sido empregado acerca de alguns anos, porém, sem nenhum embasamento científico catalogado. Segundo esses autores, antigas estruturas de concreto executadas nos tempos romanos, possuíam, na sua composição, uma mistura de cal, resíduos de tijolos quebrados e outras substâncias com um elevado teor pozzolânico, capaz de produzir um material resistente para a solução empregada na época. ROCHA et al. (2006) afirmaram que na Europa a reciclagem de materiais oriundos da construção civil teve o seu desenvolvimento acelerado a partir de 1980, destacando que a Noruega e a Holanda detiveram um grande interesse por esses materiais alternativos, haja vista que esses países apresentavam dificuldades espaciais para a estocagem de resíduos em aterros sanitários, além de estarem com parte de seus recursos naturais escassos. HENDRIKS et al. (2007) reportam que escombros de construção foram empregados na Holanda em 1874 para recuperação de pavimentos, e, em 1920 esse país utilizou agregados reciclados como materiais básicos para a execução de aterros e como agregados na fabricação de concretos e asfaltos.

Atualmente, devido ao aumento da conscientização com as questões ambientais, a prática da reciclagem dos RCDs tem sido cada vez mais empregada no Brasil e no mundo. REZENDE, L.R. (2003) relata que os RCD após passarem por uma etapa de beneficiamento podem ser empregados nas mais diferentes aplicações como, por exemplo, na confecção de elementos pré-moldados e na execução de camadas em estruturas de pavimentos.

LIMA (1999) aponta que os agregados reciclados oriundos da geração de RCD podem ser empregados na produção de concreto e argamassa para diferentes fins estruturais como contra pisos e componentes de alvenaria. HANSEN (1992) afirma ainda que: O betão demolido pode ser misturado com o solo ou outro material de construção desperdiçado, ou pode estar contaminado por propriedades. No

entanto, observando algumas precauções simples durante o processo de demolição, o potencial de reciclagem de concreto demolido pode ser melhorado e o valor dos detritos aumentado¹.

Segundo Costa (2006) destaca que desde 1980 o Brasil começou a estudar o aproveitamento de resíduos da construção, na forma de agregados, para a fabricação de argamassas e concretos sem fins estruturais, como uma fonte alternativa em alguns serviços de engenharia. Essa autora descreve também que a Bélgica, em 1986, realizou algumas pesquisas com RCD com o objetivo de desenvolver normativas para uso de agregados reciclados no país. Por último, COSTA (2006) menciona que em 1989 a Dinamarca realizou algumas experiências com RCD de modo a produzir agregados reciclados voltados para a fabricação de blocos de concretos. CARNEIRO et al (2001) mencionam que o uso do RCD em camadas de pavimentos urbanos tem sido uma das soluções mais difundidas nos últimos tempos. Segundo esses autores, o aproveitamento destes materiais em pavimentação apresenta muitas vantagens, como: a utilização de uma quantidade significativa de material reciclado, tanto na fração miúda quanto na graúda; simplicidade dos processos de execução do pavimento e de produção do agregado reciclado (separação e britagem primária).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de alcançar os objetivos traçados por esta pesquisa, coletou-se amostras de solo e RCD em um terreno residencial, onde está sendo realizada a construção de quatro casas, no qual percebe-se a demasiada quantidade de materiais de construção descartados como entulho.

Deste modo, realizou-se a caracterização visual quanto ao tipo de RCD, facilmente identificado como “Entulhos brancos, principalmente compostos por materiais de argamassa, concretos e uma pequena quantidade de gesso” (TRICHES, KRYCKYJ, 1999). A designação do solo coletado deu-se por intermédio dos ensaios: Limite de liquidez, Limite de plasticidade e Granulometria.

A partir da determinação de RCD e do solo coletado, elaborou-se a mistura de ambos com determinadas porcentagens, com a finalidade de medir a capacidade de carga através do Ensaio de Compactação Proctor Normal descrito na NBR 7182 (ABNT, 1986) e do Ensaio CBR (California Bearing Ratio – ou Índice de Suporte Califórnia) retratado na NBR 9895 (ABNT, 1987).

No ensaio de liquidez utilizaram-se os seguintes instrumentos: Estufa capaz de manter a temperatura de 60 a 65°C e 105 a 110°C; Cápsula de alumínio com aproximadamente 120 mm de diâmetro; Espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80mm de comprimento e 20mm de largura; Aparelho Casagrande; cinzel com gabarito para a verificação da altura de queda da concha; recipientes de porcelana apropriados para armazenamento das amostras sem perda da umidade; umidificador; Balança de precisão com resolução de 0,01g e sensibilidade compatível; e esfera de aço com 8mm de diâmetro conforme figura 1.

Figura 1: Materiais usados no ensaio



FONTE: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

¹Demolished concrete may be mixed with soil or other wasted building material, or it may be contaminated by impurities. However, by observing a few simple precautions during the demolition process, the potential for recycling demolished concrete can be improved and the value of the debris increased.

A preparação dos ensaios, cuja amostra estava previamente seca, efetivou-se em conformidade com a NBR 6459 (ABNT, 1984). Separou-se parte da amostra no recipiente de porcelana, em seguida adicionou-se água destilada e com o auxílio da espátula realizou-se a mistura até que a amostra estivesse homogênea, para que então pudesse descansar num intervalo de 15 a 30 minutos.

Em seguida transferiu-se material suficiente para preencher 2/3 da concha do equipamento Casagrande cuja parte central atingisse 10 mm de altura, adensando o material de forma que não permanecessem bolhas de ar. Posteriormente, realizou-se um corte contínuo com o cinzel no meio da concha formando uma ranhura conforme a figura 2.

Figura 2:Amostra cortada com cinzel



. Fonte: Próprio autor, 2018.

Prontamente colocou-se a concha no equipamento dando início ao giro da manivela para realizar a sequência de golpes até que as bordas inferiores da ranhura se unissem ao longo de 13 mm de comprimento, aproximadamente.

Alcançando o objetivo anterior executaram-se os três processos finais do ensaio: retirou-se uma amostra pequena na área onde as bordas se uniram colocando-a na cápsula, mediu-se o peso da amostra retirada e transferiu-se à estufa a fim de determinar a umidade após 24h. Repetiu-se esse processo mais duas vezes, anotando todos os dados: golpes, peso da cápsula, peso da amostra úmida e seca.

3.1 Ensaio de limite de plasticidade

Para realização do ensaio de plasticidade fez-se uso dos seguintes instrumentos: Estufa e balança com mesmo padrão do ensaio anterior; Cápsula de alumínio com aproximadamente 120 mm de diâmetro; Espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura; recipientes apropriados para armazenamentos (cápsulas) das amostras sem perda da umidade; Gabarito cilíndrico, com 3 mm de diâmetro e cerca de 100 mm de comprimento; placa de vidro de superfície esmerilhada, com cerca de 30cm de largura como ilustram as figuras 3 e 4 a seguir.

Figura 3: Materiais usados no ensaio



Fonte: Próprio autor, 2018..

Figura 4: Materiais de Ensaio de Liquidez**FONTE: MOURA, 2018.(ADAPATADA)**

Os ensaios de Limite de Plasticidade, cuja amostra inicial secou-se previamente, ocorreram conforme a NBR 7180 (ABNT, 1984). Reservou-se parte da amostra no recipiente de porcelana, em seguida adicionou-se água destilada e com o auxílio de uma espátula realizou-se a mistura no espaço de 15 a 30 minutos, até que a amostra se tornasse homogênea.

Em seguida retirou-se cerca de 10g da amostra e a transformou em uma pequena bola para que fizesse a rolagem da mesma atingindo formato cilíndrico com comprimento aproximado de 100 mm e espessura de 3 mm de acordo com gabarito (figura 5), mediu-se o peso da amostra retirada e transferiu-se à estufa com intenção de determinar a umidade após 24h. Repetiu-se os procedimentos por mais 2 vezes para obter 3 valores de umidade, anotando todos os valores adquiridos: peso da cápsula, peso da amostra úmida e seca.

Figura 5: Amostra sendo manipulada

Fonte: LabGeo/UFSCar.

3.2 Ensaio de granulometria por peneiramento e sedimentação

Durante o ensaio por peneiramento usou-se os seguintes aparelhos: Estufa nas mesmas especificações dos ensaios anteriores; balança que permitisse pesar nominalmente 200g; 1,5 kg; com resolução de 0,01g, 0,1g respectivamente; almofariz mão de grau; cápsulas para armazenamento das amostras; peneiras de 50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8; 2,0; 1,2 0,6; 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075 mm, de acordo com a NBR 5734 (ABNT, 1989); escova com cerdas metálicas; agitador mecânico de peneiras.

Utilizou-se ainda, no ensaio de sedimentação: recipientes de armazenamento de material, que evite variação da umidade; aparelho de dispersão; proveta de vidro de 450mm de altura e 65mm de diâmetro, com traço de referência indicando 1,000cm³ a 20°C; densímetro de bulbo simétrico, calibrado a 20°C; termômetro graduado em 0,1°C, de 0°C a 50°C; relógio digital com cronômetro; béquer de vidro de 250cm³; baqueta de vidro e bisnaga

Todos os utensílios destes ensaios foram empregados em conformidade com a NBR 7181 (ABNT, 1988) como mostram as figuras 6 e 7 a seguir.

Figura 6: Equipamentos de Granulometria A

Fonte: Slideshare

Figura 1: Equipamentos de Granulometria B.

FONTE: SLIDESHARE.

Preparou-se a amostra de acordo com a norma NBR 6457 (ABNT, 1986) primeiramente passando pela secagem prévia até que se aproximasse da umidade higroscópica (h), em seguida aplicando-se o destorroamento para desmanchar os torrões e finalmente aplicar o quarteamento para reduzir o material em quantidade suficiente para realização do ensaio. Verificou-se que a amostra passou integralmente pela peneira 4,8mm e deu-se início ao processo de granulometria baseado na NBR 7181 (ABNT, 1988).

Inicialmente o material foi passado na peneira de 2,0mm, desmanchando todos os torrões para que só ficasse na peneira os grãos maiores que a abertura da malha. Em seguida, lavou-se o material retido, transferiu-se para a cápsula, anotou-se seu peso (pesou-se a cápsula vazia previamente e anotaram-se as medidas) e levou-o à estufa por 24h, material este que será usado no peneiramento grosso.

3.3 Peneiramento grosso

Após a secagem em estufa, o material retido na peneira 2,0mm foi pesado e anotado como Massa de material seco (Mg). Com a ajuda do agitador mecânico, fez-se o peneiramento do material nas peneiras 50; 38; 25; 19; 9,5; e 4,8mm. Anotaram-se as massas retidas em cada peneira como Massa da amostra seca ao ar (Mt).

3.4 Peneiramento fino

Com o do material passado na peneira 2,0mm, fez-se a lavagem na peneira de 0,075 mm em água potável com baixa pressão. Novamente secou-se o material até que ele atingisse massa constante; com o auxílio agitador mecânico fez-se o peneiramento do material na sequência de peneiras 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15; 0,075. Então se pesou o material retido em cada peneira ao fim do processo.

Foi perceptível que uma quantidade significativa de material passou pela peneira 0,075mm e por este motivo, resolveu-se fazer também o ensaio de granulometria por sedimentação.

3.5. Sedimentação

Do material passado na peneira de 2,0 mm pesou-se cerca de 120g com resolução de 0,01g e anotou-se seu peso como Material húmido (Mh) e ainda se retirou mais 3 amostras de 100g cada, para determinação de umidade higroscópica (h) de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 1986).

Transferiu-se o material assim obtido para um béquer de 250cm³, e juntou-se a ele com o auxílio da proveta, um defloculante de 125cm³ de solução de hexametáfosfato de sódio com a concentração de 45,7g do sal por 1.00cm³ da solução. Em seguida, agitou-se o béquer até que todo o material ficasse imerso e deixou-se em repouso por 12h.

Deslocou-se para o copo do aparelho de dispersão, com água destilada e com o auxílio de uma bisnaga, o material aderido ao béquer. Adicionou-se água destilada até que seu nível chegasse a 5cm abaixo das bordas do copo, no qual submeteu-se à ação do aparelho durante 15 min. Posteriormente, transferiu-se a dispersão para a proveta, adicionou-se água destilada até a correspondência de 1.000cm³ e agitou-se frequentemente, com a bagueta, para manter as partículas em suspensão, até que a dispersão atingisse a temperatura de equilíbrio.

Então, executaram-se movimentos energéticos de rotação por 1 min. Logo após a agitação, executou-se a leitura do densímetro (na dispersão) referentes aos tempos de sedimentação (t) de 0,5; 1 e 2 min (anotada a hora exata do início da sedimentação). Ademais, fez-se as leituras subsequentes a 4, 8, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 8 e 24 h.

3.6 . Ensaio de compactação do solo proctor normal

Para a realização deste ensaio utilizou-se 20% da amostra de solo coletado adicionado ao RCD para obter a correlação entre a umidade e o peso específico seco da mistura, quando compactado por intermédio da aplicação energia de impacto sob a amostra. Os equipamentos necessários para a realização dos ensaios foram: Almofariz e mão de grau; Peneira de 4,8 mm; balança com capacidade de 20kg; Extrator de amostras; Cápsulas para determinação de umidade; Estufa; Molde cilíndrico de 1000cm³ com base e colarinho; Soquete cilíndrico conforme figura 8.

Figura 8: Instrumento do ensaio Proctor.



Fonte: PUC-Rio.

No preparo do material, tomou-se a mistura seca ao ar e fez-se o destorroamento com almofariz e mão de grau. Em seguida passou-se o material na peneira 4,8mm e determinou-se a umidade higroscópica. Deu-se início ao processo adicionando água à amostra até que se verificasse homogeneização da mesma. Compactou-se a mistura no molde cilíndrico em 3 camadas iguais, sendo aplicados 26 golpes, em cada camada, distribuídos uniformemente com o soquete caindo de 0,305m como ilustra a figura 9.

Figura 9: Proctor Normal

Fonte: LabGeo/UFSCar.

Posteriormente, retirou-se o colarinho e a base, aplainou-se a superfície do material à altura do molde e pesou-se o cilindro com o solo úmido compactado. Feito isso, removeu-se a amostra do molde com o auxílio do extrator, partiu-o ao meio e coletou-se uma pequena quantidade para a determinação da umidade. Em seguida, desmanchou-se o material compactado passando novamente pela peneira de 4,8mm, juntando-o ao restante da amostra inicial. Novamente adicionou-se água à amostra homogeneizando-a e repetindo o processo por mais quatro vezes.

3.7 Ensaio de índice de suporte Califórnia (CBR)

A realização deste ensaio, o qual obteve assistência de uma empresa particular, necessitou dos seguintes materiais: Molde cilíndrico grande com base e colarinho; Prato-base perfurado; disco espaçador; Prato perfurado com haste central ajustável; soquete de 4,5kg; Extensômetro mecânico; Papel-filtro; prensa com anel dinamômetro ou com célula de carga elétrica; tanque de imersão; cápsulas para umidade; estufa; balança e peneira 19 mm.

A preparação do material iniciou com a secagem da amostra ao ar seguido pelo processo de destorroamento e peneiramento na peneira 19 mm, e finalizado com o quarteamento para obtenção de 7000g a umidade higroscópica. Adicionou-se água até que atingisse a umidade ótima do ensaio.

3.8 Processo de expansão

Colocou-se o disco espaçador no cilindro e cobrindo-o com papel filtro para compactação do corpo de prova à umidade ótima (05 camadas e 55 golpes do soquete caindo a 45 cm). Inverteu-se o cilindro, substituindo o disco espaçador, bem como o papel-filtro, pelo prato perfurado com haste de expansão e pesos, correspondentes ao pavimento. Logo após, imergiu-se o cilindro com o corpo de prova e sobrecarga no tanque, de tal forma que a água banhasse o material por completo (figura 13). Nesse ínterim realizou-se a leitura de expansão com aproximação de 0,01mm a cada 24h. Após 96h, retirou-se o cilindro do tanque, escorrendo a água do corpo por aproximadamente 15 min, e pesou-o (cilindro + solo úmido).

Figura 10: Processo de expansão (CBR)**FONTE: LABGEO/UFSCAR.**

3.9 Processo de penetração

Para essa fase, primeiramente instalou-se o conjunto, molde cilíndrico com corpo de prova e sobrecarga, na prensa. Em seguida assentou-se o pistão da prensa na superfície da amostra, zerando os extensômetros, e aplicando o carregamento com velocidade de 1,27mm/min (figura 14) em um período de 6 minutos, anotando a carga e a penetração a cada 30 s.

Figura 2: Ensaio CBR.**FONTE: VIATÉCNICA, 2018.**

4. RESULTADOS

Os resultados destes ensaios estão apresentados em forma de tabelas e gráficos que demonstram através dos resultados as características básicas, do solo coletado, demonstra a capacidade de carga do RCD misturado ao solo, alvo desta pesquisa correspondentes os limites de liquidez e plasticidade, perfil de grão de maior concentração, o grau de compactação e o índice de suporte Califórnia.

4.1. Liquidez

Os resultados de teor de umidade e número de golpes estão dispostos na tabela 1 abaixo, o qual serviu de base para a construção das coordenadas (em forma escalada logarítmica) representando os

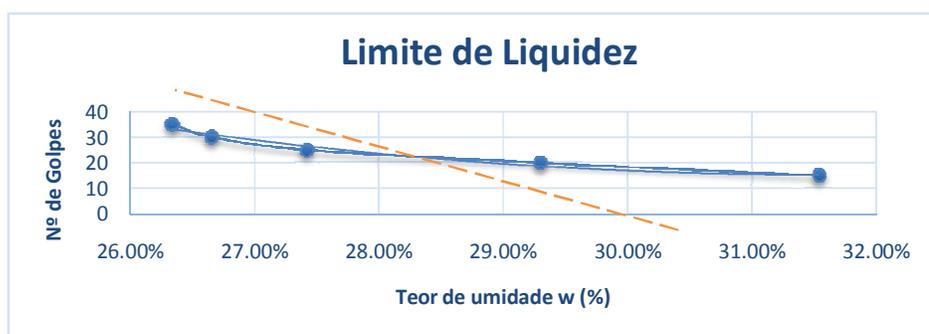
números de golpes e as abscissas (em escala aritmética) são os teores de umidade correspondentes (Gráfico 1) apresentando como resultado 28,25% o limite de liquidez do solo.

TABELA 1: DADOS DO ENSAIO LIMITE DE LIQUIDEZ

LIMITE DE LIQUIDEZ							
Nº CAP	TARA CAP	T+Mss+Mw	T+Mss	Mw	Mss	LL(%)	GOLPES
51	21,67	46,28	41,15	5,13	19,48	26,33%	35
52	21,49	40,26	36,31	3,95	14,82	26,65%	30
56	22,87	42,76	38,48	4,28	15,61	27,42%	25
54	22,27	38,6	34,9	3,70	12,63	29,30%	20
64	21,57	35,92	32,48	3,44	10,91	31,53%	15

Fonte: Próprio autor, 2018.

GRÁFICO 1: RESULTADO LIMITE DE LIQUIDEZ.



Fonte: Próprio autor, 2018.

4.2. Plasticidade

Dados os teores de umidade obtidos por cada amostra, pôde-se calcular o limite de plasticidade, expresso pela média dos teores, resultado este de valor 19,42 (Tabela 2 e Gráfico 2). Ademais, encontrou-se o índice de plasticidade, com valor de 8,83, por meio da diferença numérica do limite de liquidez e de plasticidade.

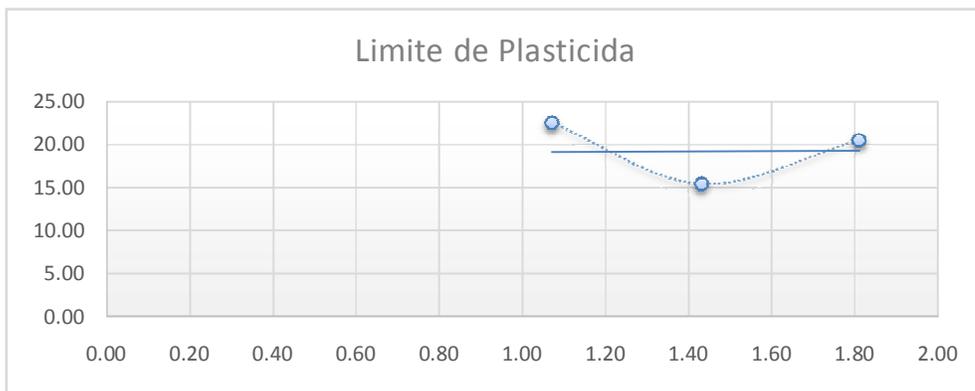
TABELA 2: DADOS DO ENSAIO LIMITE DE PLASTICIDADE

LIMITE DE PLASTICIDADE

Nº da Cápsula	572	586	681
Tara Cápsula	7,69	7,8	7,57
T+Mw	9	9,45	9,75
T+Mss	8,76	9,23	9,38
Mw	0,24	0,22	0,37
Mss	1,07	1,43	1,81
W(%)	22,43	15,38	20,44
Média	19,42		

Fonte: Próprio autor, 2018.

Gráfico 2: Limite de Plasticidade.

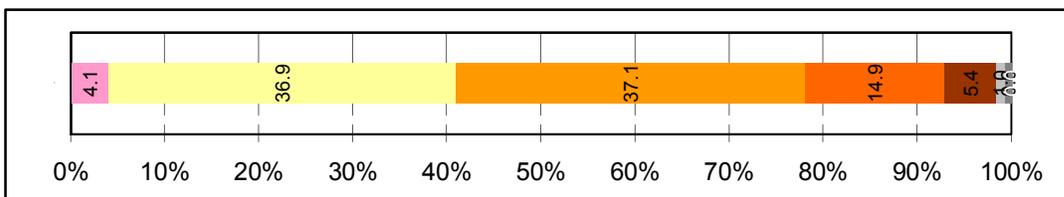


FORNE PRÓPRIO AUTOR, 2018.

4.3. Granulometria

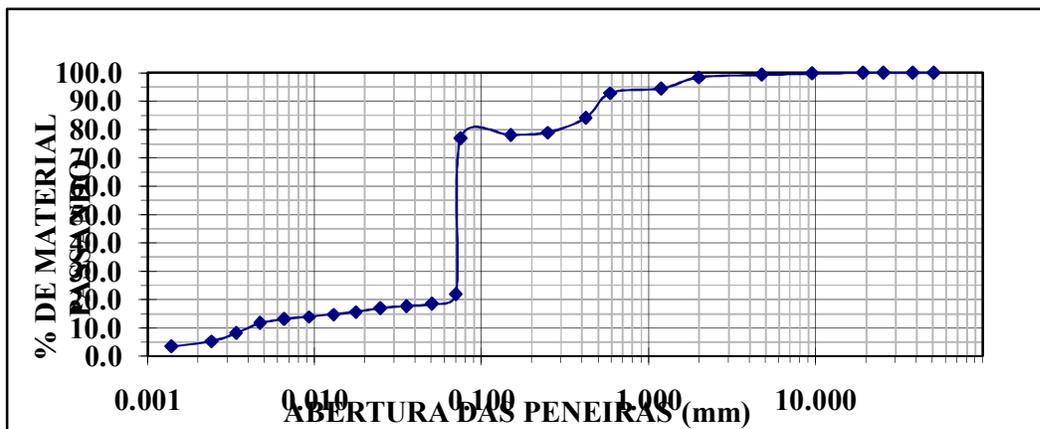
Os resultados do ensaio apontam que 1,6% da amostra representa pedregulho médio e fino, 57,47% representam areia, 36,85% refere-se asilte e 4% argila. Esses dados caracterizam então o solo em estudo como Areia Silto-argiloso como mostra a curva de distribuição granulométrica (Gráfico 3), marcando-se no eixo das abscissas, em escala logarítmica, os “diâmetros” das partículas no eixo das ordenadas, em escala natural, os percentuais das partículas menores do que os diâmetros considerados, isto é, os percentuais de solo que passam nas peneiras.

Gráfico 3: Distribuição de porcentagem granulométrica.



FORNE: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Gráfico 4: Abertura de peneiras em mm.



FORNE: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

4.4. Compactação

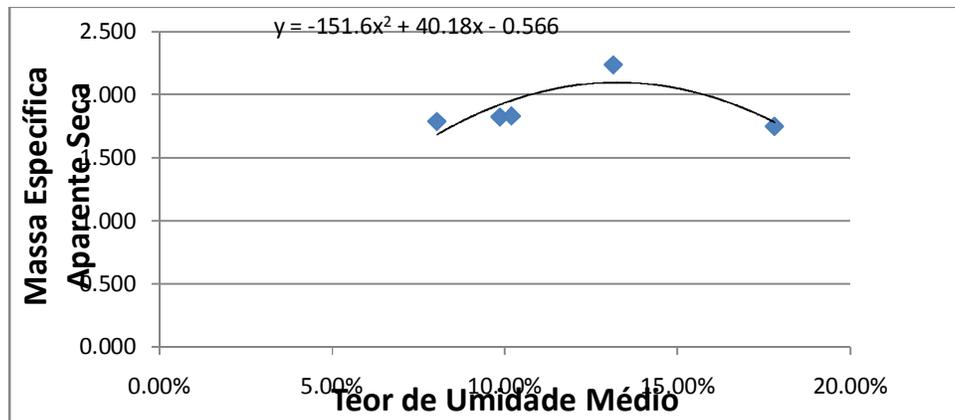
Com o ensaio de Compactação Proctor Normal foi possível identificar que a umidade ótima (w(%)) representa 13,14% da amostra coletada e sua Massa Específica Úmida Ótima(yd) constitui 2,237g/cm³ (Tabela 3). A curva resultante possui formato aproximado de uma parábola como mostra a Gráfico 5.

TABELA 3 MEDIDAS DE COMPACTAÇÃO

Curva de Compactação						
Teor de Umidade Médio	%	8,04%	9,86%	10,20%	13,14%	17,81%
Massa Específica Aparente Seca	g/cm ³	1,789	1,824	1,833	2,237	1,750
Umidade Ótima	%	13,14%				
Massa Específica Umidade Ótima	g/cm ³	2,237				

Fonte: Próprio autor, 2018.

GRÁFICO 5-CURVA DE COMPACTAÇÃO.



Fonte: Próprio autor, 2018.

4.5. Índice de suporte Califórnia (CBR)

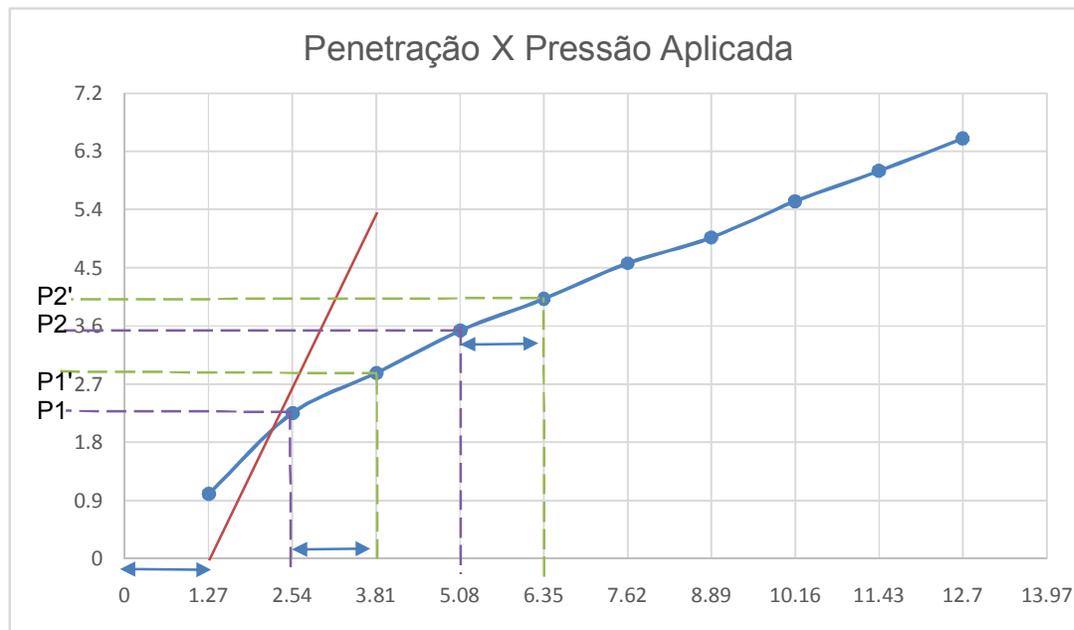
Durante o ensaio de expansão fez-se a leitura do extensômetro a cada 24 horas até completar 96 horas, o qual está representado na Tabela 4. Tal leitura possibilitou encontrar Expansão de 0,94%. No processo de penetração, anotou-se a força de penetração a cada 0,5 minutos até atingir 12,7mm, dados esses, que foram essenciais para o cálculo da Carga Aplicada e Força Aplicada.

Em seguida determinou-se a correção dos valores (Gráfico 3) para obtenção da pressão corrigida e então, poder encontrar o ISC, a partir da pressão padrão disposto pela NBR 9895 (ABNT, 1987), de 40,58%, (Tabela 5), o qual segundo os critérios de classificação do *HighwayResearch Bureau* é considerado Bom e pode ser usado como base e sub-base.

TABELA 4: LEITURA DE EXTENSÔMENTRO.

Extensão a cada 24 horas	
TEMPO (h)	EXPANSÃO (mm)
0	0
24	0,305
48	0,39
72	0,415
96	0,424

Fonte: Próprio autor, 2018.

Gráfico 4: Penetração x Pressão Aplicada.

FONTE: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Tabela 5: Dados Ensaio CBR penetração.

PENETRAÇÃO (mm)	LEITURA NO ANEL (micrometro)	CARGA (Newton)	PRESSÃO APLICADA (MPa)	PRESSÃO CORRIGIDA (MPa)	PRESSÃO PADRÃO	CBR ou ISC (%)
1,27	85	1.926,19	0,995			
2,54	192	4.350,91	2,248	2,8	6,9	40,58%
3,81	245	5.551,95	2,869			
5,08	301	6.820,96	3,524	3,9	10,35	37,68%
6,35	343	7.772,72	4,016			
7,62	390	8.837,79	4,567			
8,89	424	9.608,26	4,965			
10,16	472	10.695,99	5,527			
11,43	512	11.602,43	5,995			
12,7	555	12.576,86	6,499			

Fonte: Próprio autor, 2018.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Umidade Ótima da mistura equivalente a 13,14%, identifica um material considerado Bom, sem aumento significativo na expansão pois o composto (RCD adicionado de areia siltosa) apresenta características semelhantes. Características estas já confirmadas em estudos anteriores, os quais afirmam que os RCDs, brancos e vermelhos, por serem materiais bastante granulares, sabe-se que os mesmos contribuem na perda pequena de suporte quando saturados, por apresentarem características não expansivas.

A adição de 20% de solo ao RCD diminuiu o índice de vazios do mesmo, aumentando o valor do CBR, além de sofrer melhor compactação pela concentração de finos. Por esse motivo, os resultados obtidos nesta pesquisa foram promissores, o que já se esperava, apresentando CBR de 40,58% e expansividade 0,94%, podendo, este, ser usado em cada de reforço e sub-base de pavimentação por atingir porcentagens superiores à norma que exige valor maior ou igual a 20% para ISC e menor ou igual a 1% para taxa de expansividade, substituindo as matérias convencionais. (DNER, 2010)

6. CONCLUSÃO

Dados os resultados e as discussões, é evidente que quando o RCD misturados aos solos arenosilto-argilosos, torna-se possível sua utilização em obras de pavimentação em sub-bases e reforço de sub-leitos, caracterizando então a reciclagem de resíduos de construção possível.

A preocupação com a reciclagem de resíduos de maneira geral é relativamente recente no Brasil. Em 2002 o CONAMA publicou a Resolução (Anexo A) que obriga os geradores a serem os responsáveis pelo resíduo produzido e que prescreve a necessidade de reutilização ou reciclagem do material. Isso significa que os resíduos surgidos em obras públicas e seu recolhimento é de responsabilidade das prefeituras.

Porém, mesmo que as formas de reciclagem dos resíduos de construção civil venham sendo evoluídas, não se pode afirmar com absoluta convicção, que a reciclagem tenha se tornado uma ideia amplamente difundida, uma vez que os estudos de Nebel da Costa (2007) apontam que do total das 64 cidades pesquisadas, 52 ainda não tinham programas de reciclagem de RCD, incluindo a cidade de Manaus (e ainda não tem).

Por este motivo sugere-se a criação de programas de reciclagem de RCD, já que do ponto de vista financeiro, o sistema é interessante para as Prefeituras porque permite a redução global dos custos, além dos ganhos ambientais associados como:

- Redução dos custos de implantação.
- Menores custos de pavimentação e infraestrutura urbana;
- Menores custos de operação de aterros sanitários, por exclusão dos entulhos recicláveis, o que propiciaria um aumento da vida útil dos aterros em funcionamento;e
- Inibe as deposições clandestinas ao longo das vias públicas, melhorando o aspecto visual da cidade e inibindo gastos adicionais para a remoção dos mesmos.

Nebel da Costa (2007) afirma ainda que as cidades (alvo da pesquisa) mais propensas à reciclagem apresentam melhores desempenhos nos índices de gestão municipal, saneamento básico e educação, ou seja, as cidades que apresentam condições precárias teriam dificuldades de instalar tais programas, tendo que haver primeiramente evolução nos aspectos sociais, econômicos, político-legais e técnico-gestão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- _____. **NBR 6459:** Solo – Determinação do limite de liquidez. Outubro, 1986.
- _____. **NBR 7180:** Solo – Determinação do limite de plasticidade. Outubro, 1984.
- _____. **NBR 7181:** Solo – Análise granulométrica. Dezembro, 1984
- _____. **NBR 7182:** Solo – Ensaio de compactação. Agosto, 1986.
- _____. **NBR 9895:** Solo – Índice de Suporte Califórnia. Junho, 1987.
- ABNT - **Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6457:** Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Março, 2016.
- AMBIENTAL, 4., São José dos Campos, 1999. Anais. São Paulo: ABMS, 1999. p.259-265.
- AMORIM, E. F. **Viabilidade técnica econômica de misturas de solo-RCD em camadas de base de pavimentos urbanos: estudo de caso: Município de Campo Verde - MT.** 2013. 151f. Tese de Doutorado em Geotecnia. Universidade de Brasília - UnB, Brasília.
- ÂNGULO, S. C; ZORDAN, S. E; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20IV_CT206_2001.pdf> Acesso em: 23 mar 2016.
- BALZAN, D. et al. **Utilização de Agregados Reciclados de Obras de Construção Civil em Pavimentos Urbanos - Especificação e Obras no Município de São Paulo.** In: Anais da 12ª Reunião Anual de Pavimentação. Aracaju (SE): 2003. CD-ROM.
- BODI, J.; BRITO FILHO, J. A; ALMEIDA, S **Utilização de Entulho de Construção Civil Reciclado na Pavimentação Urbana.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29., Cuiabá, 1995. Anais. Rio de Janeiro: ABPv, 1995. p.409-436.
- BRITO FILHO, J. A. **Cidades versus entulhos.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, 1999. p.56-67.
- CARNEIRO, A. P., BURGOS, P. C., ALBERTE, E. P. V. **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos.** Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA / Caixa Econômica Federal, 2001. p.190-227.
- CHRUSCIAK, M. R. **Análise da melhoria de solos utilizando fragmentos de borracha.** 2012. 91f. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Universidade de Brasília - UnB, Brasília.
- COSTA, J.S. **Agregados alternativos para argamassa e concreto produzidos a partir da reciclagem de rejeitos virgens da indústria de cerâmica tradicional.** 2006. 264f. Tese de doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – UFSCar, São Carlos.
- COSTA, Nébel da et al . **Planejamento de programas de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: uma análise multivariada.** Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v.12, n.4, p.446-456, Dez, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522007000400012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 Nov. 2016.
- HANSEN, T. C. **Recycling Of Demolished Concrete And Mansory.** 2.ed. Oxford: Taylor and Frances, 2002.
- JOHN, V.M; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduo da construção.** São Paulo, 2000.13p

- LABGEOUFSCAR. **Ensaaios realizados – limite de consistência.** <Disponível em: - <http://www.labgeo.ufscar.br/ensaaios.php?item=3+>> Acesso em: 26 de março de 2016.
- LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** 2001. 194p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.
- LIMA, J. A. R. **Proposição de Diretrizes para Produção e Normalização de Resíduos de Construção Reciclado e Suas Aplicações em Argamassas e Concretos.** 1999. 240f. Dissertação de Mestrado em Tecnologia do Ambiente Construído. Universidade de São Paulo - USP, São Carlos.
- MOTTA, L. M. G.; FERNANDES, C. **Utilização de resíduo sólido da construção civil em pavimentação urbana.** In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 12., Aracaju, 2003. Anais. Rio de Janeiro: ABPv, 2003.
- MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimento de baixo volume de tráfego.** Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.
- REZENDE, L.R. **Estudo do Comportamento de Materiais Alternativos Utilizados em Estruturas de Pavimentos Flexíveis.** 2003. 372p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília - UnB, Brasília.
- SILVA FILHO, C. R. V. **Gestão de Resíduos Sólidos no Brasil: Situação e Perspectivas. Audiência Pública.** Apresentação. ABRELPE. São Paulo - SP. 2010. 25p.
- TRICHÊS, G; KRYCKYJ, P. R. **Aproveitamento de entulho da construção civil na pavimentação urbana.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA
- WEINBERG, M., BETTI, R. **7 Bilhões de Oportunidades.** Reportagem. Revista Veja - Ed. 2241 - Ano 44 - nº 44. Editora Abril. São Paulo – SP, 2011. p.122-132.