

## **APROVEITAMENTO DO RCD COMO BASE E SUB-BASE EM PAVIMENTAÇÕES COM BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO NO MUNICÍPIO DE PORTO NACIONAL.**

**Resumo:** Os resíduos de construção e demolição (RCD) são gerados em altas quantidades nas grandes cidades mais também em municípios pequenos em todo território brasileiro e são comumente descartados de forma irregular. Para os milhares de quilômetros de vias urbanas não pavimentadas, o agregado de resíduo sólido da construção civil é uma alternativa aos materiais convencionais de pavimentação. Este trabalho buscou analisar o comportamento mecânico do agregado reciclado para emprego em camadas de base e sub-base. A pesquisa consiste em ensaios laboratoriais no instituto de ensino ITPAC-PORTO. O presente estudo avaliou resíduos de tipo misto onde encontra-se juntos concreto, argamassa e blocos cerâmicos. O agregado utilizado teve, em sua fração miúda e graúda, percentuais fixados em 4%, 5%, 6% e 7% de substituição. De acordo com os ensaios realizados verificamos que é possível a substituição de agregados convencionais por agregados reciclados.

**Palavras-chave:** Resíduos de construção e demolição. Agregado reciclado. Reutilização.

### **RCD USE AS A BASIS AND SUBBASE IN LOW-TRAFFIC PAVEMENTS IN THE PORTO NACIONAL OF MUNICIPALITY.**

**ABSTRACT:** Construction and demolition waste (RCD) is generated in large quantities in large cities but also in small municipalities throughout Brazil and is commonly disposed of irregularly. For the thousands of kilometers of unpaved urban roads, solid construction waste aggregate is an alternative to conventional paving materials. This work aimed to analyze the mechanical behavior of recycled aggregate for use in base and sub-base layers. The research consists of laboratory tests at the ITPAC-PORTO educational institute. The present study evaluated mixed type residues where concrete, mortar and ceramic blocks are together. The aggregate used had, in its small and large fraction, percentages set at 4%, 5%, 6% and 7% replacement. According to the tests performed we found that it is possible to replace conventional aggregates with recycled aggregates.

**Key words:** Construction and demolition waste. Recycled aggregate. Reuse.

## **1. INTRODUÇÃO.**

A construção civil é de grande importância para humanidade e a muitos anos vem nos proporcionando conforto e mobilidade. Em razão do constante aumento populacional, a exploração de recursos naturais para realização de novas construções foi intensificada. Com isso, a construção civil tem impactado o meio ambiente de forma negativa por conta da exploração de matérias-primas, levando à geração de grande quantidade de resíduos sólidos e a sua destinação em locais sem qualquer tratamento ou separação.

A reciclagem dos resíduos gerados pela indústria da construção civil vem sendo cada vez mais importante para o desenvolvimento sustentável do setor, tanto em função das questões ambientais como econômicas. O seu reaproveitamento está diretamente relacionado a dos impactos ambientais ocasionados pelo descarte inadequado e, também a minimização do consumo das matérias-primas de origem natural.

Ainda existem obstáculos em se trabalhar com o reaproveitamento e reciclagem por conta da falta de conhecimento aprofundado sobre o tema e por vezes desacreditarem que essa prática seja útil. É possível, com a prática de reciclagem, reutilizar os resíduos gerados pelas construções e demolições, evitando a extração desenfreada de matérias-primas finitas da natureza.

Com a crescente produção de RCD, existe a necessidade de desenvolvimento de novos métodos e estudos de reaproveitamento. O uso de agregados reciclados tem sido um tema de grande importância para seu reaproveitamento em base e sub-bases de pavimentações para uma redução no impacto ambiental que a construção trás.

Em razão disso, o CONAMA formulou a Resolução 307/02 que determina parâmetros e processos para uma melhor administração dos resíduos da construção civil, tanto em atividades de reformas, reparos e demolições de estruturas e rodovias, como na determinação da sua destinação final.

Deste modo, o presente trabalho investigou o comportamento dos agregados reaproveitados e suas características, quando parte dos agregados graúdos ou miúdos são substituídos por diferentes porcentagens de Resíduos da Construção e Demolição (RCD), verificando a possibilidade da substituição por agregados provenientes dos resíduos na utilização em base e sub-base de pavimentações.

## **2. REVISÃO TEORICA.**

### **2.1. REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

Segundo Pinto (1999) o profundo desconhecimento dos volumes gerados, dos impactos que eles causam, dos custos sociais envolvidos e, inclusive, das possibilidades de seu reaproveitamento fazem com que os gestores dos resíduos se apercebam da gravidade da situação unicamente nos momentos em que, acuados, vêem a ineficácia de suas ações corretivas.

De acordo com Ribeiro, Moura e Pirote (2016) se toda a sociedade estivesse ciente do quão importante é o descarte adequado dos resíduos, não haveria problemas de saúde da população, tampouco impactos ambientais.

É importante buscar um fim adequado a todo tipo de resíduo gerado na construção e demolição. Alguns resíduos podem ser utilizados na produção de novos produtos, contudo, são descartados, muitas vezes em locais indevidos, sendo desperdiçada, assim, uma excelente oportunidade de reciclagem e reutilização (CARVALHO; CAMARGO, 2017).

### **2.2. PAVIMENTAÇÃO.**

Para Huang (2007), muitos dos materiais usados na pavimentação não apresentam comportamento elástico, pois sofrem deformações plásticas em cada aplicação de carga, por menores que sejam. Contudo, se a carga aplicada for pequena em relação à resistência do material e for repetida inúmeras vezes, a deformação em cada carregamento é quase inteiramente recuperável e proporcional à carga e pode ser considerada elástica.

A norma empregada neste trabalho é a NBR 15115 (ABNT, 2004), que especifica como devem ser executados pavimentos que empregam o agregado reciclado. O ensaio de índice de suporte Califórnia é o principal critério de avaliação para emprego dos agregados reciclados em camadas de base, sub-base e reforço do subleito.

### **2.3. PAVIMENTAÇÃO COM AGREGADOS RECICLADOS.**

No Brasil, a reciclagem da fração mineral do RCD é mais utilizada em pavimentações e como material de enchimento para aterros. O emprego em produto à base de cimento, como o concreto e argamassa, é menor. Na pavimentação os agregados de RCD podem ser empregados nas camadas de base, sub-base, reforço do subleito e no cascalhamento de vias, substituindo os agregados convencionais. O material convencional é responsável por grandes impactos ambientais, consumido cerca de 30% do mercado brasileiro de pedra britada (LEITE, 2007).

O uso do agregado reciclado em pavimentação é uma alternativa muito interessante para substituir materiais naturais, não-renováveis, principalmente para os milhares de quilômetros de vias brasileiras ainda não pavimentadas. Segundo dados do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNIT) do ano de 2005, cerca de 88% da malha rodoviária nacional não é pavimentada, perfazendo 1.414.000km. Deste montante 1.282.000km pertencem à rede municipal (COPPEAD, 2007).

Em Goiânia foi construída uma pista experimental, no final de 2003, utilizando na camada de base e sub-base uma mistura de agregados reciclados de RCD com solo local argiloso

de comportamento laterítico, realizada através de uma parceria entre a Prefeitura Municipal de Goiânia, empresas da região, Universidade Federal de Goiás e a de Brasília (OLIVEIRA, 2007).

### **3. METODOLOGIA.**

#### **3.1. MATERIAIS UTILIZADOS.**

Para desenvolvimento deste trabalho, foram recolhidas amostras de resíduos de construção e demolição em obras na cidade de Porto Nacional – TO, e encaminhadas para o laboratório do ITPAC-Porto para analisá-las se suas características serão aptas para utilização no projeto.

As amostras foram separadas, classificadas e, então, encaminhadas para a moagem, sendo transformadas em agregados miúdos e graúdos, de acordo com parâmetros obtidos através de ensaios laboratoriais de caracterização para definir diâmetro máximo, granulometria e módulo de finura.

##### **3.1.1. Solo.**

O solo utilizado foi coletado no município de Porto Nacional, no setor Praia Bela próximo ao portal de entrada da cidade no estado do Tocantins (Figura 2) e encaminhado para o laboratório de Pavimentação do ITPAC PORTO, sendo posteriormente feito a secagem previa, destorroamento e o armazenamento para em seguida ser estudado.

##### **3.1.2. Métodos.**

A camada de reforço do subleito, sub-base e base de agregado reciclado deve ser executada com materiais que atendam aos seguintes requisitos segundo a ABNT NBR 15115.

- deve ser evitada a presença de madeiras, vidros, plásticos, gessos, forros, tubulações, fiações elétricas e papéis ou quaisquer materiais orgânicos ou não inertes, classificados como classe “B”, “C” e “D” pela Resolução CONAMA nº 307;
- o agregado reciclado deve apresentar curva granulométrica, obtida por meio do ensaio da ABNT NBR 7181, bem graduada, não uniforme, com coeficiente de uniformidade  $C_u \geq 10$  ( $C_u = D_{60} / D_{10}$ );
- a porcentagem que passa na peneira 0,42 mm (nº 40) deve ficar entre 10% e 40%;

os agregados reciclados devem ser classificados quanto ao tipo de emprego possível na execução de camadas de pavimentos, segundo parâmetros de Índice de Suporte Califórnia (CBR), obtidos por meio do ensaio da ABNT NBR 9895, conforme abaixo discriminado:

- material para execução de reforço de subleito:  $CBR \geq 12\%$ , expansão  $\leq 1,0\%$  (energia de compactação normal, conforme ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457);

- material para execução de sub-base: CBR  $\geq$  20%, expansão  $\leq$  1,0% (energia de compactação intermediária, conforme ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457);
- material para execução de base de pavimento: CBR  $\geq$  60%, expansão  $\leq$  0,5% (energia de compactação intermediária, conforme ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457); é permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com  $N \leq 106$  repetições do eixo-padrão de 80 kN no período de projeto;

No caso de materiais que não atendam às exigências da alínea anterior, estes podem ser estabilizados granulometricamente, conforme a ABNT NBR 11804, ou com adição de cimento ou cal hidratada, e neste caso ser submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, após 7 dias de cura, devendo apresentar resistência de no mínimo 2,1 MPa, em corpos-de-prova moldados na energia de compactação especificada.

- A porcentagem máxima admissível, em massa, para grãos de forma lamelar, obtida conforme a ABNT NBR 7809, é de 30%;
- dimensão característica máxima dos grãos: 63,5 mm (tolerância de 5% da porcentagem retida, em massa, na peneira de 63,5 mm), limitada a 2/3 da espessura da camada compactada;
- materiais indesejáveis de grupos distintos: máximo de 3% em massa;
- materiais indesejáveis de mesmo grupo: máximo de 2% em massa;
- não são permitidos materiais nocivos ao meio ambiente ou à saúde do trabalhador.

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.

#### 3.2.1. Granulometria.

Segundo a NBR 7217 (1987) para o ensaio de granulometria é preciso secar as amostras de ensaio em estufa, esfriar a temperatura ambiente e determinar suas massas. Próximo passo é encaixar as peneiras, apresentadas na Fig. 4, previamente limpas, colocar as amostras ou porções dela sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de camada espessa de material.

Considerar o teor de materiais pulverulentos no cálculo da composição granulométrica. Promover a agitação mecânica do conjunto por um minuto de agitação contínua e permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grãos de amostra, e a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retirado.

A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, remover o material retido na peneira para uma bandeja identificada. Escovar a tela em ambos

os lados para limpar a peneira. Proceder à verificação da próxima peneira, conforme depois de acrescentar o material passante na peneira superior, até que todas as peneiras do conjunto tenham sido verificadas.

Determinar a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. O somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3% da massa seca da amostra.

Para cada uma das amostras de ensaio, calcular a porcentagem retida, em massa, em cada peneira, com aproximação de 0,1%. Determinar o módulo de finura, com aproximação de 0,01. O ensaio deve consignar a porcentagem média retida em cada peneira, a porcentagem média retida acumulada em cada peneira, a dimensão máxima característica e módulo de finura, a classificação do agregado.

### **3.2.2. Massa unitária.**

Segundo a NBR 45 (2006), o ensaio de massa unitária inicia pela secagem de uma amostra de volume 150% maior que o recipiente de ensaio. Em seguida, após a determinação da massa do recipiente vazio (em Kg), o mesmo é cheio com o material seco, em três camadas de 1/3 da sua altura e, em cada camada, são aplicados 25 golpes com a haste, distribuídos uniformemente.

Na primeira camada, evitar atingir o fundo do recipiente e nas demais, evitar atingir a camada inferior. Nivelar a superfície com a régua metálica, e determinar a massa do conjunto recipiente e agregado, em kg.

### **3.2.3. Massa específica.**

Segundo a NBR 52 (2003) para o ensaio de massa específica deve-se primeiramente pesar (500,0 ± 0,1) g de amostra, colocar no frasco e registrar a massa do conjunto. Encher o frasco com água até próxima da marca de 500 ml. Movê-lo de forma a eliminar as bolhas de ar e depois colocá-lo em um banho mantido a temperatura constante de (21 ± 2) °C. Após 1 h, aproximadamente, completar com água até a marca de 500 cm<sup>3</sup> e determinar a massa total com precisão de 0,1 g. Retirar o agregado miúdo do frasco e secá-lo. Esfriar à temperatura ambiente em dessecador e pesar com precisão de 0,1 g.

### **3.2.4. Impurezas orgânicas.**

Para o ensaio de impurezas é preciso coletar a amostra de campo para poder separar cerca de 200 g do material, sempre que possível utilizar um material úmido. Preparar as soluções com quantidades suficientes para os ensaios, em locais protegidos a luz solar. Unir o agregado com a solução e deixar em repouso durante (24 ± 2) horas em um ambiente escuro, ao fim

desse período, filtrar a solução e avaliar a qualidade de matéria orgânica comparando a cor da solução, e comparar com a cor padrão, anotar qual cor mais escura.

### **3.2.5. Absorção.**

A determinação da absorção do agregado reciclado de Porto Nacional que será analisada em laboratório baseado na NBR 6458 (ABNT, 2016). Analisando separadamente a absorção de cada material constituinte, utilizando-se as mesmas amostras do ensaio de massa específica dos grãos retidos na peneira 4,8mm.

### **3.3. MATERIAIS INDESEJAVEIS.**

A porcentagem destes materiais indesejáveis deve ser investigada para a utilização do agregado reciclado em pavimentação. De acordo com a NBR 15115 (ABNT, 2004) e com a PMSP/SP ETS-001 (2003), a porcentagem máxima aceita de materiais indesejáveis de grupos distintos é de 3%, e de mesma característica, limita-se em até 2% em massa.

Para verificar se o agregado reciclado de Porto Nacional que vai ser levado ao laboratório, atenda a esta recomendação da norma, seleciona-se uma amostra acondicionada em saco plástico, com aproximadamente 11kg. Esta amostra foi separada na peneira 4,8mm e o material retido foi analisado visualmente, retirando-se por catação os indesejáveis encontrados.

O resultado obtido é apresentado em porcentagem de materiais indesejáveis em relação à massa total da amostra, ou seja, considerando-se também a parcela fina. Foi analisada também a natureza dos materiais indesejáveis que compõe o agregado reciclado estudado em laboratório.

#### **3.3.1. Grãos retidos na peneira 4,8MM.**

Para a determinação da massa específica dos grãos retidos na peneira 4,8mm baseou-se na NBR 6458 (ABNT, 1984). Esta norma prescreve o método de ensaio para grãos de pedregulhos.

O ensaio foi preparado selecionando-se duas amostras de agregado reciclado acondicionadas em saco plástico. O material retido na peneira 4,8mm foi separado e o passante descartado, obtendo-se cerca de 8kg de agregados na fração graúda. Em seguida, por análise visual e catação, dividiu-se a amostra de acordo com a natureza dos seus materiais (cimentícia, rochosa, cerâmica ou resíduos indesejáveis). Cada grupo de material obtido foi lavado na peneira 4,8mm, de forma que as partículas finais aderidas aos grãos fossem retiradas. Depois da lavagem, colocou-se separadamente cada um dos grupos em imersão em água destilada por 24 horas.

Após determinar a massa específica para cada grupo de material, a massa específica do conjunto foi calculada através de uma média ponderada. Como já havia sido analisada a composição do agregado reciclado estudado, conhecia-se a porcentagem presente de cada grupo. O resultado do ensaio é expresso em  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

### **3.3.2. Forma dos grãos.**

Dependendo do tipo do resíduo de construção e demolição, e dos equipamentos utilizados durante o processo de reciclagem, o agregado reciclado pode apresentar forma mais lamelar e textura mais áspera que os agregados convencionais (LIMA, 1999).

A determinação da forma será feita de acordo com a norma NBR 6954 (ABNT, 1989). Esta norma prescreve o método de determinação da forma para o material lastro-padrão utilizado em via férrea. A análise da forma é feita com um paquímetro, medindo-se comprimento (a), largura (b) e altura (c) de cada grão, classificando o material como cúbico, alongado, lamelar e alongado-lamelar.

### **3.4. ENSAIO DE COMPACTAÇÃO.**

A compactação de um material para ser utilizado como camada constituinte de um pavimento permite aumentar a sua densificação e assim reduzir o índice de vazios. Este processo implica na melhoria de diversas propriedades, como aumento da resistência ao cisalhamento e diminuição da deformabilidade. Além disso, o aumento do contato entre os grãos torna o conjunto mais estável (DNIT, 2006; PINTO, 2000).

O ensaio de compactação pode ser realizado utilizando-se diferentes energias: normal, intermediária e modificada. Quanto maior a energia de compactação empregada, menor será o valor do teor de umidade ótima, e maior será o valor do peso específico aparente seco máximo. A escolha da energia é feita em função do uso que será dado ao material analisado.

Para a realização dos ensaios de módulo de resistência e deformação permanente vamos utilizar corpo-de-prova de 150mm de diâmetro por 300mm de altura. Analisaremos ainda as modificações na granulometria e na forma dos grãos do agregado reciclado após a compactação.

#### **3.4.1. Determinação da umidade ótima e peso específico aparente seco máximo.**

O agregado reciclado analisado em laboratório será submetido ao ensaio de compactação conforme prescreve a NBR 7182 (ABNT, 1986), utilizada normalmente para solos. Como a NBR 15115 (ABNT, 2004) recomendada que para emprego em camadas de base o agregado reciclado seja compactado no mínimo na energia intermediária, realizando ensaios em laboratório de compactação empregando-se a energia intermediária e a energia modificada.

Para a realização de cada ensaio de compactação serão moldados cinco corpos-de-prova, sem reuso do material. A NBR 7182 (ABNT, 1986) indica que a curva de compactação deve ser obtida com cinco pontos, sendo dois no ramo seco, um próximo à umidade ótima e dois no ramo úmido da curva.

### 3.5. ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA.

O Método CBR é muito difundido no meio rodoviário. Através deste índice, expresso em porcentagem, é possível fazer o dimensionamento de pavimentos por métodos empíricos de acordo com a NBR 9895 (ABNT, 2016).

O ISC define o valor da capacidade de suporte de solos e materiais granulares empregados em pavimentação. O seguinte ensaio consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão em um corpo-de-prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração nem material granular padrão de referência (DNIT, 2006).

A NBR 15115 (ABNT, 2004) utiliza o valor do ISC como parâmetro para emprego do agregado reciclado em pavimentações. São fixados valores mínimos de acordo com a função estrutural do material no pavimento como no trabalho onde vamos testa-los em base e sub-base.

O ISC é obtido através de uma curva onde no eixo das abscissas está a penetração e no eixo das ordenadas a respectiva pressão. Caso exista um ponto de inflexão, a curva deve ser corrigida com uma tangente até o eixo das abscissas. O valor de penetração neste ponto deve ser utilizado para a correção das medidas correspondentes às penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas.

Assim, as pressões correspondentes às penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas devem ser expressas em porcentagem em relação às pressões padrões da brita padronizada, apresentadas no método de ensaio. O ISC empregado é o maior valor obtido em porcentagem para estas duas leituras.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

##### 4.1. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTECNICA.

A figura 1 apresenta a curva de distribuição granulométrica do solo puro, sendo este um solo predominantemente argiloso

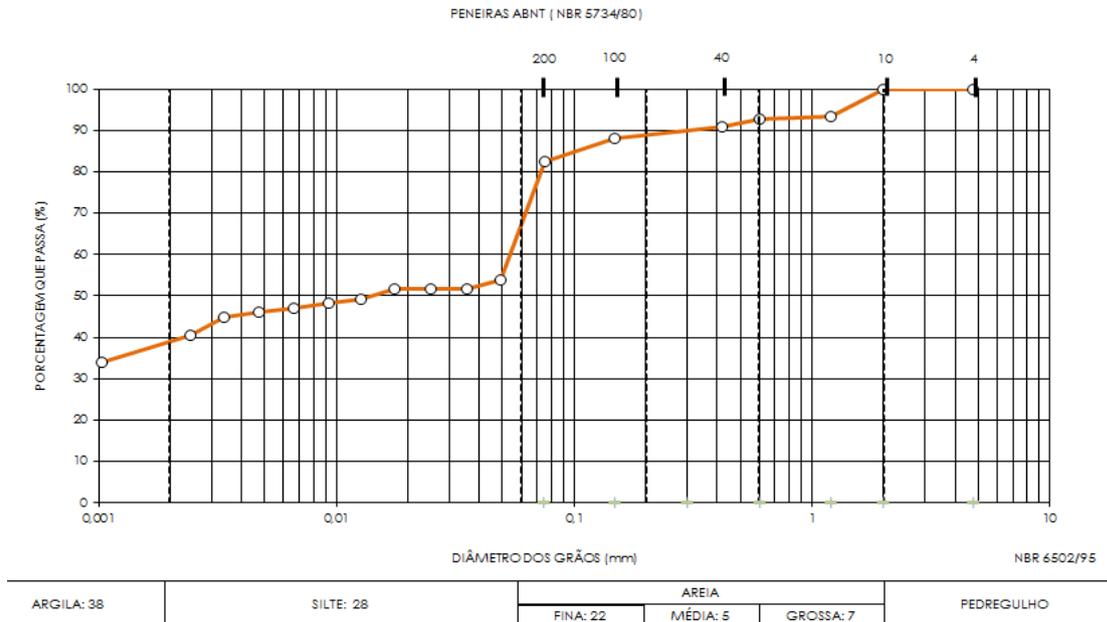


Figura 1 – Curva granulométrica.

Os valores de limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP) para o solo puro estão apresentados no quadro 1, sendo LL = 35, LP = 29 e IP = 6. De acordo com Zordan (1997) confirma que solos predominantemente argilosos são de mais fácil compressão e chega a uma umidade ótima adequada ao presente trabalho estudado, onde o foco é envolver misturas onde não sabemos sua qualificação, com isso o solo se adapta melhor ao resíduo utilizado.

Ensaio	Solo puro
Limite de Liquidez (LL)	35
Limite de Plasticidade (LP)	29
Índice de Plasticidade (IP)	6

Quadro 1 - Índices de Consistência.

De acordo com os resultados obtidos no ensaio de granulometria e limites de consistência foi possível classificar o solo pelos métodos SUCS e HRB, onde os mesmos podem ser identificados na tabela 1. Pelo método SUCS o solo foi classificado como ML ou OL (Silte de baixa compressibilidade ou Solo orgânico de baixa compressibilidade), e pelo HRB foi identificado como A-4 (Areias em que os finos presentes constituem a característica secundária).

SUCS	ML ou OL
HRB	A-4

Tabela 1 – Classificação SUCS E HRB

#### 4.2. CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DA CONTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO.

No caso de materiais que não atendam às exigências da alínea anterior, estes podem ser estabilizados granulometricamente, conforme a ABNT NBR 11804, ou com adição de cimento ou cal hidratada, e neste caso ser submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, após 7 dias de cura, devendo apresentar resistência de no mínimo 2,1 MPa, em corpos-de-prova moldados na energia de compactação especificada.

- A porcentagem máxima admissível, em massa, para grãos de forma lamelar, obtida conforme a ABNT NBR 7809, é de 30%;
- dimensão característica máxima dos grãos: 63,5 mm (tolerância de 5% da porcentagem retida, em massa, na peneira de 63,5 mm), limitada a 2/3 da espessura da camada compactada;
- materiais indesejáveis de grupos distintos: máximo de 3% em massa;
- materiais indesejáveis de mesmo grupo: máximo de 2% em massa;
- não são permitidos materiais nocivos ao meio ambiente ou à saúde do trabalhador.

Leite (2007) afirma que na pavimentação os agregados de RCD podem ser empregados nas camadas de base, sub-base, reforço do subleito e no cascalhamento de vias, substituindo os agregados convencionais. O material convencional é responsável por grandes impactos ambientais, consumido cerca de 30% do mercado brasileiro de pedra britada.

#### 4.3. COMPACTAÇÃO.

No laboratório de solos da FAPAC foi realizado ensaio de compactação visando buscar a umidade ótima do solo com diferentes porcentagens de RCD, buscando analisar o comportamento mecânico do solo com o RCD.

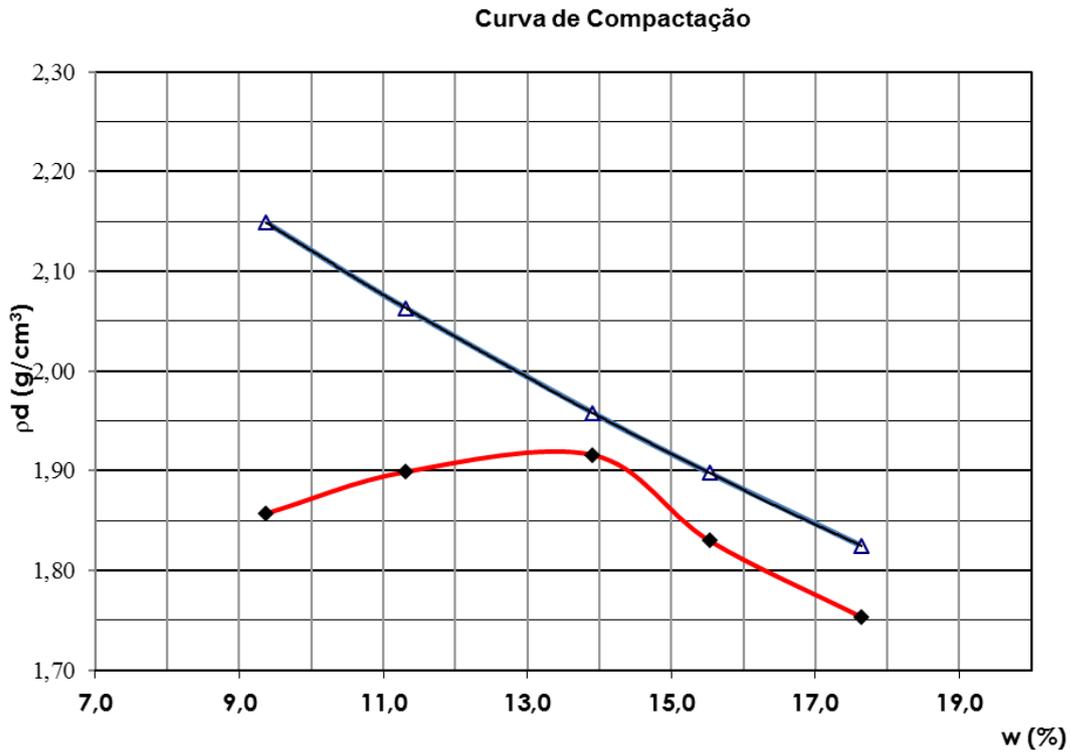


Figura 2 – Curva de compactação para 4% de RCD no solo.

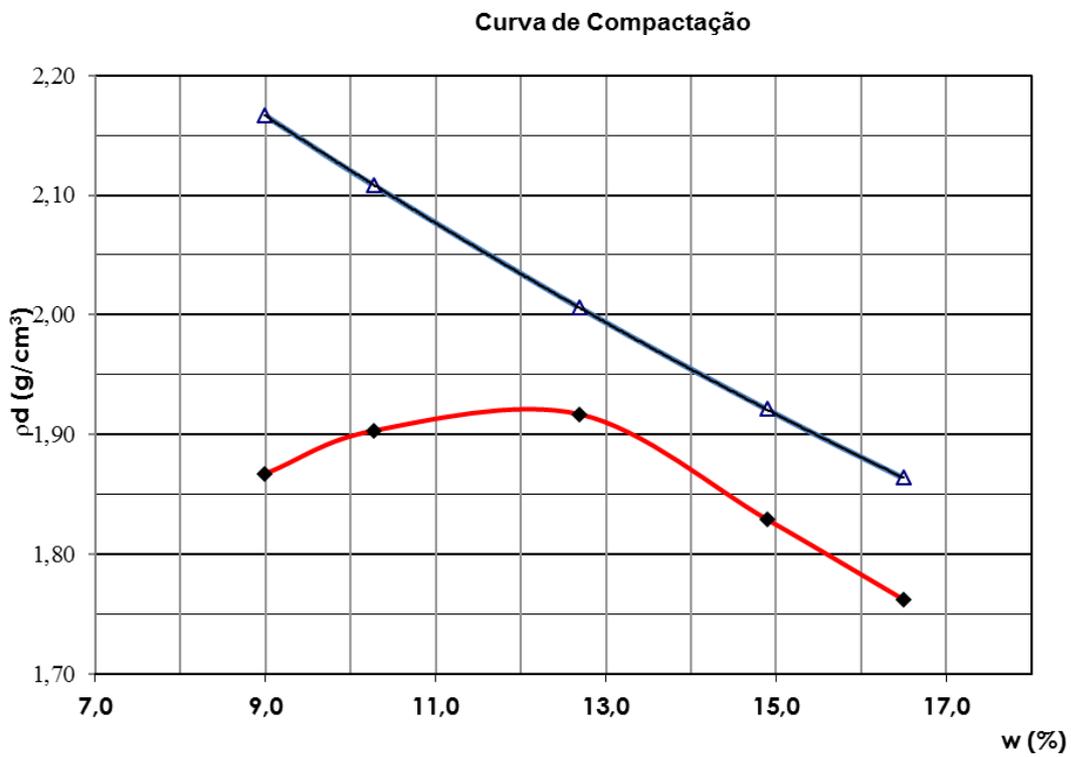


Figura 3 – Curva de compactação para 5% de RCD no solo.

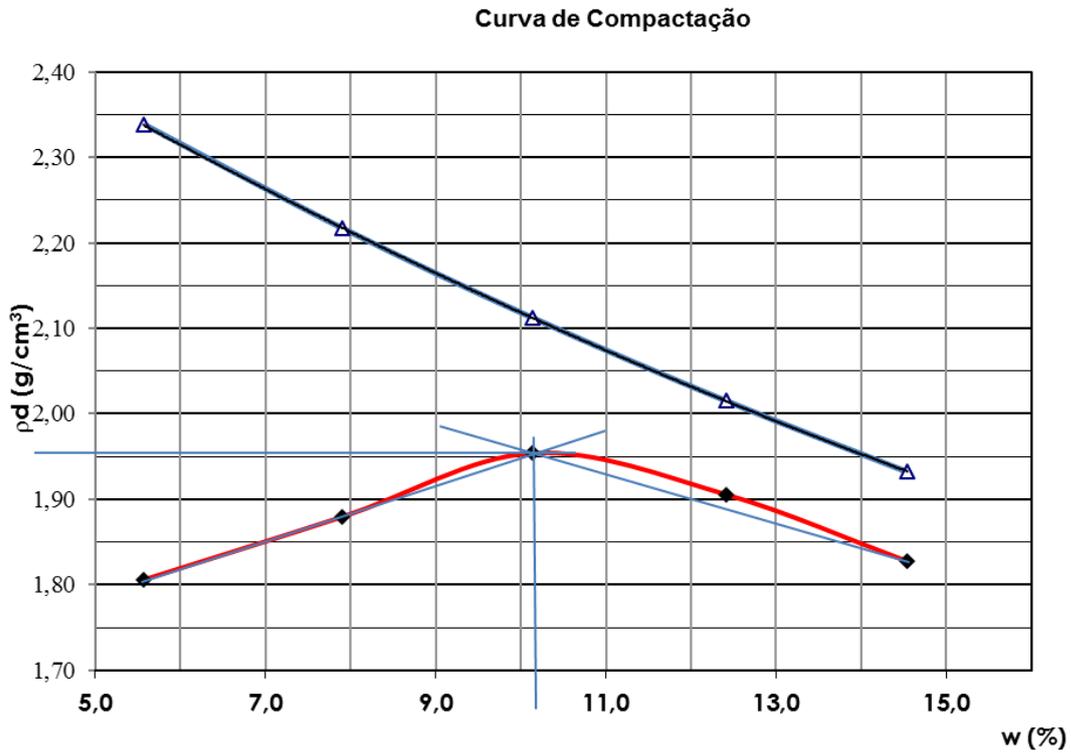


Figura 4 – curva de compactação para 6% de RCD no solo.

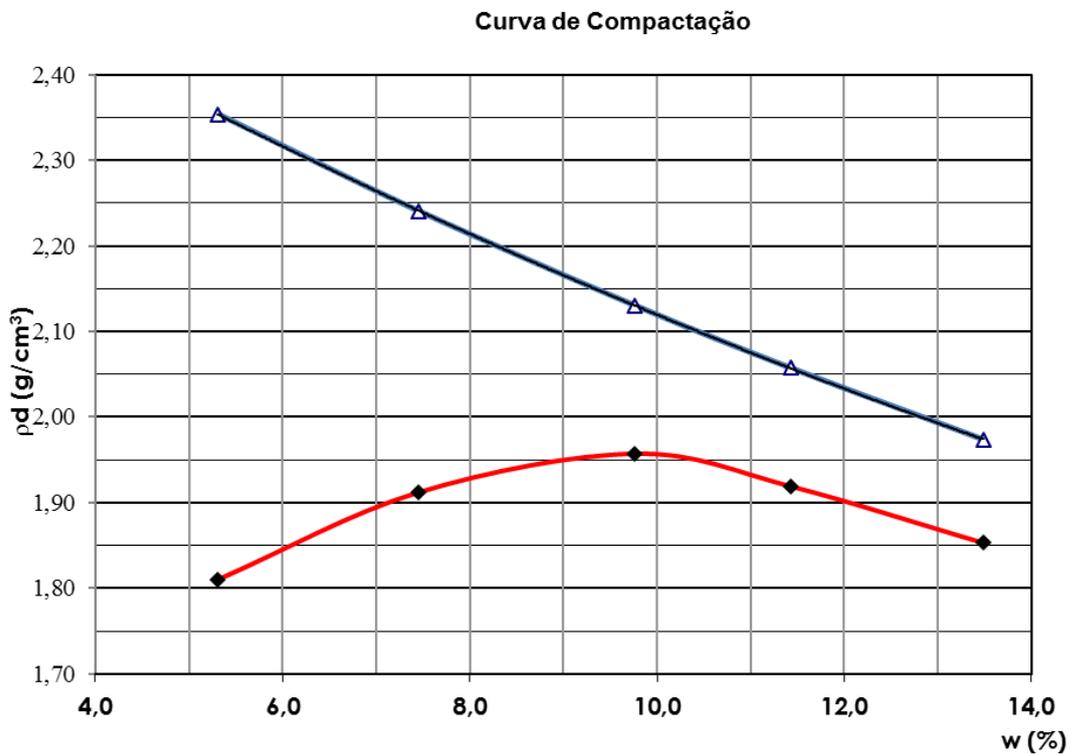


Figura 5 – Ensaio de compactação para 7% de RCD no solo.

Estudos realizados por Pinto (2000) afirma que a compactação de um material para ser utilizado como camada constituinte de um pavimento permite aumentar a sua densificação e

assim reduzir o índice de vazios. Este processo implica na melhoria de diversas propriedades, como aumento da resistência ao cisalhamento e diminuição da deformabilidade.

#### 4.4. EXPANSÃO E ISC.

Os resultados dos ensaios de expansão e ISC para as misturas de 4%, 5%, 6% e 7% estão identificados no gráfico abaixo, e a caracterização do solo puro será descrito neste parágrafo.

Os resultados do solo contendo:

- 4% de RCD apresentaram um ISC máximo de 7,85%, teor de umidade ótima de 13,9% e expansão apresentando 0,025%.
- 5% de RCD apresentaram um ISC máximo de 13,45%, teor de umidade ótima de 12,2% e expansão apresentando 0,0133333333%.
- 6% de RCD apresentaram um ISC máximo de 17,93%, teor de umidade ótima de 10,1% e expansão apresentando 0%.
- 7% de RCD apresentaram um ISC máximo de 22,7%, teor de umidade ótima de 9,8% e expansão apresentando 0%.

De acordo com tais resultados e os parâmetros estabelecidos pelo (DNIT, 2006), as misturas contendo 5%, 6% e 7% de RCD utilizando a energia de compactação normal podem ser utilizado para reforço de subleito pois ambas porcentagem apresenta  $ISC \geq 12\%$  com expansão  $\leq 1,0\%$ , e camadas de sub-base apenas 7% de RCD pois seu ISC foi maior que 20% e expansão menor que 1%. Fernandes (2004) afirma a veracidade de tais resultados através de ensaios de solos de mesma resistências mais com diferentes porcentagens de resíduos chegando à mesma conclusões mais de pontos de vista diferente referente a utilidade de tais materiais.

#### 5. CONCLUSÃO.

De acordo com os resultados obtidos em laboratório foi possível chegar à conclusão, que para misturas de RCD acima de 5% com solos de predominância argilosa já pode ser utilizado para reforço do subleito, já na sub-base apenas a mistura de 7% esteve adequada, indicamos fazer novos ensaios com porcentagens maiores pois notamos que o valor do ISC fui subindo gradualmente com isso podemos obter resultados que possa ser satisfatórios para sub-base, já na base nenhum resultado obtido deixou apto a utilização a sua aplicação.

Portanto, pode-se concluir que a mistura de solo e RCD pode ser utilizada na pavimentação em camadas de reforço de subleito e sub-base já que os parâmetros estabelecidos por normas foram atendidos. Além disso, é grande importância a reutilização desse material no meio

construtivo para diminuições de impactos ambientais, já na camada de base nenhum resultado obedeceu aos parâmetros estabelecidos pelas normas utilizadas no projeto.

## 6. REFERÊNCIAS.

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 45. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR NM 52. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004; **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181. **Análise granulométrica – Solo**. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT - 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.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7217. **Agregados: determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9895. **Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182. **Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457. **Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.
- ARAUJO, A. F.; BARROSO, S. H. A. **O uso da técnica de solo-cal para melhoramento das propriedades tecnológicas de um solo da região do baixo Jaguaribe no estado do Ceará**. In: SN. XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. [S.l.], 2007.
- BLUMENSCHNEIDER, R. N. Manual técnico: **Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras**. Brasília: SEBRAE/DF. 2007. 48 p. 1. SEBRAE/DF - I. Título CDU 504.05
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 307, de 05/07/2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº. 136, 17/07/2002. Seção 1, p. 95-96. 2002.
- BRASILEIRO, L. L. MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Teresina, PI, 2015.
- COPPEAD. **Índices de transporte rodoviário**. Instituto de Pós-graduação e Pesquisa em Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- CEOTTO, L. H. **O desperdício na construção civil**. **Construção**. São Paulo: Pini, n. 2480, p. 12-13, ago. 1995.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. 3ed. Rio de Janeiro, 2006.
- FERNANDES, A. V. B. AMORIM, J. R. R. **Concreto sustentável aplicado na construção civil**. Aracaju v. 2, n.1, p. 79-104, 2014.
- FERNANDES, C. G. **Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para uso em pavimentação dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte**. 2004. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro. 2004.
- GRUBBA, D. C. R. P. **Estudo de comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2009.
- HUANG, Y. H. **Pavement Analysis and Design**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007. ISBN 978-0131424739, 0131424734.

LEITE, F. C. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 185p

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 240p. dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.

MARQUES NETO, José da Costa. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. São Carlos: RiMa, 2004.

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, S. R. F. **SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: CRÍTICA, SÍNTESE, MODELO DE POLÍTICA E GESTÃO DE EMPREENDIMENTOS**, Belo Horizonte, 2009.

NAGALLI, **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. Editora Oficina de Textos, 2014, 176f.

OLIVEIRA, J. C. **Indicadores de potencialidades e desempenho de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil em pavimentos flexíveis**. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

OLIVEIRA, L. M. **A responsabilidade compartilhada e sua aplicação quanto à questão dos resíduos sólidos**. Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, L. M. **A responsabilidade compartilhada e sua aplicação quanto à questão dos resíduos sólidos**. Curitiba, 2014.

PINTO, T.P.; GONZALES, J.L.R. (coord.). **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. Manual de orientação 1. Como implantar um sistema de manejo e gestão dos resíduos da construção civil nos municípios. Brasília, Caixa, 70 p. 2005.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. Oficina de Textos. São Paulo, 2000.

RIBEIRO, D. MOURA, L.S. PIROTE, N.S.S. **Sustentabilidade: Formas de Reaproveitar os Resíduos da Construção Civil**.v.20, n.31, p.41-45, 2016.

SAMPAIO, BRITO. **Gestão dos resíduos sólidos: desafio para as grandes cidades**. Tese (mestrado), Universidade de São Paulo, 2009.

SANTOS, M. C. S. **Panorama da situação dos resíduos de construção e demolição no município de Cruz das Almas/BA**. Cruz das Almas, 2016.

SCHNEIDER, R. R. **Sustainable Amazon: limitations and opportunities for rural development**. World bank and AMAZON. (Partnership Series 1). Brasília, 64 p. [CDROM]. 2000.

SILVA, N. R. **Diagnóstico ambiental dos resíduos de construção e demolição depositados de forma inadequada em Caruaru/PE**, Caruaru, 2017.

SIRVINSKAS, Luís Paulo. **Manual de direito ambiental**. 11. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. 956p.

SOKOLOVICZ, B. C. CANTARELLI, G. M. SANTOS, S. G. M. **Gestão de resíduos da construção civil em execução de edifício de concreto armado na região noroeste do estado do rio grande do sul**. Ijuí- RS, 2017.

TELES, D. R. **Análise da geração de resíduos de construção e demolição em obras de habitações populares horizontais: Estudo de caso**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. São Leopoldo, 2015.

UGAYA, C. M. L. **Teaching LCA in a Mechanical Engineering Course in Brazil**. In: Engineering Education in Sustainable Development 2008 Conference, 2008, Graz

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade ambiental: ISO 14000**. 5. ed. São Paulo: SENAC, 2004. 195p.

ZORDAN, S.E. **A UTILIZAÇÃO DO ENTULHO COMO AGREGADO, NA CONFECÇÃO DO CONCRETO**. Campinas, São Paulo, 1997.

ZORDAN, S.E. **Entulho na Indústria da Construção**. São Paulo: PCC-EPUSP, 2002.

ZORDAN, S.E. **Metodologia de avaliação do potencial de reciclagem de resíduos**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.