**UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA PAVIMENTAÇÃO**

KAIO DE MAGALHÃES1, TAYSON ROCHA TAVARES2, WELLINGTON JÚNIO OLIVEIRA MOURA3, ROSINEIDE MIRANDA LEÃO4 e LUIZ SOARES CORREIA5

1Acadêmico de Engenharia Civil, UNIP, Brasília-DF, kmdemagalhaes@gmail.com; 2Acadêmico de Engenharia Civil, UNIP, Brasília-DF, taysontavares@hotmail.com; 3Acadêmico de Engenharia Civil, UNIP, Brasília-DF, wellingtonjunio14@gmail.com;

4Drª. em Ciências Mecânicas, Msc. em Ciências Mecânicas, UNB, Brasília-DF, rosemirandaleao@gmail.com;

5Mestre em Transportes, UNIP, Brasília-DF, luiz0908@hotmail.com;

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC

08 a 11 de agosto de 2023

**RESUMO**: Este trabalho tem como objetivos analisar diferentes misturas de solo e RCD de modo que se obtenha a melhor destas para poder ser utilizada no processo de pavimentação de uma via, assim foram realizadas 3 misturas com 5 amostras cada, sendo submetidas a um ensaio de compressão do solo, de modo que cada amostra apresente umidades distintas para uma análise comparativa entre si. Como resultado a mistura que apresenta em sua composição 25% de solo e 75% de RCD com uma umidade de 7,5% apresentou o melhor resultado tendo seu peso específico aparente seco em 1,93 kN/m³, assim concluísse que camadas de base e sub-base de pavimentações apresentarão melhor resultado de compressão se sua composição apresentar predominância de RCD, mostrando ser uma ótima resolução para o problema das abundâncias de RCD geradas pela construção civil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensaio de Compactação do Solo; RCD; Pavimentação

# USE OF SOLID WASTE AGGREGATE FROM CIVIL CONSTRUCTION FOR PAVING

**ABSTRACT:** This work aims to analyze different mixtures of soil and CDW in order to obtain the best of these to be used in the process of paving a road, so 3 mixtures were carried out with 5 samples each, being subjected to a compression test of the soil, so that each sample presents different moisture levels for a comparative analysis. As a result, the mixture that presents in its composition 25% of soil and 75% of RCD with a humidity of 7.5% presented the best result having its specific apparent dry weight in 1.93 kN/m³, thus concluding that base layers and paving sub-base will present a better compression result if its composition presents a predominance of RCD, proving to be an excellent resolution for the problem of RCD abundances generated by civil construction.

**KEY WORDS:** Soil Compaction Test; RCD; Paving

# INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais motores da economia brasileira, assim de acordo com Hirschman (1961, p.28),” é da própria natureza do desenvolvimento que se estabeleçam prioridades e certas atividades recebam temporariamente tratamento preferencial, para criarem oportunidades econômicas e favoreçam toda a sociedade”, o que torna a atividade da construção de suma importância para o desenvolvimento do país. Entretanto, este fato se torna um agravante no que se diz respeito aos CRD (Resíduos de Construção Civil), que são resíduos sólidos gerados em atividades da construção, como novas construções, demolições ou atividades de obras-de-arte, solos e resíduos de vegetação resultantes da limpeza do (FERNANDES, 2004) Tais resíduos caso não controlados podem gerar um desequilíbrio ambiental, pois seu descarte inadequado acarreta prejuízos a natureza e graves problemas a saúde pública devido a esses dejetos servirem de criadouros para animais e insetos transmissores de doenças. Assim, buscando uma alternativa de desenvolvimento sustentável sendo conciliado com as necessidades da geração atual sem comprometer os direitos das futuras gerações (VALLE, 2004) podemos tomar como exemplo Resolução nº 307 da Conama (2002) que classifica os resíduos em 4 classes com o objetivo que os mesmos possam ser reciclados e reutilizados, sendo de maior importância os resíduos de classe “A” composto por componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto (MOTTA, 2005).

Os resíduos gerados podem se reencaixar na cadeia produtiva como sub-produtos, podendo ter aplicabilidade em outros processos construtivos, mostrando que a indústria da construção civil uma das maiores responsáveis pela reciclagem no Brasil (JOHN, 2001). Tornado a sua relevância, resíduos de classe “A” se tornam de grande utilidade na indústria de construção, pois os mesmos após serem reciclados podem passar pelo processo de trituração para que se tornem agregados por um menor custo de capital, de energia e transporte quando comparado a um agregado convencional (KULAIF, 2001).

Uma via com péssimas condições de uso pode acarretar um aumento em 37% dos custos operacionais, 50% no percentual de acidentes da via e 57% no consumo de combustível (RICCI, 2007). Assim, visando se evitar problemas, a utilização de RCD colabora para qualidade e segurança da via, reduzindo custos com reconstrução, manutenção e reabilitação, algo fundamental já que como CARNEIRO et. al. (2001) cita, para que se promova uma maior aceitação da reciclagem dos RCD é de fundamental importância a análise dos aspectos financeiros envolvidos.

Estudos sobre os agregados de RCD em forma graúda e miúda misturado a solos aplicados em pavimentos já foram realizados, tendo como resultado o material sendo próprio para a aplicação em bases e sub-bases (CARNEIRO et al, 2001), podendo também eles serem usados em camadas de reforço de subleitos e sub-bases principalmente em vias de baixo tráfico, como já veem ocorrendo no mundo nos últimos anos (MOTTA, 2005).

Assim, a metodologia para realização do experimento se trata do estudo dos resíduos de construção misturados ao solo, de modo que se investigue uma ótima mistura de solo com RCD de modo que substitua os métodos convencionais e fomentem amplamente a reciclagem destes resíduos.

# MATERIAIS E MÉTODOS

Para a conclusão deste trabalho, obtemos RCD de classe "A" em obras de construção civil localizadas em Brasília-DF. Em seguida, submetemos o material a um processo de trituração do agregado e realizamos o ensaio granulométrico para atender às exigências da NBR 15115, que diz respeito às normas para o uso de agregados reciclados para pavimentação. Da mesma forma, obtemos solo em jazida no entorno de Brasília-DF para uso na realização de 3 misturas solo-RCD, conforme mostrado na tabela 1. Utilizamos 5 amostras (partes) de cada mistura para submetê-las ao ensaio de superfícies, a fim de obter resultados que indiquem se o solo estudado é adequado para ser utilizado em planos de pavimentação.

Tabela 1: Composição das misturas a serem estudadas.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **MISTURA 1** | **MISTURA 2** | **MISTURA 3** |
| **RESÍDUO** | 25% | 50% | 75% |
| **SOLO** | 75% | 50% | 25% |

Fonte: Autoria própria

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

É necessário que o solo esteja completamente seco. Para isso, é exposto ao sol até se tornar apto para realizar o processo de destorroamento (esfarelamento). Para verificar se o solo está devidamente esfarelado, deve-se passar toda a terra por uma peneira de 4,8 mm. Após os procedimentos iniciais, pega-se o RCD e mistura-se com o solo, de maneira que seja realizado 3 tipos de misturas que obedeçam

à tabela 1. É necessária a adição de água (em torno de 2 %) para que o solo fique levemente molhado.

Será realizado o ensaio de compressão proctor intermediário (modalidade de ensaio de compactação do solo), assim sendo necessário 3 moldes cilíndricos com 1000 cm³ cada, os mesmos devem ser pesados com o auxílio de uma balança. As misturas serão colocadas nos moldes respectivos em 3 camadas iguais, sendo que cada camada deverá receber 26 golpes de um soquete (aparelho que compacta o solo) de 2,5 kg que cairá de 0,305 m de altura, tendo os golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada. Passa-se uma régua no topo do molde cilíndrico para regularizar a superfície da amostra, sendo posteriormente pesado com o auxílio de uma balança.

Para determinar a umidade das amostras é necessário retirá-las do molde cilíndrico com o auxílio de um extrator próprio para a função, assim parte-se o corpo de prova das misturas ao meio, sendo coletado parte do solo e colocado em uma capsula. A capsula é pesada e logo em seguida é colocada em uma estufa por 24 horas para que o solo seque totalmente, feito isso é pesado novamente a capsula e a partir da diferença de peso se é calculado a umidade do corpo de prova.

Para obter a umidade ideal do solo é essencial realizar o procedimento anterior por mais 4 vezes. Assim pegam-se os corpos de prova já partidos e realiza-se o destorroamento dele, sendo adicionado posteriormente uma pequena parcela de água (em torno de 3%) e submetidos ao ensaio de compressão proctor intermediário novamente. Realizado as 5 vezes o procedimento, parte-se para os cálculos e para a apresentação dos resultados.

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de compactação do solo são obtidos pela relação entre o peso específico aparente seco da amostra, medido em kN/m³, e a umidade da mistura. Essa comparação é realizada entre as cinco amostras.

As Tabelas 2 a 4 apresentam diferentes tipos de curva devido ao maior teor de RCD presente nas misturas. Observe-se que a curva ascendente atinge o limite da composição e, em seguida, sofre uma descida devido ao percentual de umidade da amostra.

Tabela 2: Curva de compactação da mistura 1 (75% Solo e 25% RCD)



9,38

9,36

9,34

9,32

9,3

9,28

9,26

9,24

2

4

6

8

10

12

14

16

Umidade (%)

Peso Específico Aparente Seco (kN/m³)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 2, o Peso Específico Aparente Seco é de 9,36 kN/m³ com uma umidade de 9,1%, mostrando um resultado equilibrado entre os diferentes percentuais de água. É importante ressaltar que essa mistura apresenta o resultado mais próximo e maior semelhança à amostra contendo 100% de solo. Na Tabela 3, o Peso Específico Aparente Seco é de 15,82 kN/m³ com uma umidade de 6,7%.

Observe-se que a partir do equilíbrio da composição da mistura, o teor de umidade ideal diminui em relação aos resultados da mistura 1, alterando sua curvatura e fazendo com que grandes percentuais apresentem uma queda na densidade.

Tabela 3: Curva de compactação da mistura 2 (50% Solo e 50% RCD)



15,84

15,82

15,8

15,78

15,76

15,74

15,72

15,7

15,68

15,66

15,64

3

5

7

9

11

13

15

17

Umidade (%)

Peso Específico Aparente Seco (kN/m³)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 4, observe que a mistura 3 apresentou o Peso Específico máximo igual a 20,5 kN/m³ e umidade de 10,2%. Valores diferentes da umidade ideal sofrem grande decréscimo, devido à maior concentração de RCD na mistura. A água tende a ser tolerada pelo RCD até certo ponto, tornando-se excessivamente depois do limite do material. A umidade média tolerada das misturas é de 8,66%. A variação nos resultados deve à diferença na absorção de água entre o solo e o RCD. Portanto, materiais distintos ao ensaio de sofrimento terão resultados diferentes, dependendo de sua capacidade de absorção.

Tabela 4: Curva de compactação da mistura 3 (25% Solo e 75% RCD)



20,6

20,5

20,4

20,3

20,2

20,1

20

19,9

19,8

19,7

19,6

19,5

2

4

6

8

10

12

14

Umidade (%)

Peso Específico Aparente Seco (kN/m³)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

Fonte: Autoria própria

Nota-se que através dos resultados obtidos, o RCD apresenta maior capacidade de compactação do que o solo comum, segundo BERNUCCI, et al. (2008, p. 2014), um solo mal compactado pode gerar patologias na camada de pavimentação podendo causar principalmente afundamentos e deformações em excesso, levando até a possíveis rupturas, com isso podemos considerar que a utilização de RCD principalmente em camadas de reforço podem acarretar maior vida útil da via, trazendo benefícios tanto a administradora da via , como para os condutores que trafegam pela mesma.

# CONCLUSÃO

A reciclagem dos entulhos de construção e demolição pode ser considerada uma alternativa promissora. Os agregados que são produzidos com os restos dos materiais gerados e reciclados

demonstraram uma boa alternativa ao serem utilizados nas misturas de solo. Os testes apresentaram maior densidade quando se adicionava maiores taxas de RCD, os corpos de prova que foram ensaiados tiveram desempenho satisfatório. Já em termos de custos financeiras, o RCD se mostra uma opção que se torna viável levando em consideração o custo/benefício, devido as altas dos preços de agregados naturais, onde o preço por metro cúbico na economia é em média, 65% de gasto reduzido, assim se é viável a criação de indústrias com foco na reciclagem desses agregados para reuso em obras de pavimentação asfáltica. Além da diminuição da extração do agregado natural, a redução do impacto ambiental representado pelo uso do RCD é altamente benéfica, considerando os índices de poluição, exploração natural e emissão de gases.

# AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNIP de Brasília, a Professora Rose, o Instrutor de laboratório, Henrique, e aos envolvidos do grupo, pela ajuda no desenvolvimento deste artigo científico.

# REFERÊNCIAS

KULAIF Y., **Análise dos Mercados de Matérias-Primas Minerais: Estudo de Caso da Indústria de Pedras Britadas do Estado de São Paulo**, Tese D. Sc., USP, São Paulo, Brasil, 2001.

HIRSCHMAN, Alberto. **Estratégia do desenvolvimento econômico**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961.

VALLE, C. E. **Qualidade ambiental: ISSO 14000**. São Paulo-SP: Editora Senac, 5ª ed., 195p.,2004. MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. New York: Wiley and Sons, 2001.

MOTTA, R. S., **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SP, 2005.

FERNANDES, C. G., **Caracterização mecanística de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para uso em pavimentação dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. RJ, 2004.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 307, 05 de julho de 2002 dispõe sobre gestão dos resíduos da construção civil. **Ministério do Meio Ambiente.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em 22 fev. 2023.

CARNEIRO, et al., **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Projeto Entulho Bom, pg 190-227. Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, 2001.

Ricci, G.; **Estudo decaracterísticas mecânicas do concreto compactado com rolo com agregados reciclados de construção e de demolição para pavimentação.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo. 2007. 196p.

# ABNT. NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro

- RJ: Gráfica Imprinta, 2008.