

Estudo do comportamento mecânico de mistura de agregado reciclado para uso como revestimento primário em vias de baixo volume de tráfego

Mechanical behavior study of recycled aggregate blending as pavement surface for low traffic roads

Thiago Vargas de Deus, Engenheiro Civil, Centro Universitário IPA Metodista.

E-mail do autor TNR 12, alinhado à esquerda

Danielle de Souza Clerman Bruxel, MSc., Centro Universitário IPA Metodista.

danielle.bruxel@ipa.metodista.br

Anelise Schmitz, MSc., Centro Universitário IPA Metodista.

anelise.schmitz@gmail.com

Rodrigo Lopes Erhart, MSc., Centro Universitário IPA Metodista

rodrigo.erhart@ipa.metodista.br

Viviane Gschwenter Lopes, MSc., Centro Universitário IPA Metodista.

viviane.santos1@ipa.metodista.br

Resumo

Os resíduos oriundos da construção civil são gerados em quantidades expressivas e o correto descarte e reaproveitamento desses materiais ainda constituem desafios aos municípios brasileiros. Para a grande quantidade de vias urbanas não pavimentadas, o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil é uma alternativa de substituição aos materiais convencionais. Essa pesquisa analisa as propriedades físicas e mecânicas através de ensaios laboratoriais de um composto solo-agregado para emprego em pavimentação de vias de baixo volume de tráfego. O estudo envolveu a análise do agregado reciclado, do solo utilizado para a estabilização granulométrica e o comportamento mecânico desta mistura, como forma de enquadrar os materiais nos requisitos de normas vigentes. Concluiu-se que o agregado reciclado analisado é de uso promissor, com características físicas e mecânicas satisfatórias comparáveis àquelas dos materiais tradicionais. Os resultados obtidos corroboram para a viabilidade técnica, social e ecológica do emprego desses materiais em bases e sub-bases na pavimentação de vias.

Palavras-chave: Agregado reciclado; Pavimentos de baixo volume de tráfego; Solo-agregado

Abstract

Solid construction waste are generated in significant quantities in cities of large and medium size in Brazil. For the large number of unpaved urban roads, the recycled aggregate of solid waste from the construction industry is a substitute alternative to conventional materials. This research analyzes the physical and mechanical properties through laboratorial tests of a soil-aggregate blending for use in low-traffic roads paving. The study involved the analysis of the recycled aggregate, soil used for grain size stabilization and the mechanical behavior of this mixture, as a way of framing the materials in the parameters and requirements described in current standards. It was concluded that the recycled aggregate analyzed is of promising use, given its satisfactory physical and mechanical properties comparable to traditional materials, so the results presented in this research corroborate the proof of the technical, social and ecological viability of the use of these materials in base and sub based on the paving of urban roads.

Keywords: *Recycled aggregate; Low traffic roads; Soil-aggregate blending*

1. Introdução

Vias não pavimentadas são classificadas como vias de baixo volume médio de tráfego (VDM) e são fundamentais para atender às demandas de localidades principalmente situadas em áreas rurais. Estas vias muitas vezes apresentam fluxo regular de mercadorias de atividades agropecuárias, acessibilidade a locais e fluxo de insumos e produtos para a e abastecimento de comunidades. Apesar do baixo volume de tráfego, os veículos circulantes muitas vezes são pesados causando a alta deterioração do pavimento devido ao excesso de carga por eixo.

Sob jurisdição municipal, estadual ou federal, sabe-se que estas vias rurais são construídas dentro do enfoque da redução de custos. Dessa forma, apresentam características técnicas bastante precárias e normalmente não estão sujeitas à devida manutenção periódica.

Com a necessidade de buscar alternativas para os serviços de conservação e manutenção de estradas rurais, mantendo a viabilidade econômica, o reaproveitamento de resíduos sólidos oriundos da construção civil (RCC) pode gerar melhorias como ganhos econômicos e minimização do consumo de matérias-primas de origem natural utilizadas como agregados na execução de camadas de um pavimento.

Sabe-se que os RCCs em sua grande maioria são resíduos de baixa periculosidade, mas com impactos ambientais expressivos devido ao alto volume gerado e aos problemas causados por sua disposição irregular. Além de configurarem um grande passivo ambiental quando dispostos inadequadamente, também se trata de um grande desperdício de materiais com alto potencial técnico.

O uso de agregados naturais em serviços de adequação de estradas rurais depende de características geológicas e pedológicas. Em determinadas regiões, materiais adequados podem ser encontrados em jazidas próximas ao trecho rodoviário, mas em grande maioria, os recursos naturais necessários são escassos, sendo antieconômico trazê-los de outros

locais. O uso excessivo de agregados pétreos, por outro lado, também é ponto de preocupação em relação a questões de sustentabilidade em projetos de engenharia.

Diante deste cenário e da necessidade de manutenção de condições de trafegabilidade, torna-se necessário o desenvolvimento de ações tecnicamente adequadas e que sejam conciliadas com a conservação de recursos naturais. Torna-se fundamental a busca de alternativas de adequação aos serviços de pavimentação. Com base nessa contextualização, o presente trabalho visa estudar o comportamento de resíduos sólidos da construção civil utilizados como agregado reciclado em vias de tratamento primário no Estado do Rio Grande do Sul.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Rodovias rurais e de baixo volume de tráfego

A definição de baixo volume de tráfego é um conceito que pode variar entre países, regiões de um mesmo país ou até mesmo entre um mesmo Estado. Embora o conceito de baixo volume de tráfego seja relativo ao local, as circunstâncias de baixa disponibilidade de recursos para planejamento, projeto, construção e manutenção desse padrão de rodovia são comuns em qualquer região. Este fator desafia o meio técnico e acadêmico na busca de inovações tecnológicas em cada uma das fases citadas.

A preocupação com essas rodovias pode ser constatada ao redor do mundo, pois trata-se de rodovias com uma taxa de deterioração alta, drenagem precária e com solicitações de cargas elevadas por eixo. Há assim um elevado potencial para a existência de um desempenho insatisfatório.

Preussler (2004) considera rodovias de baixo volume de tráfego aquelas com até 700 veículos passantes por dia, nos dois sentidos da via, onde no máximo 20% dos veículos sejam comerciais. Podem ser subdivididas em três categorias: Categoria 1: $VDM < 200$ veículos/dia; Categoria 2: $200 < VDM < 500$ veículos/dia; e, Categoria 3: $500 < VDM < 700$ veículos/dia.

Nessas rodovias é comum a adoção de alternativas de pavimento com bases, sub-bases e reforços do subleito construídos com materiais retirados próximos ao local e revestimentos asfálticos de baixa espessura, propiciando assim uma grande redução no valor final da obra de pavimentação. Estas soluções são chamadas de pavimentos de baixo custo. Normalmente são associados a elas, a utilização de materiais alternativos (BERNUCCI, 1995)

As vias rurais, popularmente intituladas de estradas de terra, são rodovias secundárias, não pavimentadas e com baixo volume de tráfego. Sua função é possibilitar o acesso a propriedades ou aos caminhos que ligam comunidades relativamente pequenas e próximas. Tais rodovias, construídas dentro do enfoque de minimização de custos de construção, apresentam traçados que visam evitar a construção de obras de arte especiais, para assim gerar uma redução no serviço de movimentação de terra. Assim os traçados são bastante sinuosos, onde geralmente aproveitam a disposição das curvas de nível existentes do terreno (DNIT, 2006)

Podem ser divididas em quatro categorias, designadas por A, B, C e D (BAESSO e GONÇALVES, 2003), sendo elas:

- a) Categoria A: Vias cuja camada superficial de rolamento é composta por agregados naturais oriundos de jazidas, sendo que estes atendem aos parâmetros determinados por normas quanto à composição granulométrica;
- b) Categoria B: Composta por estradas que apresentam material britado na superfície de rolamento;
- c) Categoria C: Apresenta superfície de rolamento composta por solos naturalmente estabilizados oriundos de jazidas;
- d) Categoria D: Vias cuja camada superficial é formada por materiais retirados de seu próprio leito natural.

Uma estrada não pavimentada deve apresentar resistência suficiente para suportar as cargas impostas pelo tráfego sem que ocorram deformações excessivas. A boa capacidade de suporte e as boas condições da camada de rolamento são características de resistência, dependendo principalmente do material utilizado, e devem se manter consistentes frente às solicitações repetitivas do tráfego, na medida em que ocorram as variações no teor de umidade, devido aos períodos secos e chuvosos, que ocorrem ao longo do ano (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Com o objetivo de melhorar as condições de tráfego nessas vias, é executado um revestimento primário, o qual se constitui de uma camada de solo, com características adequadas, capaz de oferecer uma superfície de rolamento que assegure o tráfego em qualquer época do ano. Na execução do revestimento primário é utilizado material selecionado, geralmente oriundo de uma jazida próxima ao local, material britado com solo, que é espalhado em espessura entre 10 cm a 20 cm sobre o serviço de terraplenagem. (DNIT, 2006).

Geralmente, o revestimento primário é composto de uma mistura de solos graúdos, intermediários e finos. A parte graúda é composta basicamente por pedregulhos, os quais oferecem uma boa capacidade de suporte, resistindo a boa parte das cargas impostas sobre o pavimento. Os intermediários (siltes e areias) preenchem os espaços entre a parte graúda proporcionando excelente estabilidade para mistura. Já os finos oferecem coesão à mistura e também ajudam para que os mesmos apresentem menor permeabilidade (SKORSETH, 2000).

2.2 Resíduos sólidos da construção civil (RCC)

O volume de resíduos gerados pela indústria da construção civil reflete a rapidez da extração de materiais provenientes da natureza, sem qualquer forma de reposição, superando a capacidade de absorção e de reposição do meio ambiente. Nesse contexto, é preciso considerar que parte destes recursos são consumidos e que a outra parte são transformados em resíduos, que podem apresentar características prejudiciais tanto ao homem, quanto à natureza (STRAUCH e ALBUQUERQUER, 2008).

O Art. 2º da Resolução CONAMA nº 307 (2002) define os resíduos da construção civil (RCC) como sendo materiais provenientes de construções, reformas, demolições e reparos,

bem como os materiais resultantes da preparação e escavação de solos. São exemplos: tijolos, materiais cerâmicos, blocos estruturais, concreto em geral, solos, rochas, metais, tintas, madeiras, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, solos resultantes de obras de terraplenagem, etc.

Em relação à classificação dos resíduos sólidos como potencialmente poluentes, salienta-se, no Brasil, as seguintes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 10004 (ABNT, 2004a) – Resíduos sólidos – Classificação; NBR 10005 (ABNT, 2004b) – Lixiviação de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos; NBR 10006 (ABNT, 2004c) – Solubilização de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos e NBR 10007 (ABNT, 2004d) – Amostragem de resíduos.

Apesar das particularidades dos resíduos da construção civil, a geração de grandes volumes destes materiais tem chamado a atenção de muitos países. Assim, a busca por soluções alternativas como o reaproveitamento e a reciclagem, despertam o interesse do setor público e privado.

Em agosto de 2010 foi publicada a Lei nº 12.305, que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010b), regulamentada no Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010a), que aborda a questão da gestão de resíduos da construção civil. Esta lei busca promover a gestão integrada de resíduos sólidos, a articulação e cooperação entre os diferentes setores do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, um projeto previsto na Lei nº 12.305/10, tem como objetivo evitar e prevenir a geração de resíduos sólidos. Suas metas são promover uma cultura sustentável para a sociedade que incentive a reciclagem, a reutilização e proponha fins adequados aos resíduos sólidos. A responsabilidade deste processo é atribuída como sendo desde o governo aos geradores de resíduos.

Observa-se, exclusivamente no que se reporta ao setor da construção civil, que a maioria dos municípios adota apenas medidas emergenciais, caracterizando uma gestão reativa e proporcionando um custo elevado na manutenção deste procedimento, processo que geralmente não impede os impactos ambientais resultantes da simples deposição e movimentação destes materiais. Para se corrigir e atuar de forma efetiva com essas dificuldades, é necessária uma gestão diferenciada no tratamento destes resíduos. (FERREIRA; NOSCHANG; FERREIRA, 2009).

3. Procedimentos Metodológicos

Este estudo avalia o uso de resíduos sólidos da construção civil em vias de baixo volume de tráfego. Os resíduos utilizados são provenientes do Rio Grande do Sul, onde observa-se uma extensa malha rodoviária de estradas rurais. A principal forma de destinação desses resíduos, no estado, é servir como aterro de terrenos para novas construções.

Os RCCs desta pesquisa foram coletados em uma única oportunidade na cidade de Porto Alegre (RS) em usina de reciclagem. O solo utilizado no composto solo-agregado, foi coletado no município de Santiago (RS), seguindo as especificações do Manual de

Conservação Rodoviária do DNIT (2005) para coleta de solos. Todas as coletas foram realizadas em agosto de 2017.

O solo foi coletado em uma estrada não pavimentada que liga Santiago (RS) a Forqueta (RS), municípios localizados na área central do RS. O ponto de coleta de solo localiza-se na posição geográfica de latitude 29°04'46.7" Sul e a uma longitude 54°44'08.0" Oeste, conforme mostra a Figura 1.



Figura 1. Trecho de coleta de solo. Fonte: elaborado pelos autores.

Os materiais foram submetidos a avaliação laboratorial para verificação das condições técnicas. A caracterização física do solo contou com os seguintes ensaios: análise granulométrica NBR 7181/84 (ABNT, 1984c), limites de consistência NBR 7180 (ABNT, 1984b) e classificação de solos TRB (DNIT, 2006).

Quanto ao agregado reciclado, realizou-se a amostragem segundo a NBR 10007 - Amostragem de Resíduos (ABNT, 2004d) que fixam as condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de resíduos sólidos. Os ensaios realizados foram: análise granulométrica segundo a NBR 7217/87 (ABNT, 1987); Índice de forma segundo a NBR 7809/83 - Agregado graúdo (ABNT, 1983); determinação de teor de umidade e massa específica dos grãos da fração graúda segundo NBR NM 53 (ABNT, 2002).

Os resultados obtidos foram analisados quanto à adequação à NBR 15115 (ABNT, 2004e) com foco no emprego em serviços de pavimentação. Ensaios de comportamento mecânico de Índice de Suporte Califórnia foram realizados no composto solo-agregado. A NBR 15115 (ABNT, 2004e) permite o uso de agregado reciclado em camadas de base e sub-base em vias de tráfego $N \leq 10^6$ repetições do eixo-padrão de 80 kN no período do projeto.

Para a dosagem, utilizou-se como referência a especificação de serviço da norma DNER-ES 303/97 (DNIT, 1997). Essa especificação recomenda que a mistura deve possuir composição granulométrica que satisfaça a uma das faixas apresentadas nesta norma.

4. Resultados da Pesquisa

4.1 Caracterização Física do Solo e do Agregado reciclado

O material estudado apresentou uma granulometria uniforme na qual predomina a presença de areia fina, com baixas porcentagens de silte e argila. Classificou-se como pertencente ao grupo A-3 que compreende solos granulares na classificação do

Transportation Research Board (DNIT, 2006) e, quanto à plasticidade, o solo foi classificado como não plástico.

Os resultados dos índices de consistência e massa específica dos sólidos são apresentados na Tabela 1. A Figura 2 apresenta a curva granulométrica do solo.

| SOLO | LL (%) | LP (%) | LI (%) | s (g/cm ³) |
|---------|--------|--------|--------|------------------------|
| Arenoso | - | NP | - | 2,818 |

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização dos solos. Fonte: elaborado pelos autores.

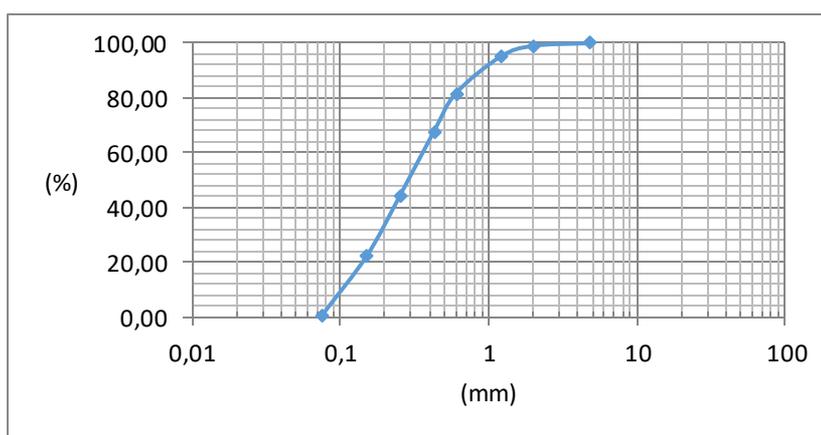


Figura 2. Curva Granulométrica do solo estudado. Fonte: elaborado pelos autores.

A Tabela 2 apresenta os resultados das características do agregado reciclado quanto à natureza e concentração de seus componentes. Este é composto predominantemente por resíduos de concreto e materiais pétreos.

| Material | (%) |
|--------------------|-------|
| Cerâmicos | 10,94 |
| Rochas | 27,98 |
| Argamassa/Concreto | 44,87 |
| Cerâmica polida | 5,31 |
| Material fino | 2,55 |

Tabela 2. Composição do agregado reciclado. Fonte: elaborado pelos autores.

Visualmente, em procedimento de análise granulométrica por peneiramento, o material retido foi analisado e retirou-se por catação os materiais indesejáveis. Foi obtido um total de materiais indesejáveis de 8,35% em relação à massa total da amostra, compostos principalmente por resíduos de fibrocimento (4,28%). Este valor ultrapassa o limite de 3% estabelecido na norma NBR 15115 (ABNT, 2004e). A fim de dar continuidade à pesquisa, os materiais indesejados foram retirados completamente.

A Figura 3 apresenta a curva granulométrica do agregado reciclado.

O agregado reciclado apresentou índice de forma de 2,7, segundo NBR 7809/83 (ABNT, 1983). A norma NBR 15115 (ABNT, 2004e) especifica o valor inferior a 3,0 como limite ao

emprego destes agregados. Quanto à umidade, este obteve uma absorção média de 0,16 pela NBR NM 53/2002 (ABNT, 2002). O valor obtido é considerado como viável para o uso de misturas de solo-agregado.

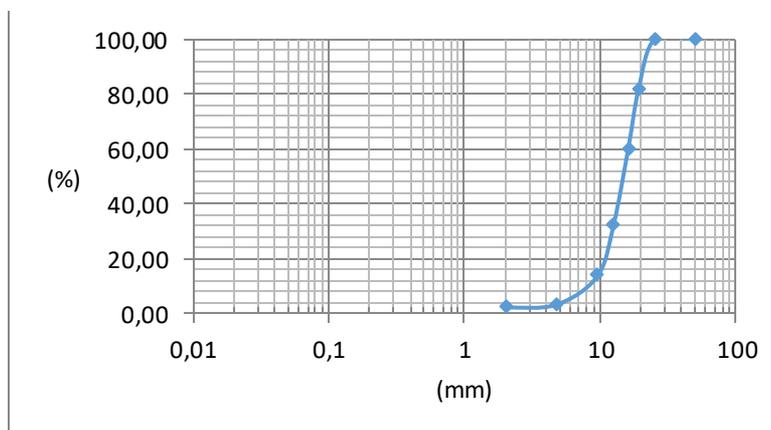


Figura 3. Curva Granulométrica do RCC. Fonte: elaborado pelos autores.

4.2 Análise do Comportamento Mecânico

Para a avaliação do comportamento mecânico, foi realizada uma estabilização granulométrica entre o solo coletado e o agregado reciclado após a remoção dos materiais indesejáveis. O processo de estabilização granulométrica teve como foco obter uma mistura destes materiais que fornecesse uma camada de base com boas características técnicas. Para isso, as proporções utilizadas para a mistura do agregado reciclado com o solo foram, respectivamente, de 75% e 25%. Escolheu-se essa porcentagem após observar que a curva granulométrica da mistura se enquadra na Faixa A da norma DNER ES 303/97 (Figura 3 e Tabela 3).

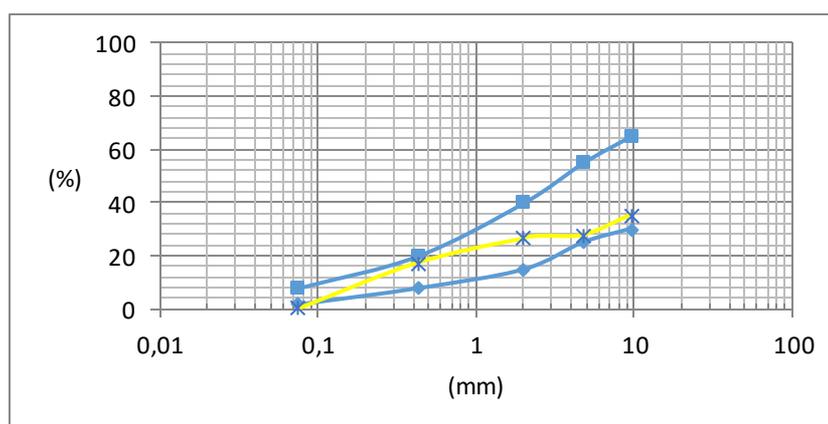


Figura 3. Curva Granulométrica da Faixa A e da Mistura de RCC-solo. Fonte: elaborado pelos autores.

Para a determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) do composto solo-agregado, os ensaios foram realizados conforme o método descrito na norma DNER-ME 049/94 (DNIT, 1994). A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para o composto estudado.

Pode-se verificar que o valor obtido (ISC =68%) está de acordo com a NBR 15115 (ABNT, 2004e), para emprego em camadas de base e sub-base de rodovias. Esta norma exige que o ISC alcance um valor mínimo de 60% para tráfegos médios menores que $N \leq 10^6$. Não foi observado, no ensaio, expansão ou alteração do agregado reciclado na presença de água. De acordo com Trichês e Kryckyj (1999), a expansibilidade baixa ou nula dos resíduos de construção civil é um dos grandes atrativos para a utilização deste material em pavimentação

| FAIXA A DNER ES 303/97 | | | SOLO | AGREGADO | MISTURA | TOLERÂNCIA (%) |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|------------|------------|----------------|
| Peneira (mm) | % passante (limite 1) | % passante (limite 2) | % passante | % passante | % passante | |
| 25,4 | 100 | 100 | 100,00 | 100,00 | - | |
| 19 | - | - | 100,00 | 81,69 | - | |
| 9,5 | 30 | 65 | 100,00 | 13,90 | 35,43 | ± 7 |
| 4,75 | 25 | 55 | 100,00 | 3,56 | 27,67 | ± 5 |
| 2 | 15 | 40 | 99,03 | 2,50 | 26,63 | ± 5 |
| 0,425 | 8 | 20 | 68,26 | 0,00 | 17,07 | ± 5 |
| 0,075 | 2 | 8 | 0,94 | 0,00 | 0,24 | ± 2 |

Tabela 3. Análise do enquadramento da mistura agregado-solo. Fonte: elaborado pelos autores.

| Composição do agregado reciclado | Energia de compactação | Umidade obtida (%) | ISC (%) |
|----------------------------------|------------------------|--------------------|---------|
| Misto | Intermediária | 13,6 | 68 |

Tabela 4. Resultados de ensaios de Índice de Suporte Califórnia. Fonte: elaborado pelos autores.

4.3 Análise comparativa dos resultados obtidos

Para realizar a análise da viabilidade técnica da utilização do agregado reciclado substituindo o convencional, foram comparados os valores com os parâmetros descritos na norma NBR 15115 (ABNT, 2004e) (Tabela 5) e com valores coletados em pesquisas existentes na área (Tabela 6).

| Parâmetros NBR 15115 | | Valores do material estudado |
|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| % passante em peneira 0,42mm | entre 10% e 40% | 17,07% |
| % materiais indesejáveis | 3% | 0 %* |
| Índice de forma | ≤ 3,0 | 2,7 |
| Índice de Suporte Califórnia | ≥ 60% | 68 % |

Tabela 5. Parâmetros estipulados pela NBR 15115. Fonte: Elaborado pelos autores.

***Os materiais indesejados (8,35%) foram retirados completamente para a criação do composto.**

| Composição do ARC | Procedência | Energia de compactação | Umidade Ótima (%) | ISC (%) | Autor |
|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------|---------|----------------------|
| Misto | Porto Alegre Brasil | Intermediária | 13,6 | 68 | Esta pesquisa |
| Misto | Goiânia Brasil | Intermediária | 14,5 | 88 | Mendes et. al (2004) |
| Misto | São Paulo Brasil | Intermediária | 11,0 | 75 | Motta (2005) |

Tabela 6. Valores de comportamento mecânico obtidos em pesquisas similares. Fonte: Elaborado pelos autores.

Motta (2005) estudou agregados reciclados mistos de São Paulo para aplicação em vias de baixo volume de tráfego. Foram estudadas misturas de agregado reciclado sem adições, com adição de cal (4%) e com adição de cimento (4%).

Mendes et al. (2004) construíram um trecho experimental de 50 m empregando uma mistura de solo argiloso com agregado reciclado em camadas de base (75% de agregado reciclado) e sub-base (83% de agregado reciclado). Por meio da construção deste trecho experimental, foi constatado o comportamento do agregado reciclado em pavimentos flexíveis.

Sabe-se que a simples comparação entre os resultados obtidos em outras pesquisas merece uma série de ressalvas, visto a grande variabilidade entre as características de solos e a falta de heterogeneidade entre resíduos da construção civil gerados em diferentes locais. Embora este fato seja verdadeiro, e todas essas considerações devam ser observadas, esta pesquisa, assim como outras consultadas, sinaliza de forma positiva a viabilidade de estudo do aproveitamento dos resíduos da construção civil em compostos com solo, para uso em camadas de pavimentos de baixo volume de tráfego.

5. Considerações Finais

O resíduo da construção estudado nesta pesquisa caracterizou-se como um material não plástico, predominantemente arenoso e com curva de distribuição granulométrica bem graduada. A graduação do material é uma das características que assegura a estabilidade aos pavimentos. As características de comportamento mecânico em campo são muito influenciadas pelo arranjo granulométrico dos agregados, sejam eles naturais ou artificiais.

Quanto aos resultados obtidos nos ensaios de índice de forma com os agregados reciclados, observa-se a predominância de grãos com a forma cúbica atendendo às recomendações da norma NBR 15115 (ABNT, 2004e).

A análise da natureza dos materiais constituintes da fração graúda da amostra indicou como materiais predominantes os cimentícios, com 44,87% e os rochosos com 27,98%. Foi identificada ainda a presença de 8,35% em massa de materiais indesejáveis de diferentes origens, não estando de acordo com a NBR 15115 (ABNT, 2004e). Para os ensaios deste trabalho, realizou-se a triagem do material para estudar o composto sem a presença de materiais indesejáveis.

Os principais materiais indesejáveis identificados foram: fibrocimento, e resíduos gerais como plástico e madeira. Outras pesquisas demonstram que a composição de um agregado reciclado é um aspecto muito importante no seu emprego, pois influencia diretamente suas propriedades físicas.

Quanto ao comportamento mecânico, os resultados obtidos em ensaio de ISC no composto solo-agregado atendem o mínimo exigido pela NBR 15115 (ABNT, 2004e), para emprego em camada de sub-base e base de vias de baixo volume de tráfego. No que se refere à viabilidade técnica, o agregado reciclado estudado atendeu aos requisitos das normas técnicas como insumo na construção das camadas de pavimentos em substituição aos materiais convencionais.

Esta pesquisa apresentou resultados positivos quanto ao uso de resíduos da construção civil em camadas de pavimentos, excluindo-se o alto índice de materiais indesejáveis, que devem ser retirados. A retirada dos materiais indesejáveis, em escala maior, é ainda um obstáculo a ser superado dada a heterogeneidade dos resíduos, a falta de pesquisa sobre o assunto e a dificuldade de realizar essa separação de forma manual.

Comparou-se os resultados obtidos com outras pesquisas efetuadas no Brasil, com objetivo de mostrar o crescente interesse e análises de viabilidade técnica de uso destes materiais. Embora os resultados obtidos nesta pesquisa sejam diferentes dos números e magnitudes obtidos por demais pesquisadores, de forma geral, as pesquisas apontam os resíduos da construção civil como uma atraente alternativa técnica. Sabe-se, no entanto, que muitos outros fatores devem ser estudados para validar adequadamente o uso desse tipo de material.

Conclui-se que o agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil ensaiado, em substituição aos materiais convencionais, é de uso promissor como insumo na construção das camadas de rolamento da enorme rede de rodovias com baixo volume de tráfego não pavimentadas. O emprego desse material colabora com a redução de impactos socioambientais que os resíduos causam. O consumo destes materiais contribui com a preservação do meio ambiente, com o compromisso de respeito pela natureza, com a busca de novas alternativas de construções sustentáveis para a sociedade e melhora das condições de rodovias rurais.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo - Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 1984b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo - Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1984c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217 - Agregado: determinação da composição granulométrica, especificação. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7809/83 – Agregado graúdo: Índice de Forma. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005: Lixiviação de Resíduos – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: Solubilização de resíduos – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro, 2004d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004e.
- BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção. Florianópolis, 2003
- BERNUCCI, L. L. B. et. al. Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.
- BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências, 2010a.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, 2010b.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília. 2002. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 27 de março de 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 049: Solos – determinação do Índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ES 303/97: Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Pavimentação. 3ed. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Conservação Rodoviária. 2ed. Rio de Janeiro, 2005.

FERREIRA, D.D.M.; NOSCHANG, C.R.T.; FERREIRA, L.F. Gestão de resíduos da construção civil e de demolição: contribuições para a sustentabilidade ambiental. In: V Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, 2009.

MENDES, T. A.; REZENDE, L. R.; OLIVEIRA, J. C.; GUIMARÃES, R. C., CARVALHO, J. C.; VEIGA, R. Parâmetros de uma pista experimental executada com entulho reciclado, Rio de Janeiro, 2004.

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). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

PREUSSLER, E. S. et al. Retroanálise – Processos para Avaliação Estrutural de Pavimentos. In: 32ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. Brasília, 2000.

SKORSETH, K.; SELIM, A. *Gravel Roads: Maintenance and Design Manual*. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration – FHWA. South Dakota Local Transportation, 2000. Disponível em:

<<http://www.nijc.org/pdfs/TTAP/gravelman.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2017.
STRAUCH, M.; ALBUQUERQUE, P. P. Resíduos: como lidar com recursos naturais. 1. ed. São Leopoldo: Oikos, 2008.

TRICHÊS, G.; KRYCKYJ, P. R. Aproveitamento de entulho da construção civil na pavimentação urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL. São José dos Campos, 1999.