

# ANÁLISE DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGREGADO MIÚDO EM PAVIMENTAÇÃO

Leonardo Ramos da Silveira<sup>1</sup>  
Rafael de Assis Borges<sup>2</sup>

## RESUMO

Analisar misturas de solo com adições de Resíduos da Construção Civil (RCC) visando o seu aproveitamento na pavimentação rodoviária é meta relevante na configuração tecnológica atual, visto que essa atividade absorve grandes quantidades de insumos. Nesta pesquisa, analisa-se três misturas de solo-RCC, sendo: 100% solo; 30% RCC + 70% solo; e 50% RCC + 50% solo. Foram ensaiados somente os materiais na fração miúda (passante na peneira nº 4). Como trabalho experimental, foram realizados ensaios de caracterização física dos materiais e caracterização mecânica das amostras através do Índice de Suporte Califórnia (ISC) com medição de expansão, que expuseram a qualidade e a potencialidade de cada mistura. Conclui-se com os resultados laboratoriais a adequação da amostra de 50% RCC + 50% solo em sub-base de pavimentos de acordo com a NBR ABNT 15.115 (2004).

**Palavras-chave:** pavimentação; resíduo; sub-base.

## ANALYSIS OF THE USE OF CONSTRUCTION WASTE AS FINE AGGREGATE IN PAVING

### ABSTRACT

Analyze soil mixtures with addition of Waste Construction (WC) aiming to its use in pavement construction is relevant target in the current technological configuration, since this activity absorbs large amounts of inputs. In this research, is analyzed three solo-CW mixtures, being: 100% soil; 30% WC + 70% soil; and 50% WC + 50% soil. Only tested materials in fine fraction (passing in the mesh #4). As experimental work, were performed assays physical characterization of the materials and mechanical characterization of the samples by California Bearing Ratio (CBR) with measuring expansion, exposing the quality and the capability of each mixture. It is concluded with the laboratory results the adequacy of the sample of WC 50% + 50% soil in sub base of pavement according to ABNT NBR 15115 (2004).

**Keywords:** paving; waste; subbase.

---

<sup>1</sup> Instituto Federal de Goiás *Campus* Águas Lindas, Departamento de Meio Ambiente.

<sup>2</sup> Engenheiro Civil pela Universidade Paulista *Campus* Brasília.

## INTRODUÇÃO

Em obras da construção civil, sejam de pequeno ou grande porte, construção ou demolição, há uma grande geração de entulho, que se dá nos restos ou até por desperdício do operário na finalização de serviços. De acordo com Cabral e Moreira (2011), as perdas ocasionadas pelo desperdício dos materiais durante a construção de uma edificação são as grandes responsáveis pela geração dos Resíduos da Construção Civil (RCC) no canteiro de obras.

Além da preocupação com a geração de RCC, existe o fato de que a exploração indiscriminada dos recursos naturais provocou a escassez desses e uma rápida deterioração do entorno e das jazidas, obrigando a exploração de novas fontes de materiais. No Brasil, a região do Distrito Federal é conhecida nacionalmente pela carência de materiais adequados para a estrutura de pavimentos (GÓMEZ, 2011).

Segundo Leite (2007), a variabilidade dos agregados reciclados é uma questão que muitas vezes dificulta o seu emprego em camadas de pavimentos. No entanto, sua pesquisa mostrou que mesmo este material tendo grande potencial de variação nas suas propriedades físicas, controlando a execução é possível ter um pavimento com bom desempenho.

Para estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão desse material (resíduo), foi criada a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA em 5 de julho de 2002. Segundo essa Resolução, os RCC “são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.” E são classificados por: classe A (componentes cerâmicos, argamassa e concreto); classe B (plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros); classe C (produtos oriundos do gesso); e classe D (resíduos perigosos).

A reciclagem de RCC leva à melhora dos parâmetros de poluição ambiental, preservando os recursos naturais e gerando espaço livre em aterros sanitários (MUSCALU, 2011). A implantação de tecnologias visando à reutilização e à reciclagem de RCC é fundamental num processo de gestão adequada, pois a quantidade de entulho gerado pelas

obras de construção, demolição ou reformas continuará a ser significativa, mesmo com a implantação de programas de redução de perdas (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Os RCC, dependendo do processamento a que são submetidos, podem gerar agregados para a construção de qualidade comparável aos agregados naturais. O agregado reciclado, em comparação ao natural, apresenta menores custos de energia e de transporte pela possibilidade de serem produzidos nos locais de consumo (LA SERNA; REZENDE, 2009).

A incorporação do agregado reciclado no solo para uso em camadas de pavimentos tem demonstrado resultados significativos em várias pesquisas realizadas em vários grandes centros urbanos (FUJII, 2012; GÓMEZ, 2011; LEITE, 2007; QUINTANILHA, 2008; MOTTA, 2005; SANTOS, 2007; RESPLANDES, 2007; RIBEIRO, 2006). Em sua maioria, suas pesquisas para aplicação em camadas de pavimentos indicaram índices de suporte Califórnia (ISC) satisfatórios de acordo com a NBR 15115 (ABNT, 2004).

A tendência de qualquer sistema natural é o aumento de seu grau de desordem quando não operado de forma adequada. Assim, utilizando os recursos naturais finitos e gerando energia de baixa qualidade, tendem a aumentar as desordens provenientes da má gestão do meio (SILVEIRA, 2010). Torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que visam obter um valor agregado ao resíduo da construção civil, seja no aspecto ambiental ou econômico. Assim, objetivou-se analisar as características físicas e, através do Índice de Suporte Califórnia, avaliar a utilização do RCC em misturas solo-RCC em base ou sub-base de pavimento.

## MATERIAS E MÉTODOS

Para estudar a possibilidade de utilização de agregados reciclados na construção de pavimento tem-se a necessidade de uma análise comparativa entre as suas características físico-mecânicas e as características de desempenho impostas pelos padrões e normas para agregados britados naturais (MUSCALU, 2011). Seguindo essa orientação, os ensaios realizados na elaboração dessa pesquisa, seguiram os métodos tradicionais.

Foi usado um solo típico do Distrito Federal, coletado em uma obra situada na quadra 204 Norte – Asa Norte, Brasília-DF. O solo que foi coletado é proveniente da escavação de construção do subsolo de um edifício que está sendo construído no local.

O RCC que foi utilizado na pesquisa é proveniente da demolição de um contra-piso de reforma de residência localizada na quadra 712 Sul – Asa Sul, Brasília-DF. Esse material enquadra na Resolução 307 do CONAMA (2002) e é classificado de Classe A por se tratar de argamassa. O RCC foi triturado e ensaiado somente a fração passante na peneira nº 4, assim como o solo. Daí, então, foram feitos os ensaios de caracterização para cada mistura.

Iniciou-se com a amostragem das misturas a serem ensaiadas, foram: Amostra A1 de 100% solo; Amostra A2 de 70% solo + 30% RCC; e Amostra A3 de 50% solo + 50% RCC. Realizou-se a análise granulométrica dos dois materiais, solo e RCC, e das Amostras A2 e A3, de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 1984).

A plasticidade do solo em análise foi determinada de acordo com os procedimentos das normas NBR 6459 (ABNT, 1984) relativa à determinação do limite de liquidez e NBR 7180 (ABNT, 1984) referente ao ensaio de limite de plasticidade.

Realizou-se o ensaio de densidade real dos grãos finos de acordo com NBR 6508 (ABNT, 1984). Para cada material, ensaiou-se somente a parte passante na peneira nº 4. Primeiro tirou a massa de cada amostra em uma balança de alta precisão com 4 casas decimais e logo após colocaram-se as amostras no equipamento Pentapycnômetro para determinação da densidade real dos grãos.

De particular interesse para o Brasil é a identificação dos solos lateríticos, típicos da evolução de solos em clima quente, com regime de chuvas moderadas a intensas (PINTO, 2006). Para tanto, foi realizado o ensaio de classificação MCT expedita para o solo.

Segundo Santos (2006), este ensaio permite determinar os grupos da classificação geotécnica MCT, especialmente desenvolvida para os solos tropicais, de uma maneira expedita segundo Nogami&Villibor (1994b).

Neste ensaio a fração do solo passante na peneira de 0,42 mm de abertura foi umedecida, espatulada até apresentar consistência plástica e resistência avaliada pela penetração de uma agulha padronizada com ponta chata. Com o solo nessa consistência foram moldadas as “pastilhas” em anéis com dimensões de 17 mm de diâmetro e 4 mm de espessura. As mesmas foram secas ao ar na posição vertical e após a secagem mediu-se a contração pela diferença entre o diâmetro do anel e o diâmetro da pastilha seca.

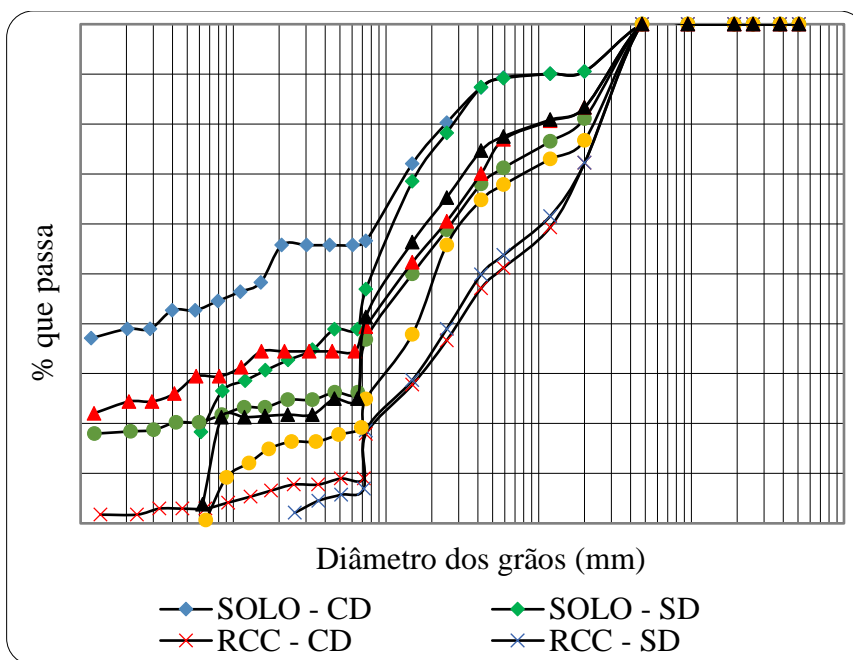
Tendo conhecimento de tais parâmetros físicos, foi feito a compactação Proctor. Após a compactação, foram medidos o Índice de Suporte Califórnia (ISC) e a expansão para todas as amostras. A avaliação das amostras de solo-RCC para a aplicação na pavimentação

rodoviária, foi feita através dos valores mínimos de ISC e expansão exigidos pela NBR 15.115 (ABNT, 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ensaio físicos

Para a determinação da composição granulométrica das amostras, realizou-se os ensaios de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 1984), para todas as amostras com e sem defloculante (CD e SD), os resultados podem ser observados na Figura 1.



**Figura 1** – Distribuição granulométrica das amostras.

Analisando a distribuição granulométrica do RCC com e sem defloculante, nota-se uma pequena diferença granulométrica. No resultado do solo com defloculante resultou em 40% passante #200 classificando-o como solo fino. As curvas granulométricas das amostras de misturas solo-RCC ficaram compreendidas entre as curvas de solo e RCC.

O ensaio de Limites de Atterberg foi realizado somente para caracterização do solo. O resultado do Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade foi, respectivamente, 34% e 23,66% de umidade, e o Índice de Plasticidade (IP) 10,34%. A classificação do solo quanto a plasticidade, para IP entre 7 e 15%, indica plasticidade média.

O solo apresenta uma granulometria de argila arenosa, sendo classificado pelo SUCS como CL (argila de baixa plasticidade arenosa); Para ASSHTO, solo com LL=34% e IP=10,34%, é A-4, que é avaliado como solo siltoso, indicando qualidade geral satisfatória a deficiente para subleito de pavimentos.

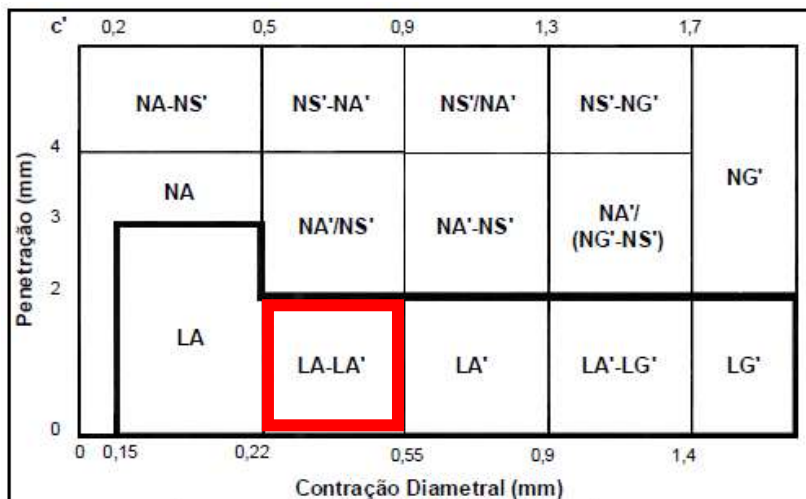
As densidades reais dos grãos dos materiais e amostras são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Densidade Real dos Grãos.

Material/Mistura	Massa Específica dos Grãos (g/cm <sup>3</sup> )
Solo	2,763
RCC	2,706
A2	2,749
A3	2,723

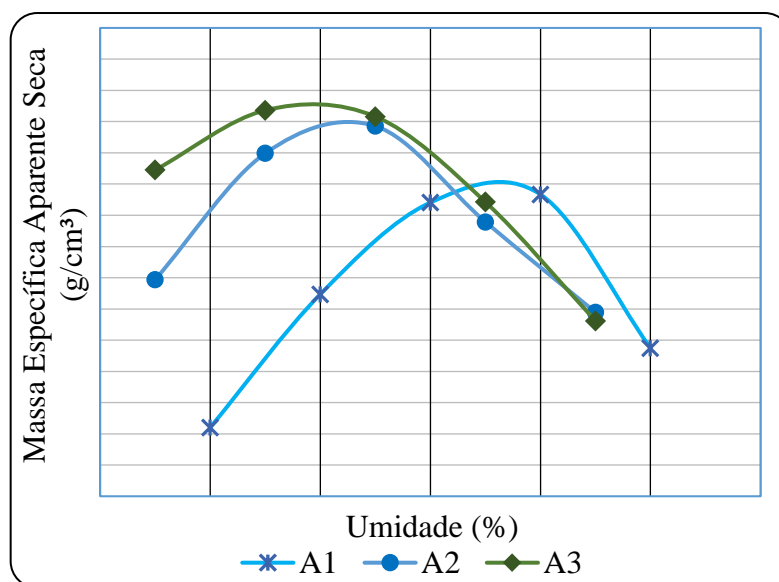
A massa específica dos grãos reporta a semelhança entre agregados reciclados de resíduos da construção civil e os naturais. Segundo Pinto (2006), os valores de densidade real dos grãos para solo situam-se em torno de 2,7 g/cm<sup>3</sup>. Leite (2007) teve como resultado que a massa específica dos grãos passantes na peneira 4,8 mm foi 2,74 g/cm<sup>3</sup>.

A classificação MCT expedita foi feita após a moldagem das pastilhas com a amostra previamente preparada, e pronta para a moldagem de acordo com a metodologia. A contração foi de 0,5 mm resultando em um valor de  $c'$  de 0,77 e não houve penetração. Com base no Gráfico de Classificação MCT pelo Método das Pastilhas, ilustrada na Figura 2, conclui-se que se trata de um solo arenoso laterítico (LA-LA').



**Figura 2** – Gráfico de Classificação MCT pelo Método das Pastilhas.

Os resultados dos ensaios de compactação foram utilizados como parâmetros para definição da umidade ótima e massa específica aparente seca máxima no estudo do Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão. A Figura 3 apresenta as curvas de compactação de cada mistura ensaiada.



**Figura 3** – Curva de compactação Proctor do Solo.

Analisando os resultados da curva de compactação, tem-se que há um aumento da massa específica aparente seca de solo em função da incorporação do agregado reciclado de RCC, em reflexo, há uma diminuição da umidade da mistura. As curvas das amostras A2 e

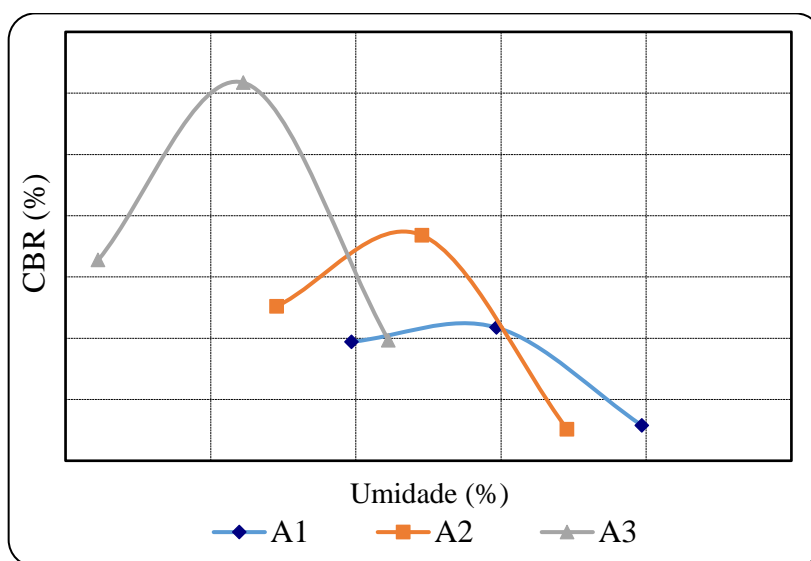
A3, que contém RCC, no ramo úmido, nota-se pequena diferença no valor da massa específica aparente seca.

### Índice de Suporte Califórnia

Para determinar o ISC, foram preparados 3 corpos de prova para cada mistura. Os resultados são apresentados na Figura 4, e a Tabela 2 apresenta os valores de expansão.

**Tabela 2** – Valores da expansibilidade das misturas.

Material/Mistura	Expansão (%)
Solo	0,84
A2	0,13
A3	0,08



**Figura 4** – Valores do ISC das misturas ensaiadas.

Analisando os resultados, e tendo em referência a norma NBR 15.115 (ABNT, 2004) que especifica valores de ISC para serem usados em camadas de subleito  $\geq 12\%$ , sub-base  $\geq 20\%$ , e base  $\geq 60\%$ , é permitido o uso do RCC. A amostra A3 pode ser usada em sub-base de pavimento e a amostra A2 pode ser usado em subleito.



## CONCLUSÃO

A escassez de jazidas e a falta de agregado natural de qualidade em várias regiões no Brasil, faz com que aumente cada vez mais a necessidade de tecnologias que visam a utilização de materiais alternativos. Muitas vezes a falta desses agregados de qualidade ou a sua grande distância do local de construção das vias acabam tornando inviável o uso em pavimentos. Dessa forma, surge a necessidade de utilizar agregados menos nobres, estabilizando-os com resíduos que melhorem suas propriedades.

A granulometria do agregado reciclado de RCC não apresentou dispersão de partículas no ensaio de sedimentação com e sem defloculante. O solo foi classificado na granulometria com fino e no ensaio de classificação MCT expedita o solo foi classificado como arenoso laterítico, no entanto corroboram com a grande quantidade de areia para o mesmo. No ensaio de ISC, os resultados foram: ISC=10,9% e expansão de 0,64% para a amostra A1; ISC=14,5% e expansão de 0,13% para a amostra A2; e, ISC=20,43% e expansão de 0,08% para a amostra A3.

Os valores do ISC encontrados nesta pesquisa, foram inferiores aos encontrados nas pesquisas de Leite (2007), Gómez (2011), Resplandes (2007) entre outros. Tal inferioridade se dá em decorrência da granulometria dos materiais utilizados, Leite (2007) explica que se caso um agregado grande fique embaixo do pistão, a penetração será dificultada, implicando em valores altos de ISC. Como o intuito dessa pesquisa foi de analisar o RCC como agregado miúdo e a possível utilização do material nessas condições em camadas de pavimentação, não havia presença de pedregulhos para dificultar tal penetração.

Contudo, conclui-se que a utilização do RCC como agregado miúdo associado a um solo semelhante ao estudado, segundo a especificação da NBR 15.115 (ABNT, 2004), a amostra A2 pode ser usada em camada de subleito e a amostra A3 pode ser usada em sub-base de pavimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solos – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

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

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

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

CABRAL, A. E. B.; MOREIRA, K. M. V. **Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil – Sinduscon/CE** (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará). 44 f. Programa Qualidade de Vida na Construção. Fortaleza, CE, agosto de 2011.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção. **Projeto Entulho Bom**. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 312 f. 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. Resolução n. de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Presidente do Conselho: José Carlos Carvalho. **Diário Oficial da União**, nº 136, Brasília, 17 de julho de 2002, p. 95-96.

FUJII, Livia MariaTiemi. **Estudo de misturas de solo, RCD e cal virgem e hidratada para uso em obras rodoviárias**. Brasília, 2012. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

GÓMEZ, AlejandraMaría Jiménez. **Estudo experimental de um resíduo de construção e demolição (RCD) para utilização em pavimentação**. Brasília, 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

LA SERNA, H. A.; REZENDE, M. M. **Agregados para a construção civil**. Departamento Nacional de Produção Nacional-DNPN. Brasil, 2009.

LEITE, Fabiana da Conceição. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. São Paulo, 2007. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MOTTA, Rosângela dos Santos. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**.

São Paulo, 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MUSCALU, M. T.; ANDREI, R. Use of recycled aggregates in rigid pavement construction. **Buletinul Institutului Politehnic Din Iași**. Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași Tomul LVII (LXI), Fasc. 2, March 2011.

SANTOS, Eder Carlos Guedes. **Aplicação de resíduos da construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. São Paulo, 2007. 168 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SANTOS, Eliana Fernandes dos. **Estudo Comparativo de Diferentes Sistemas de Classificações Geotécnicas Aplicadas aos Solos Tropicais**. São Paulo, 2006. 145 f. Dissertação (Mestrados em Engenharia Civil: Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solo em 16 Aulas**. São Paulo: Oficina Textos, 2006.

QUINTANILHA, Frederico Santana. **Avaliação de utilização e desempenho de resíduos de construção e demolição em bases e sub-bases de pavimentos flexíveis**. Goiânia, 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.

RESPLANDES, Helaine da Mota Santos. **Estudo ambiental e mecânico da aplicação do agregado reciclado na estrutura de pavimentos flexíveis**. Goiânia, 2007. 206 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.

RIBEIRO, Fabrício. **Estudo da aplicação do agregado reciclado na base de um pavimento flexível**. Goiânia, 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.

SILVEIRA, Leonardo Ramos. **Reaproveitamento de finos de pedreiras em pavimentação: uma abordagem técnica e econômica**. Goiânia, 2010. 179 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.

Recebido em 18 de maio de 2016.

Aprovado em 22 de junho de 2016.