

**FESURV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE  
FACULDADE DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO MECÂNICA DO AGREGADO RECICLADO  
GERADO NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE-GO**

**REGES DO CARMO CABRAL**  
*(Engenheiro Ambiental)*

**RIO VERDE  
GOIÁS - BRASIL  
2011**

**REGES DO CARMO CABRAL**

**AVALIAÇÃO MECÂNICA DO AGREGADO RECICLADO  
GERADO NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE-GO**

Artigo apresentado à Fesurv – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências da Faculdade de Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *Engenheiro Ambiental*.

**RIO VERDE  
GOIÁS - BRASIL**

**2011**

# REGES DO CARMO CABRAL

## AVALIAÇÃO MECÂNICA DO AGREGADO RECICLADO GERADO NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE-GO

Artigo apresentado à Fesurv – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências da Faculdade de Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *Engenheiro Ambiental*.

APROVADO: 12 de dezembro de 2011

---

Prof.

(Membro convidado)

---

Prof.

(Membro convidado)

---

Prof<sup>ª</sup>. Ms. Adenilza Borges do Carmo  
(Orientadora)

Cabral, Reges do Carmo

Avaliação mecânica do agregado reciclado gerado no município de Rio Verde-GO ./ Reges do Carmo. – Rio Verde – GO.: FESURV, 2011. 19f.: 29,7cm.

Monografia (artigo) Apresentada à Universidade de Rio Verde – GO – FESURV, Faculdade de Engenharia Ambiental, 2011.  
Orientador Prof. Ms. Adenilza Borges do Carmo

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus, a meus familiares, a minha orientadora e meus amigos que muito me incentivaram e motivaram para que, com força e garra, eu vencesse as dificuldades do caminho.

## AGRADECIMENTOS

Seria impossível citar aqui os nomes de todos que me auxiliaram em minha trajetória. Porém, na tentativa de lembrar-me de alguns, seguem os meus agradecimentos:

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Adenilza Borges do Carmo, pelos ensinamentos e amizade.

Aos professores Fausto Rodrigues Amorim, Joel Cecílio, Weliton Eduardo Lima de Araújo, pelos valiosos ensinamentos acadêmicos.

A todos meus colegas de sala de aula pelo auxílio e pelos conhecimentos divididos durante o curso.

“Acautelai-vos para que não percais vosso trabalho, mas recebeis pleno galardão”.  
(II João, 1:8)

“Acautela-te de ti mesmo na luta íntima que mantém, a fim de que o homem velho não te atraia e readquira seu total e antigo domínio”.

(Vera Lúcio)

## **BIOGRAFIA**

REGES DO CARMO CABRAL, filho de ALTAMIRO MARTINS CABRAL e ONILDA TEODORA DO CARMO, nascido no dia oito (08) de fevereiro (02) de um mil novecentos e oitenta e sete (1987), em Rio Verde, Goiás. Iniciou o curso de Engenharia Ambiental no ano de 2007 encerrando-o ao final do segundo semestre deste ano letivo de 2011.



## **Avaliação mecânica do agregado reciclado gerado no município de Rio Verde-GO**

Reges do Carmo Cabral

**Resumo:** Os resíduos da construção civil vêm sendo encarados como um grande problema ambiental no Brasil e uma forma de mitigar os problemas causados pelo acúmulo destes resíduos de construção e demolição sobre o meio ambiente é através da reciclagem. Esse material reciclado pode ser utilizado em pavimentos (base e sub-base). Dessa forma, o objetivo desse estudo é avaliar as características físicas e o comportamento mecânico do agregado reciclado visando seu emprego em camadas de base e sub-base de pavimentos. Foram realizadas as análises das características físicas e mecânicas através de ensaios de análise granulométrica, compactação, *California Bearing Ratio* (CBR) e expansão. Os resultados indicaram que o agregado reciclado pode ser empregado na construção de camadas de sub-base de pavimentos, porém para seu emprego em camadas de base foi reprovado, mas caso se acrescente brita, poderá se aproveitado também para camadas de base.

**Palavras-chave:** impacto de resíduos, construção civil, sustentabilidade, cidade

### **Mechanical assessment of recycled aggregate generated in the city of Rio Verde-GO**

**Abstract:** The construction waste have been seen as a major environmental problem in Brazil and one way to mitigate the problems caused by the accumulation of construction and demolition waste on the environment is through recycling. This recycled material can be used on floors (base and sub-base). Thus, the objective of this study is to evaluate the physical and mechanical behavior of recycled aggregate aiming its use in base layers and sub-base floor. Analyses were performed using the physical and mechanical tests using particle size analysis, compaction, California Bearing Ratio (CBR) and expansion. The results indicated that the recycled aggregate can be used to build layers of sub-base floor, but for its use in base layers failed, but if you add gravel, can also be tapped for basic layers.

**Key words:** impact of waste, construction, sustainability, city

## **INTRODUÇÃO**

O crescimento populacional e o acelerado processo de urbanização dos municípios têm contribuído para a geração de grandes volumes de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e, conseqüentemente, para o aumento da geração dos Resíduos Sólidos Urbanos (RINO; MARAN, 2005).

Uma forma de mitigar os problemas causados pelo acúmulo desses resíduos sobre o meio ambiente é a sua reciclagem. Os resíduos de construção e demolição (RCD)

podem ser reciclados na forma de agregados através de um beneficiamento, constituído basicamente de operações de triagem, britagem e peneiramento (GRUBBA; PARREIRA, 2007).

Desta forma, a reciclagem de RCD é uma forma de aproximar o setor da sustentabilidade através da redução dos impactos negativos dos seus resíduos nas cidades e da geração de matéria-prima que pode ser substituída pela natural, não renovável (ÂNGULO et.al.,2003).

Os agregados reciclados apresentam características peculiares que dependem muito dos materiais que chegam às centrais de processamento e do tipo de processo utilizado nas mesmas como, por exemplo, o tipo de britador, os dispositivos para extração de impurezas (QUEBAUD; BUYLE-BODIN, 1999).

Considera-se, então, que conhecer a composição e outras propriedades dos agregados reciclados de RCD constitui um primeiro passo para se poder avaliar o desempenho do produto produzido a partir desses resíduos. Pois, a partir de suas composições e demais propriedades, é possível determinar de forma adequada a influência da composição e dessas propriedades no desempenho do produto reciclado (ÂNGULO; JONH, 2001).

O agregado reciclado apresenta propriedades interessantes para utilização na construção de pavimentos. Do ponto de vista geotécnico, é considerado um material não plástico, o que permite sua utilização em locais com presença de água, por gerar pouca ou nenhuma lama. Pode, ainda, ser utilizado como redutor de plasticidade, contribuindo, assim, na estabilização dos solos. Apresenta também, segundo diversos autores, expansibilidade baixa ou nula, ou seja, mesmo sob saturação, não ocorre expansão das camadas compactadas (RIBEIRO, 2006).

Portanto, o objetivo desse estudo é avaliar as características físicas e o comportamento mecânico do agregado reciclado proveniente de Rio Verde-GO, visando seu emprego em camadas de base e sub-base de pavimentos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O presente estudo foi dividido nas seguintes etapas: revisão bibliográfica e planejamento, baseados em consulta a artigos, teses, manuais, documentos, bem como, visitas e entrevistas às autoridades ligadas à área pesquisa, objeto deste trabalho. O agregado reciclado foi fornecido pela Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil de Rio Verde GO (Figura1), enquanto que o agregado natural foi disponibilizado

pelo município de Rio Verde-GO. O material coletado para análise foi encaminhado para o laboratório da Contepro Engenharia LTDA localizada no município de Uberaba-MG, onde foram realizados os ensaios abaixo descritos.



Figura 1 - Usina de Reciclagem.

### **Análise granulométrica**

Com o agregado reciclado foi realizado ensaio de granulometria com sedimentação (sem defloculante), de acordo com a norma ABNT 7.181 “Solo-Análise granulométrica” (ABNT, 1984a). Para caracterização e enquadramento nas faixas, optou-se em realizar o ensaio de granulometria por peneiramento sem lavagem do agregado reciclado. Pesquisas demonstram que há pouca diferença entre os resultados obtidos com e sem lavagem. Além disso, a situação sem lavagem retrata melhor a realidade no campo.

### **Compactação**

Com a finalidade de se obter a curva de compactação, bem como a umidade ótima e o seu respectivo peso específico aparente seco máximo, foi realizado o ensaio intermediário de compactação (Proctor-Intermediário), utilizando-se cilindros e

soquetes grandes de acordo com a norma técnica NBR 7.182 “Solo-Ensaio de Compactação” (ABNT, 1986b).

### ***California Bearing Ratio (CBR)***

O ensaio de CBR foi realizado de acordo com a norma técnica NBR 9.895 “Solo Índice de Suporte Califórnia” (ABNT, 1987a). O ensaio de CBR consiste na aplicação de um carregamento estático em um corpo-de-prova sob condições saturadas. Este carregamento se dá por meio da penetração de um pistão de diâmetro padronizado, em velocidade constante, acompanhado de registros de cargas de reação por meio de um anel dinamômetro acoplado à prensa.

### **Expansão**

A NBR-15.115 (ABNT, 2004) utiliza o valor do *CBR* como parâmetro para emprego do agregado reciclado em pavimentação. São fixados valores mínimos de acordo com a função estrutural do material no pavimento: base, sub-base ou reforço de subleito. Além disso, considera-se também, a expansão do agregado reciclado.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste item são apresentados os resultados das caracterizações físicas e mecânicas realizadas sobre o agregado reciclado de RCD. Os valores obtidos foram comparados com as normas e especificações que atualmente evoluíram o uso destes resíduos em obras de infraestrutura.

### **Caracterizações físicas**

Para se definir e especificar os tipos de materiais que são utilizados nas camadas de pavimentos (base e sub-base) deve-se inicialmente conhecer suas propriedades e características. Desta forma, procede-se a execução de alguns ensaios laboratoriais para a caracterização física.

## Análise granulométrica

A análise granulométrica é representada, graficamente, pela curva granulométrica (Figura, 2). Esta curva é traçada por pontos em um diagrama semi-logarítmo, no qual, sobre o eixo das abscissas, são marcadas, em escala logarítma, as dimensões das partículas e, sobre o eixo das ordenadas, as porcentagens, em massa, de material que tem dimensão média menor que a dimensão considerada (porcentagem de material que passa). A partir desta curva, é possível determinar a quantidade de pedregulho, areia e passantes, presentes no material. Conforme as análises granulométricas, para argila 50% e entulho 50%, o material apresentou uma distribuição contínua, de forma que os grãos menores promoveram um melhor embricamento com os grãos maiores. O material pesquisado apresentou um valor de 25,4% e este resultado demonstra que o agregado reciclado é bem graduado e não uniforme apresentando um melhor encaixe das partículas e preenchendo todos os espaços vagos durante seu emprego em camadas de pavimentos. Verificou-se, ainda, que o agregado reciclado em geral absorve muita água (cerca de 8%) em relação aos materiais pétreos cuja porcentagem de absorção corresponde a 2%.

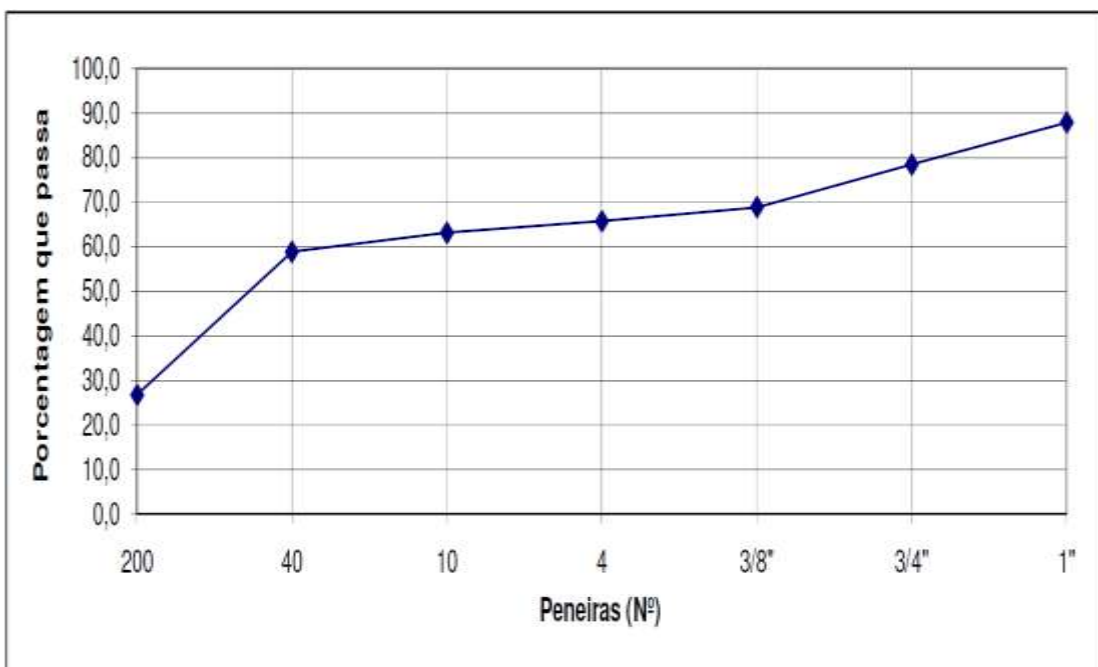


Figura 2 - Curva granulométrica dos agregados estudados.

A Tabela1 apresenta os resultados da análise granulométrica do agregado reciclado, estudado em laboratório.

Tabela1 - Caracterização da textura do agregado reciclado.

| Fração       | Faixa (mm) | Porcentagem% |
|--------------|------------|--------------|
| Areia fina   | 0,42-0,075 | 32,1         |
| Areia grossa | 4,8-2,0    | 2,6          |
| Areia média  | 2,0-0,42   | 4,3          |
| Pedregulho   | 4,8        | 34,3         |
| Passantes    | 0,075      | 26,7         |
| <b>Total</b> |            | <b>100</b>   |

### Compactação

O propósito do ensaio laboratorial de compactação é para determinar a quantidade adequada de água a ser misturada ao solo quando, de maneira a se alcançar o ponto de compactação em campo. Para os resultados encontrados obteve-se 1,774g/cm<sup>3</sup> de densidade máxima para 15,2% de umidade, representado pela a curva de compactação.

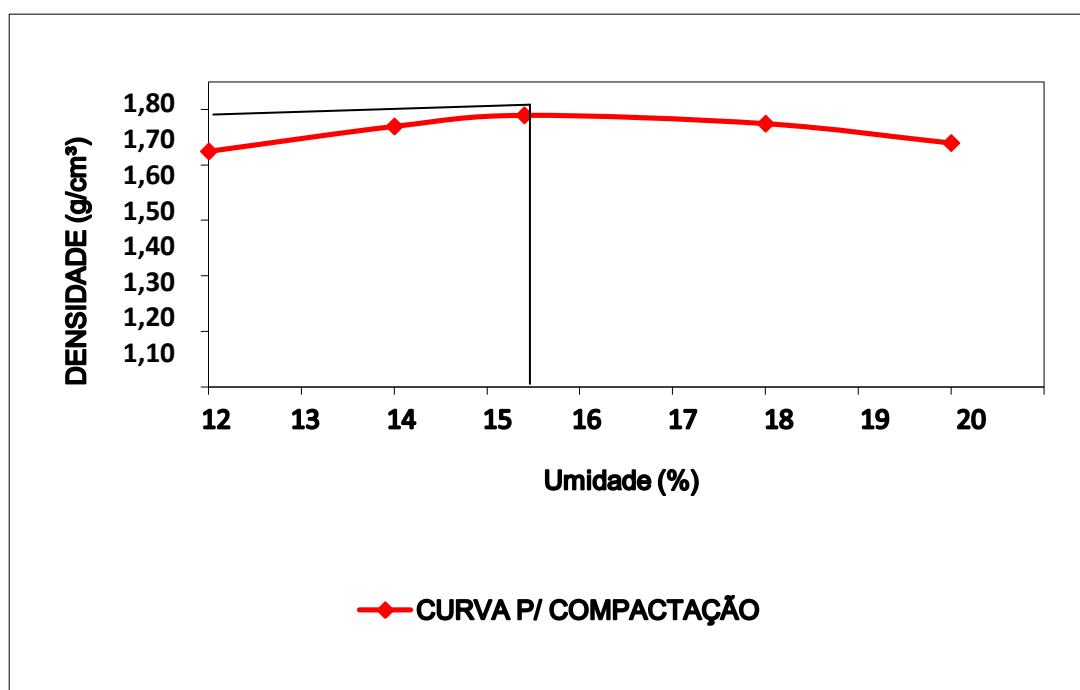


Figura 3 – Gráfico para curva de compactação.

### California Bearing Ratio (CBR)

Através do índice (CBR) expresso em percentual, é possível dimensionar pavimentos por métodos empíricos, definindo o valor da capacidade de suporte de solos e materiais granulares empregados em pavimentação. O 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 num material granular padrão de referência (DNIT, 2006). Nos testes realizados foram necessários 33,15% de pressão para produzir uma penetração de um pistão.

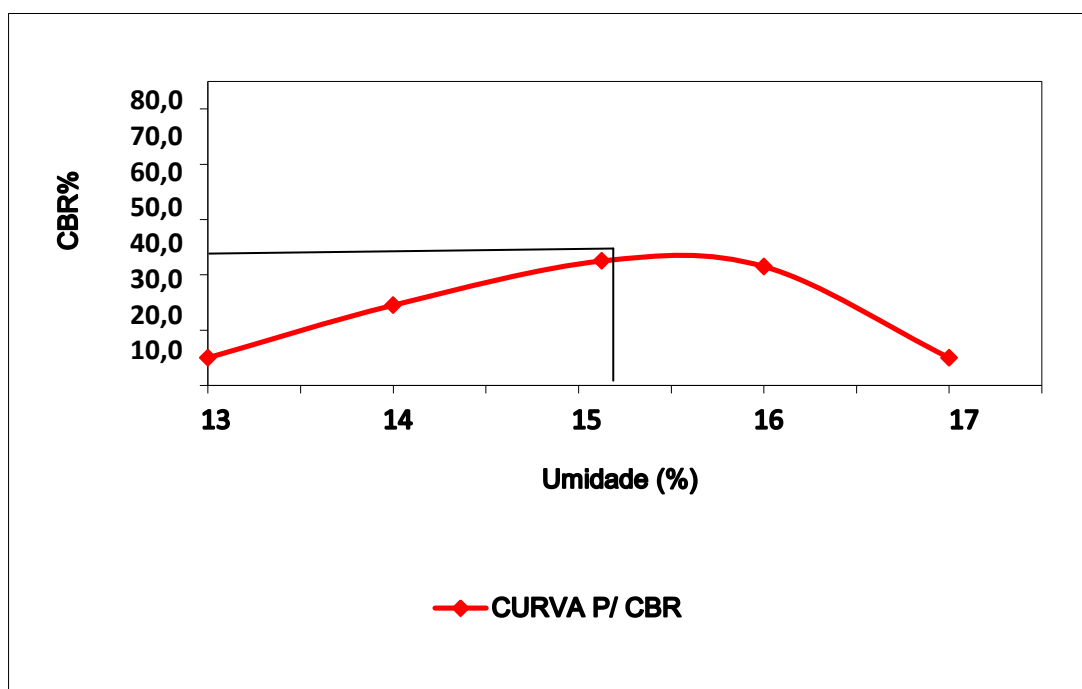
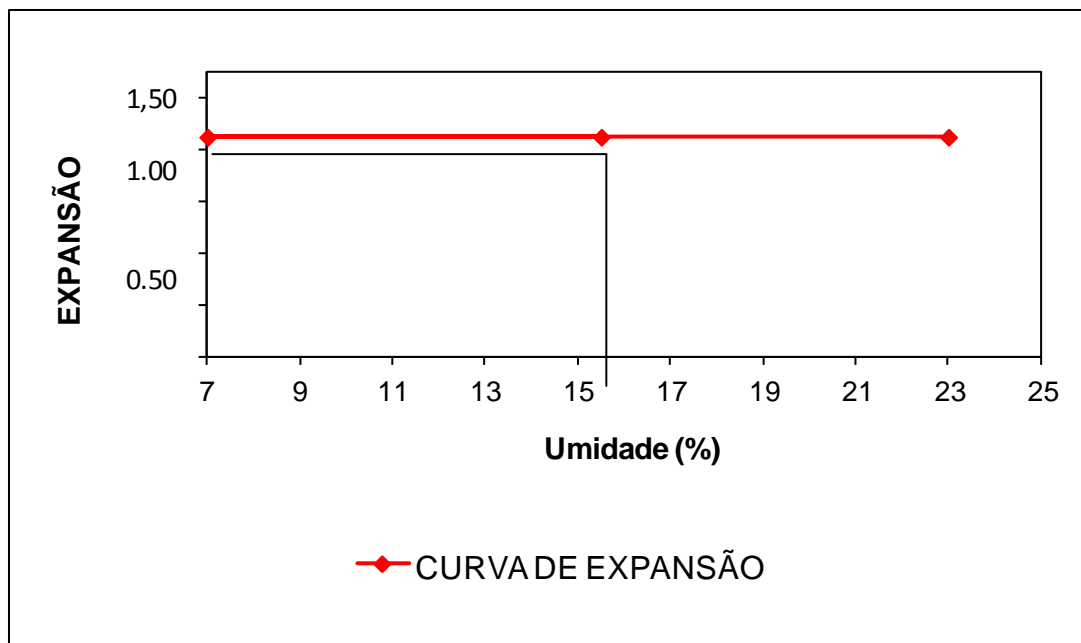


Figura 4 – Gráfico para *California Bearing Ratio* (CBR).

### Expansão

Com uma expansão de 1,18% para 15,2% de umidade (Figura, 5) percebe-se que o agregado reciclado apresenta características de expansibilidade praticamente baixa, o que torna apropriado o seu emprego em camadas de pavimentos.



Fi

Figura 5 - Gráfico para expansão do agregado reciclado.



## CONCLUSÕES

1. Os resultados desta pesquisa indicam que o agregado reciclado apresenta características interessantes para seu emprego em camadas de sub-base de pavimentos, porém sua utilização nas camadas de base foi reprovada por não apresentar uma boa resistência mecânica.
2. Finalmente, destaca-se que essa forma de reciclagem pode estender a vida útil dos aterros pela diminuição da deposição dos resíduos de construção e demolição, bem como, minimizar a exploração de jazidas minerais através da substituição do agregado natural pelo agregado reciclado mitigando, assim, os impactos ambientais e, conseqüentemente, promovendo o desenvolvimento sustentável.

## LITERATURA CITADA

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. In: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001.

ÂNGULO, S. C.; KAHN, H.; JOHN, V. M.; ULSEN, C. **Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição**. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a reciclagem na construção civil, São Paulo: IBRACON, 2003.

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, 2004g.

ARAULO, W. L. E., **Aproveitamento de resíduos da extração de micaxisto em pavimentos flexíveis** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA). Goiânia, 2008.

GRUBBA, D. C. R. P.; PARREIRA, A. B. **Emprego de agregado reciclado de concreto em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Transportes. São Paulo, 2007.

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

\_\_\_\_\_.DNIT. **Pavimentos flexíveis Concretos asfáltico**. (Ministério dos Transportes). Norma DNIT 031/2006 – ES. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. NBR 7.181. **Solo** - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984c.

\_\_\_\_\_. NBR 7.182. **Solo** - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986b.

\_\_\_\_\_. NBR 9.895. **Solo** - Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987 a.

QUEBAUD, M. R.; BUYLE-BODIN, F. **A reciclagem de materiais de demolição: utilização dos agregados reciclados no concreto.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5, 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1999.

RIBEIRO, F. **Estudo da aplicação do agregado reciclado na base de um pavimento flexível.** 2006. 171p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2006.

RINO, C. A. F. MARAN, D. J. **Gestão dos resíduos da construção civil no município de Ribeirão Preto.** 2005. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 2005.

RESPLANDES, H. M. S., **Estudo ambiental e técnico da aplicação do agregado reciclado na estrutura de pavimentos flexíveis.** 2007. 210p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA). Goiânia, 2007.

TRICHÊS, G.; KRYCKYJ, P. R. **Aproveitamento de entulho da construção civil na pavimentação urbana.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 4. , São José dos Campos, 1999. **Anais...** São Paulo: ABMS, 1999.