

CONTROLE TECNOLÓGICO DE TRECHO EXPERIMENTAL EMPREGANDO AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUO SÓLIDO DA CONTRUÇÃO CIVIL COMO BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTO

Fabiana da Conceição Leite

Liedi Légi Bariani Bernucci

Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Paulo Fernando A. Silva

Concremat Engenharia e Tecnologia S.A.

RESUMO

Nas regiões urbanas, para os milhares de quilômetros de vias ainda não pavimentadas, uma opção aos materiais convencionais é o uso de agregado reciclado de resíduo de construção e demolição. Estes materiais são gerados em grandes quantidades nas cidades brasileiras de grande e médio portes e, normalmente, são descartados de forma irregular. Este trabalho apresenta os resultados dos ensaios do controle tecnológico desenvolvido no trecho experimental executado no campus da USP-Leste, em São Paulo, que empregou o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil como camadas de base e de sub-base do pavimento do sistema viário. Foram realizados no laboratório ensaios de granulometria antes e depois da compactação e CBR, já em campo foram medidas deflexões utilizando-se a viga Benkelman. Através de análises mecanicistas, verificou-se que o módulo de resiliência do agregado reciclado apresenta-se em campo em torno de 150 a 250 MPa.

ABSTRACT

In the urban regions, for the thousands of kilometers of unpaved roads, one alternative to the common materials is the use of recycled aggregate of construction and demolition solid waste. These materials are produced in large scale at big and medium Brazilian cities and, usually, are irregularly discarded. This paper shows the experiments results from the technological control applied in an experimental road section built at the USP-Leste campus, in São Paulo, using recycled aggregate of construction and demolition solid waste in base and sub-base layers on the road system pavement. Size distribution curves before and after compaction and CBR tests were conducted in laboratory and deflections using Benkelman beam were measured in the field. Based on mechanistic analysis, the resilient modulus of the recycled aggregate in the field is between 150 and 250 MPa.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com os resíduos gerados pelos diferentes processos do cotidiano industrializado e urbanizado é um assunto que preocupa hoje as empresas e a própria sociedade. Com o surgimento de novas cidades e o crescimento muitas vezes desenfreado das grandes metrópoles, a indústria da construção civil depara-se em uma questão importante: a geração de entulho pelas obras novas e demolições.

No caso da cidade de São Paulo, por exemplo, de acordo com a LIMPURB (Departamento de Limpeza Urbana de São Paulo), são gerados diariamente mais de 17.000 toneladas de resíduo de construção e demolição (MOTTA *et al.*, 2004). Com esta problemática envolvendo a questão da grande produção de entulho nas cidades, é patente a importância de estudos e pesquisas para que sejam encontradas soluções adequadas para o aproveitamento deste material, evitando assim os danos ao meio em geral e gastos excessivos com transporte e deposição.

A utilização de resíduo de construção e demolição em pavimentação tem as seguintes vantagens e atrativos (TRICHÊS e KRYCKYJ, 1999; CARNEIRO, *et al.*, 2001; BODI, *et al.*, 1995):

- Diminuição dos custos de pavimentação, uma vez que estes materiais apresentam custo inferior aos convencionais;
- Expansibilidade baixa ou nula, ou seja, com a saturação não ocorre a expansão das camadas compactadas;
- Diminuição dos custos de operação de aterros, devido à menor quantidade de resíduo envolvido;
- Necessidade de áreas menores para a manutenção de aterros e bota-foras, em função do prolongamento da vida útil dos existentes;
- Melhoria das condições de saneamento dos municípios;
- Economia de jazidas minerais, devido à menor velocidade de exploração das mesmas, com conseqüente diminuição de agressão ao meio-ambiente.

Neste trabalho são analisados os resultados obtidos com o controle tecnológico realizado durante a construção de um trecho do sistema viário do novo campus da Universidade de São Paulo USP-Leste, localizado na zona leste da cidade de São Paulo, no parque ecológico do Tietê. Este pavimento, que possui uma estrutura experimental, foi projetado e construído empregando agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camada de base e sub-base. A construção e o controle tecnológico convencional foram executados entre novembro de 2004 e fevereiro de 2005 e a partir deste realizaram-se ensaios complementares para melhor compreensão do comportamento dos agregados reciclados como material de pavimentação. Verificou-se a composição granulométrica do material estocado na obra, bem como de amostras coletadas das camadas após compactação na pista. Além disso, são apresentados os resultados dos ensaios de CBR (*California Bearing Ratio*) obtidos para o material compactado em diferentes energias. Complementando o controle tecnológico foram feitos levantamentos com a viga Benkelman após a aplicação da camada de revestimento e realizada uma retroanálise utilizando o programa ELSYM5.

2. EXPERIÊNCIA DE CAMPO

Para o trecho experimental executado no campus da USP-Leste aqui estudado, foi projetado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo um pavimento denominado “Pavimento Ecológico”. Este nome foi adotado por o mesmo ser constituído de materiais alternativos aos convencionalmente empregados, em sua maioria materiais reciclados, mas de alta

qualidade técnica. Esta opção foi motivada pelo fato de que se deve ter coerência na seleção de alternativas que tenham em sua concepção a preocupação com o meio ambiente.

Além disso, a USP-Leste está situada na zona leste da cidade de São Paulo, no Parque Ecológico do Tietê e possui como um dos cursos novos de graduação oferecidos nesta unidade a *Gestão Ambiental*. Assim, como uma instituição universitária do Estado, a Universidade de São Paulo deve dar exemplo de soluções ambientais corretas e ser arrojada nas questões ecológicas.

2.1. Pavimento do Campus da USP-Leste

Foram executados em um primeiro momento, cerca de 270 metros de pista no sistema viário deste novo campus com o “Pavimento Ecológico”. Este pavimento emprega como material de base e sub-base o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil, que teve sua utilização normalizada em 2004 pela ABNT com a criação da NBR 15115. Como camada de rolamento, é empregado um concreto betuminoso usinado a quente utilizando asfalto-borracha, resultante da incorporação de borracha moída de pneus inservíveis no asfalto. A título comparativo, foram construídos dois trechos consecutivos, sendo que em um deles foi substituído o material reciclado na base por brita graduada simples. Neste trecho, todas as outras camadas foram mantidas com a mesma espessura e natureza de material, quais sejam: agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil na sub-base e revestimento asfáltico com asfalto-borracha. A Figura 1 e 2 apresentam a execução de um trecho com a camada de base em agregado reciclado e brita graduada simples, respectivamente.



Figura 1: Compactação após a aplicação do agregado reciclado



Figura 2: Espalhamento da camada de brita graduada a ser compactada

As Figuras 3 e 4 apresentam outra diferente etapa da obra do trecho viário da USP-Leste. A Figura 3 traz uma foto da vibroacabadora espalhando o revestimento asfáltico com asfalto borracha e a Figura 4 mostra a compactação da mesma.



Figura 3: Vibroacabadora espalhando a mistura asfáltica



Figura 4: Compactação do revestimento constituído por asfalto borracha

O local em que a obra foi construída é constituído de aterro antigo de solo retirado da obra da construção da Rodovia Ayrton Senna, da rede DERSA, com espessura variando de cerca de 2 a 4 metros, assente sobre solo mole. Os materiais depositados na área foram dispostos neste aterro de forma não controlada, apenas como bota-fora, não tendo sido compactado. Os solos do aterro são em sua maioria não-laterítico, de origem variada, da bacia do Rio Paraíba. De modo geral são solos de baixa capacidade de suporte, pouco permeáveis e expansivos em presença de água.

Assim, por se tratar de um subleito altamente deformável, fez-se necessária uma camada de regularização com solo importado para dar suporte a outras camadas, viabilizando a compactação da camada de agregado reciclado e melhor distribuição dos esforços. As seções tipo projetadas são apresentadas na Figura 5.

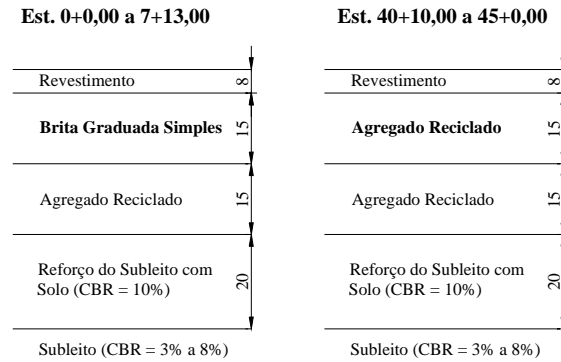


Figura 5: Seções-tipo projetadas e construídas no campus da USP – Leste (cotas em cm)

2.2. Agregado Reciclado de Resíduo Sólido da Construção Civil

O enfoque deste trabalho é o comportamento do agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil como camada de construção de pavimentos. Estes agregados são constituídos geralmente por argamassas, concretos, componentes de alvenaria e pedras britadas providas de concreto. Entretanto, também estão presentes em pequenas frações outros elementos como vidros, plásticos, metais e matéria orgânica, que são indesejáveis. Os componentes presentes nos agregados reciclados determinam muitas de suas propriedades, tais como resistência mecânica, absorção de água e massa específica (LIMA, 1999).

Existe uma heterogeneidade do agregado reciclado produzido a partir dos resíduos de construção e demolição. Como os resíduos de uma forma geral apresentam-se muito variáveis e dependentes do processo de geração, as suas características intrínsecas são afetadas, fazendo-se necessário realizar um estudo aprofundado antes de determinar a utilização de um resíduo em uma obra de engenharia. No caso dos resíduos de construção e demolição, caçambas colocadas junto ao meio fio são contaminadas por outros tipos de resíduos, como restos de comida e até de móveis velhos. Além disso, outro aspecto importante é o tempo de estocagem que pode possibilitar transformações no resíduo, como a hidratação das escórias e das cinzas de resíduo urbano, e que freqüentemente torna ainda mais aguda a contaminação ambiental (JOHN e ROCHA, 2003).

As características dos agregados reciclados variam não só de região para região, em função das particularidades dos entulhos, mas também dentro da própria usina recicladora. Observa-se essa característica em função da imensa variedade de técnicas, métodos e materiais a partir dos quais são gerados esses resíduos (LIMA, 1999). Neste trabalho são analisadas amostras provenientes de duas usinas recicladoras: Itaquera, localizada na zona leste da cidade de São Paulo, e Santo André, na grande São Paulo.

A usina de Itaquera possui uma planta bastante semelhante com a de britagem das mineradoras (BODI *et al.*, 1995). Antes da cominuição dos resíduos de construção e demolição, são retirados elementos contaminantes como plástico, madeira, pneus e outros. A alimentação da usina não possui controle de dimensão das partículas e a capacidade de produção da usina de Itaquera é de cerca de 100 toneladas de agregado reciclado por hora.

3. ENSAIOS REALIZADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

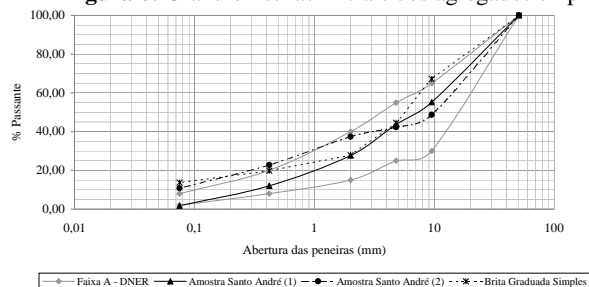
3.1. Composições Granulométricas dos Materiais

Para a caracterização do material foram executados ensaios de granulometria com o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil coletado em diferentes etapas e condições da obra. Assim, foi possível avaliar a variabilidade do material e as possíveis modificações na granulometria do mesmo depois do processo de compactação no campo.

Para o reconhecimento do tamanho dos grãos do agregado reciclado realizou-se a análise granulométrica com 6 peneiras previstas na norma NBR 7181 da ABNT. O material é passante 100% na peneira 50 mm, como recomenda o projeto de pavimentação feito pela Escola Politécnica para a USP-Leste. O ensaio foi realizado até a peneira de abertura igual a 0,075 mm e não foi realizado o ensaio de granulometria por sedimentação.

A Figura 6 apresenta as curvas granulométricas de duas amostras de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil antes do processo de compactação, ou seja, as granulometrias iniciais de lotes diferentes do estoque na obra. Também são apresentadas a curva da brita graduada simples (BGS) empregada como base no trecho para comparação e a Faixa A do DNER, onde se enquadrou melhor os materiais utilizados.

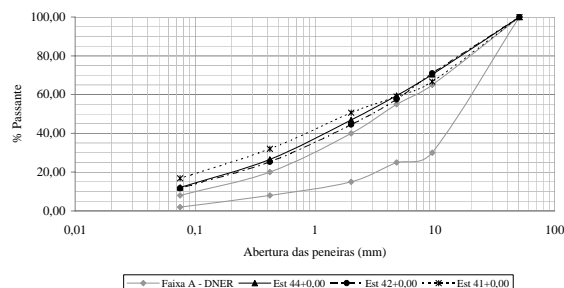
Figura 6: Granulometrias iniciais dos agregados empregados em estoque na obra



Através destas curvas granulométricas é possível observar a grande variabilidade do agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil. Duas amostras de material com mesma proveniência, como o caso do Santo André, apresentam significativas diferenças em relação ao tamanho dos grãos. Observa-se que o enquadramento em faixa granulométrica é muito difícil, e, por este motivo, não é previsto na norma ABNT deste material. A norma especifica coeficientes de uniformidade para garantir que o material tenha uma distribuição granulométrica bem-graduada, de forma a melhorar o travamento inicial e minimizar dentro do possível a quebra excessiva dos grãos durante o processo de compactação.

Após a compactação do agregado reciclado, foram coletadas amostras e submetidas novamente a ensaios de granulometria, para verificar se ocorriam mudanças significativas após a aplicação da energia. A camada de agregado reciclado foi compactada utilizando-se a energia intermediária, conforme recomendado no projeto do pavimento.

A Figura 7 apresenta as granulometrias finais do material aplicado no trecho experimental, coletado entre as estacas 41 e 44, que correspondem a uma base e sub-base constituída de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil,



proveniente de Santo André.

Figura 7: Granulometria após compactação em campo dos agregados reciclados

Pela figura apresentada, é possível verificar visualmente que houve uma modificação na granulometria do material. O material tende a quebrar durante a compactação, tornando-o mais fino e com uma estrutura mais fechada; entretanto, pode-se observar também que a variabilidade entre eles diminuiu em relação à inicial. A compactação tornou mais homogêneo o material.

Para uma complementação do estudo da granulometria, foram determinados os coeficientes de uniformidade (C_u) e de curvatura (C_c), para os casos iniciais e depois da compactação. A relação de C_u representa a falta de uniformidade granulométrica, pois o seu valor diminui quando o material é mais uniforme. Valores baixos de C_u , menores que 15, indicam materiais de uniformidade média ou muito uniforme (CAPUTO, 1988). Não é desejável que os agregados apresentem uniformidade, pois dessa forma o material é mal-graduado, ocasionando muitos vazios e maiores quebras durante a compactação ou pelo tráfego usuário após conclusão da obra. A análise da graduação deve ser complementada pelo coeficiente de curvatura C_c – que deve se situar entre 1 e 3 para indicar conjuntamente com o C_u que o material é bem-graduado. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Coeficiente de uniformidade e curvatura dos materiais ensaiados

Material	C_u	C_c
Santo André 1	34	2,04
Santo André 2	150	1,10
BGS	187	20,00
Est. 41+0,00	183	0,54
Est. 42+0,00	73	1,02
Est. 44+0,00	67	0,81

Assim, observa-se que os materiais empregados são muitos desuniformes, entretanto nem todos são bem-graduados. Observe-se que apesar do C_u muito elevado, o coeficiente de curvatura C_c tende a diminuir com a compactação do agregado reciclado.

3.2. Energia de Compactação e California Bearing Ratio (CBR)

Foram realizados ensaios de compactação com diferentes amostras de agregado reciclado coletadas no estoque e durante a execução da obra. Os ensaios de compactação foram realizados de acordo com a norma NBR 7182 da ABNT.

A realização do ensaio de compactação teve como objetivo verificar qual seria a umidade ótima do agregado reciclado e se haveria variação entre os materiais de diferentes procedências. Segundo BENNERT *et al.* (2000), para o caso de agregado reciclado de concreto, a umidade ótima fica em torno de 7,5%. No caso em estudo, com a presença de materiais cerâmicos na composição do agregado reciclado, as umidades ótimas encontradas foram bastante variáveis, entre 9,0 e 15,3%, para energia intermediária.

Ao compactar o agregado reciclado na energia normal, a umidade ótima foi maior que a obtida ao utilizar a energia intermediária, como esperado. Deve-se ressaltar que durante a compactação, como há quebra de partículas, a umidade deveria ser novamente aumentada uma vez que há “produção” de novas partículas e aumento da superfície específica, o que requer mais água para dar continuidade à compactação. Este fato ressalta a necessidade de uso de água e energia suficientes durante o processo de compactação de campo para que a quebra seja provocada na obra e não posteriormente pelo tráfego usuário, principalmente em épocas de chuva onde o material se encontra umedecido e propenso a dar continuidade às quebras.

Além da compactação para determinação da umidade ótima e peso específico seco máximo nas diferentes energias empregadas, foi realizado o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou *California Bearing Ratio* (CBR). Este foi executado de acordo com a norma do DNER-ME 50-64, utilizando os mesmos materiais coletados no estoque e durante a execução no campo.

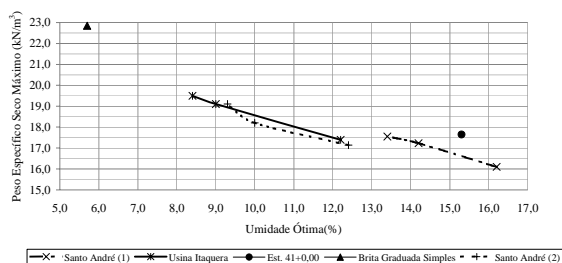
A Tabela 2 apresenta os valores de umidade ótima (h), peso específico seco máximo (γ_s) e CBR obtidos em diferentes energias para as amostras analisadas.

Tabela 2: Umidade ótima, peso específico seco e CBR obtidos em diferentes energias

Material	Energia Normal			Energia Intermediária			Energia Modificada		
	h (%)	γ_s (kN/m ³)	CBR (%)	h (%)	γ_s (kN/m ³)	CBR (%)	h (%)	γ_s (kN/m ³)	CBR (%)
Santo André (1)	16,2	16,1	46	14,2	17,2	96	13,4	17,6	146
Usina Itaquera	12,2	17,4	96	9,0	19,1	145	8,4	19,5	152
Est. 41+0,00	-	-	-	15,3	17,6	59	-	-	-
BGS	-	-	-	5,7	22,8	90	-	-	-
Santo André (2)	12,4	17,1	90	10,0	18,2	161	9,3	19,1	167

As variações de umidade ótima e os respectivos valores de peso específico seco máximo obtidos de acordo com as energias empregadas são apresentados na Figura 8. Ressalta-se que as amostras com apenas um ponto no gráfico, Brita Graduada Simples e Est. 41+0,00 (agregado reciclado de Santo André coletado durante a execução) foram ensaiadas utilizando-se somente a energia intermediária.

Figura 8: Variação de umidade ótima e peso específico seco



Com estes dados é possível perceber a grande variabilidade de resultados encontrados para materiais com mesma procedência da usina de Santo André. Com uma variação na natureza dos materiais componentes, há uma tendência de variação no peso específico dos grãos e na porosidade e, portanto, na umidade ótima. Para o campo foram determinados como valores médios de umidade ótima e peso específico seco máximo 13,4% e 17,7 kN/m³, respectivamente, utilizando-se a energia intermediária.

A Figura 9 ilustra os resultados de CBR e respectivos valores de peso específico seco máximo obtidos com as diferentes energias empregadas, conforme apresentado na Tabela 2. Ao observar esta figura, verifica-se que novamente, a variabilidade de resultados foi considerável. A segunda amostra de Santo André apresentou os valores mais altos de CBR para as energias modificada e intermediária. Além disso, ressalta-se novamente que as amostras com apenas um ponto no gráfico foram compactadas na energia intermediária.

Pode-se observar a importância de aumento da energia de compactação nos agregados reciclados que apresentam ganho significativo de capacidade de suporte com a maior densificação.

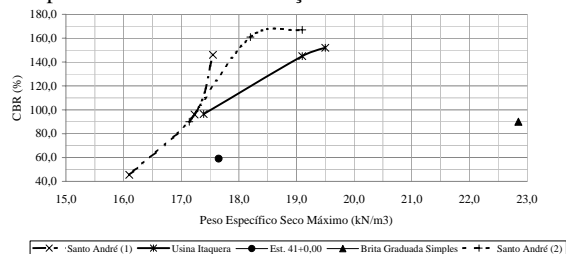


Figura 9: Variação de CBR com a variação do peso específico aparente seco

3.3. Controle deflectométrico

O controle deflectométrico foi realizado com o uso da viga Benkelman. Este é o dispositivo mais simples e difundido para o levantamento das deflexões do pavimento e permite obter a bacia de deflexão com diferentes afastamentos da carga. Foram realizadas leituras deflectométricas, para que dessa forma fosse possível determinar a deflexão máxima e o raio de curvatura da bacia de deflexão.

A partir dos valores de deflexão encontrados e das seções projetadas, foram realizadas retroanálises utilizando-se o programa ELSYM5. Esta etapa teve como objetivo determinar o módulo de resiliência do agregado reciclado compactado e comparar se o trecho com base de brita graduada simples apresentou significativas diferenças no comportamento quanto à deformação resiliente.

Para isto, foram utilizadas as duas estruturas apresentadas na Figura 5, com as respectivas espessuras. A Tabela 2 indica os valores de módulo de resiliência e coeficiente de Poisson empregados para as camadas.

Tabela 2: Módulo de resiliência e coeficiente de Poisson para cada camada

Camada	Módulo de Resiliência (MPa)	Coeficiente de Poisson
Revestimento	2.000 (*)	0,30
Brita Graduada Simples	250	0,35
Agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil	Variável (**)	0,35
Reforço do Subleito + Subleito	30	0,45

(*) o valor de módulo de resiliência foi obtido em laboratório em amostras retiradas de pista

(**) foram empregados cinco diferentes valores: 100, 150, 250, 350 e 450 em MPa para a retroanálise

Os valores médios das deflexões máximas e dos raios de curvatura são de 86×10^{-2} mm e de 101 m, respectivamente, no trecho com agregado reciclado como base e de 79×10^{-2} mm e de 94 m, respectivamente, no trecho com brita graduada simples como base.

Pela retroanálise, verificou-se que devido à baixa capacidade de suporte do subleito, a camada de reforço do subleito fica com a compactação prejudicada e também oferece uma baixa resistência. Por este motivo, a compactação da sub-base com agregado reciclado também não alcança o travamento necessário e apresenta um módulo de resiliência relativamente baixo, da ordem de 150 MPa pela retroanálise.

Com os dados obtidos pela retroanálise, é possível verificar que o agregado reciclado utilizado como base apresentou valores próximos aos obtidos pela base de brita graduada. Para ambos trechos os valores encontrados de módulo de resiliência são de aproximadamente 250 MPa. Acredita-se que a compactação poderia ter sido intensificada, o que acarretaria uma melhora nos valores de deformabilidade da estrutura. Deve-se ressaltar que as obras foram realizadas em período de chuva, com grande dificuldade no movimento de terra e compactação. O levantamento deflectométrico foi feito também nesta época de ano, em situação de saturação intensa. Deve-se ainda observar que o sistema de drenagem não se encontrava finalizado, o que prejudica mais ainda a resposta deflectométrica do pavimento.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados de laboratório e de campo, foi possível concluir que todas as amostras de agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil apresentaram grande variabilidade granulométrica, possivelmente relacionada à variabilidade de natureza dos componentes. Este fato reforça a comprovação da heterogeneidade de agregados reciclados produzidos a partir de resíduos sólidos de construção civil. Observou-se a diferença de comportamento de materiais de usinas recicladoras situadas em uma distância não tão grande entre si, como o caso de Itaquera e Santo André apresentados. Da mesma forma, pôde-se observar a diferença de comportamento entre lotes diferentes de agregados reciclados provenientes da mesma usina.

Foi observado também que ocorreram modificações na granulometria do agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil após a compactação de campo, com a quebra de partículas, tornando o material mais fino, de curva granulométrica mais fechada.

Através dos ensaios laboratoriais, verificou-se que a energia de compactação influenciou diretamente e significativamente na umidade ótima e peso específico seco máximo obtidos para um mesmo material. A capacidade de suporte do material obtida pelo ensaio CBR mostra alteração significativa com a energia de compactação, ressaltando a importância de uso da maior energia de compactação possível em campo de forma a promover uma maior quebra durante a obra, evitando quebras significativas pelo tráfego usuário e o aparecimento de deformação permanente indesejável em trilhas de roda.

Com a retroanálise foi possível verificar que os valores de módulo de resiliência obtidos para o agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil foram de 150 MPa para a camada de sub-base e de 250 MPa para a base. A diferença de valores pode ser em parte atribuída à deficiência de compactação na camada de sub-base, por sua vez ocorrida pela baixa capacidade de suporte do conjunto reforço do subleito e subleito, constituídos de solos em geral não lateríticos, que não deram sustentação suficiente para que o processo pudesse ser realizado nas melhores condições de resposta aos esforços de compactação. Deve-se ainda ressaltar que durante os meses de execução da obra, houve chuvas intensas e que os solos estavam com umidade muito elevada. O sistema de drenagem também não se encontrava finalizado, o que ocasionava aumento da deformabilidade em todo o conjunto da estrutura do pavimento. A retroanálise mostrou que os valores de

módulo de resiliência da brita graduada simples e do agregado reciclado utilizados como camada de base foram muito próximos, com valores de cerca de 250 MPa. Além da melhor eficiência da compactação do agregado reciclado na camada de base devido ao melhor suporte oferecido pela camada subjacente, na medida das deflexões a maior tensão de confinamento durante a aplicação de carga de roda no material de base faz com que o módulo de resiliência mostre valores mais elevados na base que na sub-base.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e da FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e à Reitoria da USP, em especial ao Prof. Massola da COESF – Coordenadoria do Espaço Físico da USP pela adoção do projeto do Pavimento Ecológico na construção do sistema viário da USP-Leste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2004) *NBR 15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1986) *NBR 7182 – Solo: ensaio de compactação – Método de ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984) *NBR 7181 – Solo: análise granulométrica – Método de ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Bennert, T.; W. J. Papp Jr; A. Maher e N. Gucunski (2000) Utilization of construction and demolition debris under traffic-type loading in base and subbase applications. *Transportation Research Record – Journal of the Transportation Research Board – Recycled and Secondary Materials, Soil Remediation and In Situ Testing*, v.1714, nº00-1350, p. 33-39.
- Bodi, J.; J. A. Brito Filho e S. Almeida (1995) Utilização de Entulho de Construção Civil Reciclado na Pavimentação Urbana. *Anais da XXIX Reunião Anual de Pavimentação*, ABPv, Cuiabá, p.409-436.
- Caputo, H. P. (1988) *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações* (6ª ed.). Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. Rio de Janeiro.
- Carneiro, A. P.; P. C. Burgos e E. P. V. Albarte (2001) Uso do Agregado Reciclado em Camadas de Base e Sub-base de Pavimentos. In: *Projeto Entulho Bom*. EDUFBA /Caixa Econômica Federal, pg 190-227, Salvador, BA.
- DNER (1994) DNER-ME 049/94 - Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- John, V. M. e J. C. Rocha (2003) *Utilização de Resíduos na Construção Habitacional*. Coleção Habitar, v. 4. ANTAC, Porto Alegre, RS.
- Lima, J. A. R. (1999) *Proposição de Diretrizes para Produção e Normalização de Resíduo de Construção Reciclado e de suas Aplicações em Argamassas e Concretos*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.
- Motta, R. S.; L. L. B. Bernucci e E. Moura (2004) Aplicação de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em pavimentação. *Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET*, Florianópolis, p.259-269.
- Pinto, C. S. (2000) *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas*. Oficina de Textos. São Paulo.
- Trichês, G. e P. R. Kryckyj (1999) Aproveitamento de Entulho da Construção Civil na Pavimentação Urbana. *Anais do IV Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, REGEO'99*, São José dos Campos, p.259-265.

Fabiana da Conceição Leite (fabiana.leite@poli.usp.br)

Liedi Legi Bariani Bernucci (liedi@usp.br)

Paulo Fernando A. Silva (paulo.fernando@concremat.com.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 – São Paulo, SP, Brasil